



## INFORME FINAL

Análisis del riesgo de ocurrencia de eventos de floraciones  
algales nocivas a través de la evaluación de la  
información histórica del programa de sanidad de  
moluscos bivalvos (PSMB) de SERNAPESCA

FIP N° 2008-19 / Abril 2010



## INFORME FINAL

Análisis del riesgo de ocurrencia de eventos de floraciones  
algales nocivas a través de la evaluación de la  
información histórica del programa de sanidad de  
moluscos bivalvos (PSMB) de SERNAPESCA  
FIP N° 2008-19 / Abril 2010

### Requirente

Fondo de Investigación Pesquera, FIP

Presidente del Consejo:  
Pablo Galilea Carrillo

Ejecutor  
Instituto de Fomento Pesquero

Jefe de División Investigación en Acuicultura  
Leonardo Guzmán Méndez

Director Ejecutivo  
Jorge Antonio Toro Da'Ponte

### Jefe de Proyecto

Gemita Pizarro Nova

### Autores

Gemita Pizarro  
Evelyn Henríquez  
Gustavo Sotomayor  
Ricardo González  
Gastón Vidal  
Leonardo Guzmán

### Colaboradores

Limo Cáceres  
Cristina Hinojosa  
Christian Espinoza  
Nicole Pesse  
Denise Meyer  
Hernán Miranda



## **1. RESUMEN EJECUTIVO**

---

En este informe final se presentan las actividades realizadas y resultados obtenidos de un estudio desarrollado para realizar un an3lisis de riesgo de la ocurrencia de floraciones de microalgas nocivas (FANs) a nivel nacional, a partir de la base de datos generados b3sicamente por el programa de sanidad de moluscos bivalvos (PSMB).

El objetivo general del proyecto fue disponer de un procedimiento que permitiera realizar dicho an3lisis de riesgo de acuerdo a las diferentes realidades regionales.

Durante el desarrollo del proyecto, el esfuerzo estuvo dirigido fundamentalmente a lograr el primer objetivo espec3fico cual es la obtenci3n de la informaci3n que permita realizar gesti3n de riesgos asociados a las FAN. Satisfacer este objetivo espec3fico fue clave para el desarrollo y logro de los objetivos espec3ficos restantes debido a la dependencia de estos 3ltimos.

Las variables registradas en las bases de datos con las que se trabaj3 para este proyecto, incorporaban datos del PSMB, INFAs y CPS entre los a3os 1998 y 2006. Sin embargo, la data proveniente de los informes INFAs y CPS fue de escasa utilidad para el logro de los objetivos planteados por cuanto no registran las variables requeridas (densidad de microalgas t3xicas ni niveles de toxina) para realizar un an3lisis de riesgo por FANs. Tampoco contiene las variables ambientales requeridas para el periodo en que se desarroll3 el an3lisis tales como intensidad y direcci3n de vientos, profundidad m3xima, corrientes, tipo de sedimento, y su inclusi3n en la base de datos con la que se trabaj3 habr3a llevado un tiempo mayor al de la de ejecuci3n del proyecto mismo. De modo que las bases de datos en relaci3n a las INFAs y CPS siguen incompletas respecto de las variables mencionadas. El tiempo s3lo permiti3 completar la informaci3n faltante en



la base de datos PSMB más completa en cuanto para realizar el análisis de riesgo y que se refiere a la densidad de las cinco especies productoras de FANs en Chile.

El nivel de toxinas en los moluscos registrada en la base PSMB eran: Veneno paralizante de los mariscos (VPM), veneno diarreico de los mariscos (VDM) y veneno amnésico de los mariscos (VAM), las tres toxinas reconocidas en Chile como tóxicas para el hombre cuando los moluscos contaminados con estas toxinas son ingeridos como alimento.

La variable densidad de las cinco especies productoras de toxinas reconocidas en Chile: *Alexandrium catenella*, *Dinophysis acuminata*, *D. acuta*, *Pseudo-nitzschia australis* y *P. pseudodelicatissima* se encontraba sólo registrada en papel. Por esta razón fueron incorporadas (digitadas) en la base de datos y actualizada hasta el año 2008 de acuerdo a lo indicado en la oferta técnica.

Luego de completar la base de datos, el análisis arrojó como resultado que solo era posible establecer rangos de densidad celular de *Pseudos-nitzschia australis* y su respectivo nivel de toxina amnésica en el recurso ostión. De los 17 recursos existentes en la base de datos, fue el único que presentó un número suficiente de variables continuas. Para el caso de las microalgas *Alexandrium catenella* (asociada a toxicidad por VPM en moluscos) *Dinophysis acuminata* y *D. acuta* (asociada a toxicidad por VDM en moluscos) se encontró una baja o nula paridad entre densidad de microalgas nocivas y nivel de toxina en los moluscos, requisito necesario para establecer una escala de rangos recíproca entre ambas variables. Esta cualidad de la variables requeridas para el análisis se debe básicamente a la falta de sinopticidad y sistematicidad espacio temporal en la recolecta de las muestras, objetivo que en todo caso no es del PSMB. Su objetivo es solo asegurar la inocuidad de los productos marinos destinados a exportación.



Las variables pares y continuas requeridas son aquellas que se registran cuando el ciclo o periodo de un evento FAN se encuentra en fase con la toxificación de los recursos solo mientras la microalga alcanza su pico máximo de crecimiento. Luego el crecimiento de la microalga decae sin embargo los recursos permanecen tóxicos hasta meses dependiendo de la especie de molusco, de la intensidad y mes del año en que se produjo la floración. El periodo de detoxificación es dependiente de condiciones como la temperatura, tasas de detoxificación específicas de los moluscos y de las tasas de renovación de las aguas en el sector, entre otros factores. Por esta razón hubo que recurrir a la base de datos del Programa Marea Roja de la SUBPESCA que ejecuta IFOP, para establecer las respectivas escalas de rango de las microalgas faltantes de las tres regiones más australes de Chile entre los años 2006 y 2008. En estas regiones, el chorito, la cholga y almeja fueron los recursos regularmente monitoreados y por tanto los que presentaron un número suficiente de variables continuas.

Para entender mejor la necesidad de contar con variables pares continuas en este estudio, a continuación se entregan algunas definiciones.

Una evaluación de riesgo está en función de tres términos que son: Difusión (D), exposición (E) y consecuencias (C). Esquemáticamente el riesgo (R) se puede representar como:

$$R \text{ fn } (D, E, C),$$

Donde:

- **Riesgo (R):** probabilidad de pérdidas y daños debido a eventos de diverso origen, que ocurren en un lugar dado y durante un tiempo de exposición determinado;



- **Difusi3n (D):** Probabilidad de ocurrencia de una FAN t3xica. Se evalúa a trav3s de la variable densidad de microalgas que producen alguna de las toxinas antes mencionadas;
- **Exposici3n (E):** Probabilidad que los moluscos resulten t3xicos para el consumo humano tras su exposici3n a una FAN t3xica. Se evalúa a trav3s de la variable nivel de toxicidad en moluscos;
- **Consecuencias (C):** Son los efectos biol3gicos, ecol3gicos, medio ambientales, econ3micos, productivos, sociales que se generan al ocurrir una FAN t3xica. Su evaluaci3n se realiza mediante encuestas multisectoriales sometidas a expertos y especialistas en el tema FANs.

Durante el periodo de informaci3n del proyecto se estableci3 la cantidad y calidad de las variables que se encontraban en la base de datos PSMB entre los ańos 1998-2006 y 2007-2008, 3ste 3ltimo incorporado a la base durante la ejecuci3n de este proyecto, para establecer los t3rminos **D** y **E**.

Hasta el 2008 se estim3 que existen 19.349 registros para las especies de microalgas nocivas mencionadas, de las cuales 1.700 estaban incorporadas en la base de datos y 15.769 fueron incorporadas durante el periodo de este proyecto. Para actualizar la base de datos entre el 2007 y 2008, se incorporaron aproximadamente 50.000 registros de toxinas (registros en planillas excel) y un n3mero similar de registros de densidad de microalgas para las cinco especies nocivas (registros en papel).

La informaci3n total de la base de datos involucr3 195 3reas PSMB. De estas 3reas, 116 son 3reas para cultivos y 76 3reas de bancos naturales, cubriendo 28 centros de cultivo y m3s de 344 estaciones de muestreo a lo largo de Chile. La



georeferenciación de las áreas PSMB también fue completada y actualizada durante la ejecución del proyecto, información que permitió definir cuatro macrozonas pre-definidas en las que se trabajó con el **diseño y evaluación de riesgo**. Las macrozonas pre-definidas fueron: Norte (cubre las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo); centro (cubre las regiones Valparaíso y Bio Bio); sur (Los Lagos y Aysén); austral (cubre la región de Magallanes).

Con las evaluaciones de **D** y **E** obtenidos desde la base de datos y las evaluaciones de **C** resultado de las encuestas, se definió y ejecutó el **modelo análisis de riesgo FAN** en las cuatro macrozonas definidas. La ejecución del **modelo** tuvo por finalidad cuantificar las probabilidades en los árboles de eventos causa-efecto de FANs, cuantificar los impactos, manejar la base de datos y analizar espacialmente la información.

Los resultados de riesgo resultaron ser lejanos a la realidad, razón por la cual no fue posible realizar una nueva zonificación de las macrozonas antes definidas ni tampoco aumentar la resolución dentro de zona debido al insuficiente número de pares de variables útiles para el análisis de riesgo.

Aún cuando el tipo (no predictivo) y la baja calidad de las variables existentes en la base de datos histórica no permitieron obtener resultados más certeros y cercanos a la realidad, fue posible lograr una primera evaluación de la data existente para diseñar y ejecutar un modelo de análisis de riesgo y establecer la metodología para hacerlo.

La zonación pre-definida, aunque básica pero real de acuerdo a los criterios de cercanía geográfica de los registros y la conocida intensidad de los eventos FANs en Chile de acuerdo a información empírica y documentada, ha sido también un buen modelo para evaluar los resultados que se obtuvieron del análisis de riesgo.



La significativa incerteza de los resultados de riesgo obtenidos se debió fundamentalmente al insuficiente número de variables pares y continuas para evaluar **D** y **E**. En consecuencia los resultados no permitieron ajustar el modelo de análisis de riesgo a la realidad de cada macrozona pre-definida.

Finalmente se discuten los resultados y se proponen las recomendaciones tanto para mejorar los contenidos de las las bases de datos para realizar un análisis de riesgo cuyos resultados se aproximen las realidades regionales respecto al fenómeno de las FANs, así como para adecuar dichas bases con información que permita obtener estimaciones predictivas de estos eventos.





## ÍNDICE GENERAL

<b>1. RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>i</b>
<b>INDICE GENERAL.....</b>	<b>vii</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>INDICE DE ANEXOS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>2. INTRODUCCI3N.....</b>	<b>1</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
3.1 Objetivo general.....	8
3.2 Objetivos específcos.....	8
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>9</b>
4.1 Aspectos generales.....	9
4.1.1 Revisi3n de antecedentes.....	9
4.1.2 Reuniones de coordinaci3n.....	10
Con el equipo t3cnico.....	10
Con el mandante.....	10
4.2. Metodologí3 por objetivo.....	10
4.2.1. Objetivo específcico 3.2.1. Obtener informaci3n que ermita realizar gesti3n de riesgos asociados a las FAN.....	11
4.2.2 Objetivo específcico 3.2.2. Ajustar los programas de monitoreo, enfocándolos a los eventuales riesgos de FAN que se determinen de acuerdo a las característcas de cada zona.....	28
4.2.3 Objetivo específcico 3.2.3. Establecer estaciones centinelas que permitan dar una primera seíal de alerta temprana ante la presencia de un evento FAN, para la oportuna toma de decisiones.....	29



4.2.4	Objetivo específico 3.2.4. Proporcionar información para la clasificación de zonas de acuerdo al nivel de riesgo de presentar FAN, en el marco del Reglamento de Plagas Hidrológicas. ....	29
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>32</b>
5.1.	Aspectos generales .....	32
5.1.1.	Revisión de antecedentes.....	32
5.1.2.	Gestión y reuniones de coordinación.....	32
5.2.	Resultados por objetivo .....	35
5.2.1	Objetivo específico 3.2.1. Obtener información que permita realizar gestión de riesgos asociados a las FAN .....	35
5.2.2.	Objetivo específico 3.2.2. Ajustar los programas de monitoreo, enfocándolos a los eventuales riesgos de FAN que se determinen de acuerdo a las características de cada zona. ....	52
5.2.3.	Objetivo específico 3.2.3. Establecer estaciones centinelas que permitan dar una primera señal de alerta temprana ante la presencia de un evento FAN, para la oportuna toma de decisiones.....	54
5.2.4.	Objetivo específico 3.2.4. Proporcionar información para la clasificación de zonas de acuerdo al nivel de riesgo de presentar FAN, en el marco del Reglamento de Plagas Hidrológicas. ....	56
<b>6.</b>	<b>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....	<b>59</b>
6.1	Discusión por objetivo .....	59
6.1.1.	Objetivo específico 3.2.1. Obtener información que permita realizar gestión de riesgos asociados a las FAN .....	59
6.1.2	Objetivo específico 3.2.2. Ajustar los programas de monitoreo, enfocándolos a los eventuales riesgos de FAN que se determinen de acuerdo a las características de cada zona. ....	63



6.1.3	Objetivo espec3fico 3.2.3. Establecer estaciones centinelas que permitan dar una primera se1al de alerta temprana ante la presencia de un evento FAN, para la oportuna toma de decisiones.....	64
6.1.4	Objetivo espec3fico 3.2.4. Proporcionar informaci3n para la clasificaci3n de zonas de acuerdo al nivel de riesgo de presentar FAN, en el marco del Reglamento de Plagas Hidrol3gicas.....	65
6.2	Conclusiones .....	65
<b>7.</b>	<b>PLAN DE ACTIVIDADES .....</b>	<b>68</b>
7.1.	Carta Gantt y equipo de trabajo .....	68
7.2.	Descripci3n de actividades por objetivo .....	68
7.2.1	Actividades generales.....	68
7.2.2	Actividades espec3ficas por objetivo .....	71
<b>8.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>75</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

---

- Figura 1.** Modelo esquemático que explica el origen de los registros de variables pareadas nulas, en desfase y continuas en las bases de datos analizadas.
- Figura 2.** Propuesta Flujo de Proceso base de FAN y toxinas
- Figura 3.** Resumen de la información de las áreas PSMB para cultivo y de bancos naturales a lo largo de Chile, contenidas en la base de datos de trabajo.
- Figura 4.** Tipo y número total de registros incluidos en la base de datos de trabajo.
- Figura 5.** Análisis de sensibilidad de las variables determinantes de la probabilidad de difusión.
- Figura 6.** Análisis de sensibilidad de las variables determinantes de la probabilidad de exposición.
- Figura 7.** Estructura Jerárquica con Pesos Locales.
- Figura 8.** Importancia Relativa Criterios Estratégicos.
- Figura 9.** Pesos relativos de los criterios económicos.
- Figura 10.** Pesos relativos de los criterios ecológicos.
- Figura 11.** Pesos relativos de los criterios sociales.
- Figura 12.** Pesos relativos de los criterios salud pública.
- Figura 13.** Importancia relativa de macrozonas dentro del criterio económico.
- Figura 14.** Importancia relativa de macrozonas dentro del criterio ecológico.
- Figura 15.** Importancia relativa de macrozonas dentro del criterio social.
- Figura 16.** Importancia relativa de macrozonas frente a criterio salud pública.



- Figura 17.** Resultado método AHP sobre importancia relativa o ranking de las macrozonas.
- Figura 28.** Componentes importancia relativa inicial.
- Figura 39.** Sensibilidad importancia relativa por aumento peso criterio económico.
- Figura 20.** Sensibilidad importancia relativa por aumento peso criterio ecológico.
- Figura 21.** Probabilidades de difusión, exposición y riesgo final del VPM para las cuatro macrozonas predefinidas.
- Figura. 22.** Probabilidades de difusión, exposición y riesgo final del VDM para las cuatro macrozonas predefinidas.
- Figura 23.** Probabilidades de difusión, exposición y riesgo del VAM para las cuatro macrozonas predefinidas.
- Figura 24.** Representación geográfica de los conglomerados significativos obtenidos para la región de Los Lagos.
- Figura 25.** Distribución geográfica de las áreas PSMB de la región de Los Lagos.
- Figura 26.** Detalle distribución geográfica de las áreas PSMB de la Región de Los Lagos
- Figura 27.** Riesgo final por zona para VPM, considerando cada una de las estaciones del año.
- Figura 28.** Riesgo final por zona para VDM, considerando cada una de las estaciones del año.
- Figura 29.** Riesgo final por zona para VAM, considerando cada una de las estaciones del año.
- Figura 30.** Macrozonas definidas (óvalos) en base a la data histórica de áreas PSMB con registros de las variables de densidad de microalgas nocivas y nivel de toxina en moluscos.
- Figura 31.** Estaciones regulares de monitoreo del PMRA enmarcando las estaciones de la región de Magallanes (**A**), y estaciones con mayor



frecuencia de presentar rangos altos de peligro de densidad celular específica para establecer estaciones centinelas: **B.** frecuencia de *A. catenella* (enmarcadas en rectángulo sector de Isla Piázzzi y Seno Otway), **C.** frecuencia de *D. acuminata* y **D.** frecuencia de *D. acuta*. Periodo 2006-2008.

**Figura 32.** Estaciones Presencia anual de *A. catenella* en estaciones de la región sur-austral. **A.** 2006, **B.** 2007 y **C.** 2008. Los números indican frecuencia de aparición en cada año.



## ÍNDICE DE TABLAS

---

- Tabla 1.** Niveles de toxicidad para las tres toxinas marinas de acuerdo a la normativa establecida por la autoridad sanitaria mundial.
- Tabla 2.** Número de registros de las variables seleccionadas por recurso y tipo de toxina que aparecen en la base de datos de trabajo.
- Tabla 3.** Tipo de variables pareadas en la base de datos de trabajo entre 1998 y 2008 y número de variables pareadas continuas existentes en el Programa Marea Roja Austral entre 2006-2008.
- Tabla 4.** Rangos de peligro definidos por el número de células de microalgas tóxicas asociado al nivel de toxina bajo o sobre la norma sanitaria establecida para exportación y consumo interno de bivalvos.
- Tabla 5.** Escala semicuantitativa de probabilidades para **D** y **E**
- Tabla 6.** Naturaleza de los efectos producidos por los distintos tipos de FANs que ocurren en Chile.
- Tabla 7.** Escala semicuantitativa de consecuencias.
- Tabla 8.** Probabilidad final **D-E** generada a partir de las probabilidades de ocurrencia de la difusión y exposición.
- Tabla 9.** Escala cualitativa de riesgo.
- Tabla 10.** Resumen del número de análisis de fitoplancton y de toxinas por región existente en la base de datos consolidada.
- Tabla 11.** Peligro Potencial de FAN por *Alexandrium catenella* y presencia de VPM
- Tabla 12.** Peligro Potencial de FAN por *Dinophysis acuta* y presencia de VDM.
- Tabla 13.** Peligro Potencial de FAN por *Pseudonitzschia sp.* y presencia de VAM
- Tabla 14.** Importancia final de las Macrozonas
- Tabla 15.** Estaciones del programa de monitoreo de fitoplancton de la asociación de salmoneros de Chile.



## ÍNDICE DE ANEXOS (en archivos digitales)

---

- ANEXO 1** Base de datos consolidada.
- ANEXO 2** Base de datos PSMB 1998-2006 de SERNAPESCA.
- ANEXO 3** Base de datos PSMB 2007-2008 de SERNAPESCA.
- ANEXO 4** Base de datos 1998-2006 de FIP 2006-36, INFAS Y CPS.
- ANEXO 5** Fichas PSMB 2002-2006 digitadas de SERNAPESCA.
- ANEXO 6** Base de datos áreas PSMB georeferenciadas.
- ANEXO 7** Encuesta multisectorial aplicada para evaluación de consecuencias para análisis.
- ANEXO 8** Presentación metodología del proyecto reunión con el mandante.
- ANEXO 9** Planillas de cálculos de probabilidades de difusión, exposición y riesgo.
- ANEXO 10** Estimación de probabilidades finales de D y E por región.
- ANEXO 11** Invitación a Taller realizado en Puerto Montt para la aplicación de encuestas y lista de participantes
- ANEXO 12** Invitación a video conferencia y lista de participantes.
- ANEXO 13** Tablas de estimación del riesgo final.
- ANEXO 14** Frecuencia de peligro de microalgas tóxicas y presencia anual de *A. catenella*.
- ANEXO 15** Carta Gantt.
- ANEXO 16** Equipo técnico y horas hombre por actividad.
- ANEXO 17** Prórroga de informe de avance corregido, pre-informe final y final.
- ANEXO 18** Programa de aplicaciones matemáticas y protocolos de su instalación y manejo para el poblamiento de las variables faltantes en la base de datos de trabajo.
- ANEXO 19** Invitación a Taller de difusión de resultados y número de asistentes.





## 2. INTRODUCCI3N

---

Las FANs son fen3menos naturales, y su desarrollo y desaparici3n depende de la interacci3n de m3ltiples factores oceanogr3ficos biol3gicos, f3sicos y qu3micos, cuyos mecanismos de acci3n pueden ser diferentes en el espacio y tiempo. Esta complejidad ha dificultado el avance en el conocimiento cient3fico y compresi3n de los factores que le dan origen.

Las FANs t3xicas m3s comunes en Chile son las que producen las siguientes toxinas:

- **Toxinas de tipo paralizante (VPM = Veneno paralizante de los mariscos)** constituidas por las saxitoxinas (STXs) y sus derivados, son producidas por dinoflagelados del g3nero *Alexandrium*. Estas toxinas son hidrof3licas y son f3cilmente distinguibles de las toxinas lipof3licas por ser extra3das con diferentes metodolog3as qu3micas. La especie presente en Chile asociada a la producci3n de esta toxina es *A. catenella*.
- **Toxinas lipof3licas (VDM = Veneno diarreico de los mariscos)**, constituidas por el 3cido okadaico y dinofisistoxinas (AO y DTXs) y son las toxinas que producen el s3ndrome diarreico propiamente tal. Dentro de este grupo de toxinas lipof3licas se encuentran tambi3n las pectenotoxinas, PTXs (hepatot3xica), yesotoxinas YTXs (cardiot3xica), azaspir3cidos, AZPs (par3lisis progresiva) y espir3lidos, SPXs (paralizante). Las toxinas diarreicas y pectenotoxinas son producidas por dinoflagelados del g3nero *Dinophysis* y especies bent3nicas del g3nero *Prorocentrum*, las yesotoxinas por *Lingulodinium polyedrum*, *Protoceratium reticulatum* y *Gonyaulax spinifera*, los espir3lidos por *Alexandrium ostenfeldii*, toxina que se sospecha est3 presente en Chile austral puesto que esta especie de



*Alexandrium* ha sido citada para esta zona (e.g. Uribe et al. 1998, Guzmán et al. 2002).

Las especies presentes en Chile asociadas a la producción de VDM son *D. acuminata* y *D. acuta*.

- **Toxinas de tipo amnésico (VAM = Veneno amnésico de los mariscos)**, producidas por diatomeas del género *Pseudo-nitzschia*. En Chile están presentes *P. australis* y *P. pseudodelicatissima* asociadas a la producción de esta toxina.

El Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PSMB), tiene por objetivo certificar áreas de cultivos o de bancos naturales para la exportación de moluscos bivalvos frescos y procesados destinados a mercados externos. Entre las variables que controla, están las especies de microalgas nocivas productoras de toxinas y nivel de toxicidad en los moluscos de exportación.

Dada la importancia de los recursos marinos de exportación en la economía nacional, la cobertura geográfica de las áreas del PSMB y las exigencias en el cumplimiento de las normativas de exportación de los productos marinos desde la perspectiva de las FANs, las autoridades plantearon realizar un **análisis de riesgos** en base a los antecedentes recopilados por el PSMB. Se añade a esta base de datos, la información registrada por otras vías (i.e. INFAS, CPS).

- **Qué es un análisis de riesgo**

La definición dada por la OIE (2009) designa como un **análisis de riesgo** al proceso que comprende la identificación del peligro, la evaluación del riesgo, la



gestión del riesgo, y la información sobre el riesgo. Los términos involucrados en esta definición son:

**Riesgo:** designa la probabilidad de manifestación y la magnitud probable de las consecuencias biológicas y económicas de un incidente o efecto perjudicial para la salud de las personas o de los animales en el país importador.

**Identificación del peligro:** designa el proceso de identificación de los agentes patógenos que puede contener la mercancía que se prevé importar.

**Evaluación del riesgo:** designa la evaluación de la probabilidad y de las consecuencias biológicas y económicas de la entrada, radicación o propagación de un peligro en el territorio de un país importador.

**Gestión de riesgos:** designa el proceso de identificación, selección y aplicación de las medidas que permiten reducir el nivel de riesgo.

**Comunicación sobre el riesgo:** designa el intercambio interactivo de información y opiniones a lo largo del proceso de análisis del riesgo acerca del riesgo en sí, los factores de riesgo y la percepción del riesgo entre las personas encargadas de evaluar el riesgo, las encargadas de la gestión del riesgo, las encargadas de informar sobre el riesgo, el público en general y las demás partes interesadas.

Así, para dar inicio a este estudio, se comenzó por analizar el conjunto de las bases de datos a través de un diseño de **evaluación de riesgos**. Mediante este proceso se estableció el tipo y calidad de las variables útiles para la optimización y adecuación de un análisis de riesgo, además de verificar el tipo y calidad de las variables efectivamente incorporada en la base de datos. De este modo los resultados de la aplicación de un análisis de riesgo optimizado, aumentan las



probabilidades que se correspondan con la realidad observada en la regi3n o zona de inter3s en que se aplic3 el an3lisis.

El objetivo final del dise1o de evaluaci3n de riesgos, fue establecer los procedimientos que permitan la aplicaci3n, si la base de datos as3 lo permite, de un an3lisis de riesgo 3ptimo y adecuado a las diferentes realidades regionales. Una herramienta de tales caracter3sticas en la toma de decisi3n, persigue respaldar las acciones administrativas y normativas de los diferentes organismos del Estado sobre los recursos susceptibles de ser afectados por eventos FAN. Permite adem3s, direccionar o re-direccionar los esfuerzos productivos, econ3micos y humanos de acuerdo al nivel de riesgo establecido en las diferentes regiones del pa3s con actividad extractiva y/o cultivo de especies bent3nicas de inter3s comercial.

- **3reas de aplicaci3n**

Esta herramienta es de uso reciente en el campo de los organismos en relaci3n que hasta hace poco era principalmente utilizado en el 3mbito de la ingenier3a y finanzas (evaluaci3n de riesgos estructurales, de cr3dito, mercado, tasa de inter3s, etc).

De modo que la herramienta se podr3a decir que est3 siendo evaluada para ser mejorada y optimizada en otros campos de aplicaci3n como es el org3nico. La complejidad que presenta el campo de los organismos es bastante mayor y desconocida respecto del 3mbito de las finanzas e ingenier3a. Dada la naturaleza de estos 3ltimos y grado de desarrollo, los an3lisis de riesgo incluyen en su metodolog3a modelos y ecuaciones, tareas que a3n quedan por desarrollar en el 3mbito org3nico de modo que los resultados esperados de un an3lisis de riesgo concuerden con la ocurrencia de peligros observados en la realidad.



Así es como en respuesta al aumento en los últimos años de las interacciones comerciales entre los diferentes países del mundo, esta metodología está siendo aplicada y desarrollada en el ámbito zoo y fitosanitario, como es el caso de la importación de animales y plantas y productos derivados de estos para el consumo humano. De este modo se trata de evitar al máximo la introducción de enfermedades tanto para los animales y plantas autóctonas como para las personas que consumen productos derivados de los mismos.

Por lo mismo en la literatura formal (científica o vinculada con el manejo de recursos), aún no existen trabajos de análisis de riesgos aplicados en el campo de las FANs, razón por la cual en el caso de este proyecto, la aplicación de esta herramienta está basada en las directrices de la Organización Mundial de Sanidad Animal recientemente establecidas (OIE, 2004) como primera aproximación.

- **Conceptos básicos involucrados en una evaluación de riesgos.**

Cuatro son los términos involucrados en un análisis de riesgo, los que se describen detalladamente a continuación para entender la metodología aplicada durante la ejecución del proyecto. Estos términos son: Riesgo (**R**), Difusión (**D**), exposición y consecuencias (**C**). Se entiende por:

**Riesgo (R):** Probabilidad de pérdidas y daños (sociales, ambientales, económicos), debido a eventos de diverso origen, que ocurren en un lugar dado y durante un tiempo de exposición determinado.

Esquemáticamente se puede representar en función de la combinación de los tres términos restantes:

$$R \text{ fn } (D, E, C)$$



**Difusi3n (D):** Es la probabilidad que un peligro se **produzca** en un lugar y tiempo dado. Se clasifican de acuerdo a la naturaleza de su origen: naturales (e.g. geol3gicas, hidrometeorol3gicas, ecol3gicas) y humanas (e.g. derivados de desechos t3xicos, incendios, emisi3n de contaminantes).

En este caso, la difusi3n es de origen natural y se refiere a la ocurrencia de FANs t3xicas. La variable requerida para evaluar la **difusi3n** es la **densidad de microalgas** que producen alguna de las toxinas antes mencionadas. La medici3n m3s adecuada de esta variable es a trav3s del conteo de c3lulas por unidad de volumen bajo un microscopio 3ptico invertido (Ütermhol 1958).

**Exposici3n (E):** Es la probabilidad que el agente de inter3s se vea **expuesto al peligro** m3s la probabilidad de radicarlo y/o propagarlo. En el caso de las FANs, son los moluscos los que resultan t3xicos para el consumo humano tras su exposici3n a una FAN t3xica.

La variable requerida para evaluar la **exposici3n** es el **nivel de toxina en los moluscos** determinado hasta ahora, por el bioensayo rat3n en el caso del veneno paralizante de los mariscos (VPM) y el veneno diarreico de los mariscos (VDM). El veneno amnésico de los mariscos (VAM) se detecta por cromatograf3a l3quida de alta eficacia (CLAE).

**Consecuencias (C):** Son los efectos biol3gicos, ecol3gicos, medio ambientales, econ3micos, productivos, sociales, de salud p3blica, que se generan al ocurrir una FAN t3xica. De los tres t3rminos que definen un an3lisis de riesgo, este es el que posee una mayor dificultad en su evaluaci3n debido a la complejidad y diversidad de efectos concurrentes as3 como de las t3cnicas y protocolos de su medici3n. De aqu3 que su evaluaci3n requiere de la aplicaci3n de encuestas multisectoriales



específicamente diseñadas para el problema en cuestión para ser respondidas por expertos sectorialistas y especialistas en FANs.

La base de datos del PSMB diseñado por SERNAPESCA tiene por objetivo dar cumplimiento a los requisitos establecidos por Estados Unidos y la Unión Europea para los productos marinos destinados a exportación. Estos requisitos son clasificar y monitorear las zonas de producción de los moluscos bivalvos y otros recursos susceptibles de ser afectados por toxinas marinas. Se originan del programa Food and Drug Administration (FDA) de Estados Unidos para cumplir con la normativa establecida para la importación de moluscos bivalvos vivos o crudos en ese país. En Chile, SERNAPESCA cuenta con el reconocimiento de la FDA como Autoridad Competente para hacer cumplir los requisitos en esta materia. Por su parte, la Autoridad Sanitaria Europea ha establecido en su Reglamento CE N°854/2002, ciertos requisitos específicos para la importación de moluscos bivalvos, gasterópodos, tunicados y equinodermos en cualquier presentación, es decir, vivos, congelados, en conserva, secos, etc. ([www.sernapesca.cl](http://www.sernapesca.cl)).

En este proyecto la información contenida en la base de datos del PSMB ha sido evaluada respecto a si es adecuada y en qué grado para ser utilizada para realizar un análisis de riesgo. De acuerdo a los resultados del diseño del modelo propuesto y ejecución del mismo, se realizan las sugerencias que permiten mejorar la base de datos para aplicar la metodología del análisis de riesgo propuesta en este proyecto tanto para mejorar el modelo de riesgo y actualizar los resultados de éste a la realidad de la problemática generada por las FANs en Chile.



### **3. OBJETIVOS**

---

#### **3.1. Objetivo general**

Desarrollar un procedimiento que permita realizar un análisis de riesgo de episodios FAN en áreas PSMB a lo largo del país

#### **3.2. Objetivos específicos**

3.2.1. Obtener información que permita realizar gestión de riesgos asociados a las FAN

3.2.2. Ajustar los programas de monitoreo, enfocándolos a los eventuales riesgos de FAN que se determinen de acuerdo a las características de cada zona.

3.2.3. Establecer estaciones centinelas que permitan dar una primera señal de alerta temprana ante la presencia de un evento FAN, para la oportuna toma de decisiones.

3.2.4. Proporcionar información para la clasificación de zonas de acuerdo al nivel de riesgo de presentar FAN, en el marco del Reglamento de Plagas Hidrológicas.





## **4. METODOLOGÍA**

---

En esta sección se presenta la metodología propuesta en la oferta técnica. La finalidad es dar a entender con claridad los resultados descritos en la sección de resultados y analizados en la discusión. Así también se entregan los antecedentes que permitan objetivamente evaluar si la base de datos de datos que presenta un amplio registro histórico y geográfico (más de 10 años) con la que se trabajó y que cumple cabal y exitosamente los objetivos para los cuales fue concebida — certificar la inocuidad de los productos marinos de exportación— es útil para realizar un diseño y ejecución de un análisis de riesgo FAN a nivel nacional.

### **4.1. Aspectos generales**

#### **4.1.1. Revisión de antecedentes**

Durante este periodo ha sido posible acceder y conocer la base de datos del PSMB y de la base de datos resultado del proyecto FIP N° 2006-36 (Murillo et al. 2008) que relacionó la base de datos del PSMB con la información procedente de INFAS y CPS mediante un programa aplicado para esta consolidación. También se ha accedido a la base de datos del Programa de Marea Roja en las tres regiones más Australes de Chile (PMRA) realizados entre el 2006 y 2008 (Guzmán et al. 2008, 2009), para calcular los rangos de densidad de microalgas que se asocian a los niveles de VPM y VDM en los moluscos.



#### **4.1.2. Reuniones de coordinaci3n**

##### **Con el equipo t3cnico**

Inicialmente se realiz3 una reuni3n del equipo t3cnico de IFOP para analizar las metodologías utilizadas durante este periodo del proyecto así como plantear la necesidad y posibilidad de mejorar la base de datos para el logro de los objetivos del proyecto. Así mismo se realiz3 una reuni3n informativa acerca del proyecto a representantes sectorialistas de SUBPESCA en dependencias de IFOP en Valparaíso.

##### **Con el mandante**

Tambi3n se realiz3 la primera reuni3n del equipo t3cnico de IFOP con los equipos t3cnicos del FIP, SUBPESCA y SERNAPESCA en marzo y abril de 2009 para exponer la metodología y presentaci3n general del proyecto, así como las limitaciones de la base de datos encontrada hasta ese momento, establecer la posibilidad de acceder a la informaci3n no registrada en la base de datos y completar dicha base para el logro de los objetivos, ajustar la metodología seg3n las indicaciones del mandante y del equipo t3cnico de IFOP y realizar las coordinaciones generales para las actividades necesarias como la ejecuci3n de Talleres de Aplicaci3n de Encuestas a Expertos Sectoriales y Especialistas”, actividad requerida por la metodología del proyecto.

#### **4.2. Metodología por objetivo**

En esta secci3n se describe la metodología aplicada durante el desarrollo del proyecto y los conceptos e ideas que la fundamentan. La presentaci3n de este



capítulo se organiza por objetivo específico según los términos técnicos de referencia.

#### **4.2.1. Objetivo específico 3.2.1. Obtener informaci3n que permita realizar gesti3n de riesgos asociados a las FAN**

##### **4.2.1.1 Actualizaci3n de la base de datos**

Para alcanzar este objetivo específico se trabaj3 con la base de datos del PSMB. En términos generales, la informaci3n contenida en esta base de datos respecto a FAN en Chile y potencial uso en un análisis de riesgo FAN, est3 referida a las áreas de cultivo, áreas de bancos naturales, variables oceanográficas (temperatura, salinidad, nutrientes), fitoplancton y niveles de toxicidad en moluscos (bioensayo rat3n) de las tres toxinas presentes en nuestro pa3s: VPM, VDM y VAM.

A esta base PSMB se le relacion3 la data proveniente de los INFAS y CPS entre los a3os 1998-2006 a trav3s de un programa que fue aplicado durante el proyecto FIP 2006-36 “Programaci3n y análisis de informaci3n biol3gica y oceanográfica obtenida a trav3s del programa de sanidad de moluscos bivalvos (PSMB)” (Murillo et al. 2008). Sin embargo, esta última base de datos multi-relacional fue útil solo en mínima parte para los objetivos del proyecto, de modo que la base de datos consolidada sobre la que se trabaj3 fue constituida principalmente por la base del PSMB siendo la columna vertebral de los datos utilizados en este proyecto. A esta base de datos de trabajo se le incorpor3 la densidad de células de las cinco microalgas nocivas asociadas a las toxinas antes mencionadas y cuyos registros se encontraban en papel: *Alexandrium catenella* (asociada al VPM) *Dinophysis*



*acuta*, *D. acuminata* (ambas asociadas al VDM), *Pseudo-nitzchia australis* y *Ps. pseudodelicatissima* (ambas asociadas al VAM).

Otra de las carencias de la base multi-relacional es que tampoco contenía las variables para realizar un análisis de riesgo predictivo de FAN en las macrozonas de acuerdo a lo que reportado en la literatura (*i.e.* Fraga & Bakun 1993, Guzmán *et al.* 2004, Guzmán *et al.* 2008). Estas variables se refieren por ejemplo a: Intensidad y dirección del viento, corrientes, profundidad máxima y/o batimetría, tipo de sedimentos, información que debiera estar incorporada en las INFAS y CPS siempre y cuando los informes hayan sido llenados precisa y completamente como corresponde según lo que exige la normativa vigente, situación que no se dio en la gran mayoría de los años considerados para este proyecto.

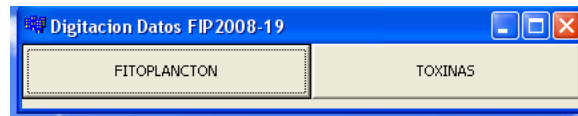
Finalmente, de las variables faltantes en la base consolidada, se decidió sólo incorporar la densidad de las microalgas nocivas por cuanto la incorporación de las restantes variables significaba un costo y tiempo mucho mayor al estipulado para realizar este proyecto y mucho de los informes están incompletos en su información o presentan información errónea.

Así, la base de datos de trabajo consolidada fue completada y además actualizada hasta el año 2008 con la información de los dos últimos años enviada por SERNAPESCA precisamente por la ocurrencia de fuertes eventos tóxicos de FAN durante el 2007 y 2008 (Guzmán *et al.* 2008) y porque en estos años es cuando se realizaron análisis de fitoplancton y toxinas en un número mucho mayor que el realizado en los años previos.

La creación de la base de datos consolidada fue realizada a través de la digitación individual de datos en una aplicación matemática diseñada para este objetivo



como la que se muestra abajo, la que permitió consolidar toda la información en una planilla Excel.



NMFOLIO	FCEXTRACCI	CDAREA	CDESTACION	Alex.catenella	Dinophy.acuta	Dinophy.acumin	Pseudon.austr.	Pseudon.seudodel.	ED
27	12/02/1998	10201	-A						ED
28	30/01/1998	10214	-A						
30	28/02/1998	10214	-A						
32	28/02/1998	10216	-A						
40	18/04/1998	10301	-A						
41	19/04/1998	10201	-A						
120	21/12/2000	10311	-A						
164	06/06/1999	10201	-A						

Form fields: Nº Folio (27), Estacion (-A), Cod. Empresa (10223), Empresa (10223), Fecha muestra (12/02/1998), Cod. Area PSMB (10201), Area (Ancud-Faro Corona), Region (10).  
Species: Alexandrium catenella, Dinophysis acuta, Dinophysis acuminata, Pseudonitschia australis, Pseudonitschiaseudodelicatissima.

NMFOLIO	FCEXTRACCI	CDAREA	CDESTACION	VDM	VPM	VAM	ED
51319	01/08/2003	0	C-Est5	Negativo	Negativo	Negativo	
51320	01/08/2003	0	C-Est3	Negativo	Negativo	Negativo	
51400	19/08/2003	0	C-Est3	Negativo	Negativo	Negativo	
51419	19/08/2003	0	P-Est8	Negativo	Negativo	Negativo	
51420	19/08/2003	0	P-Est9	Negativo	Negativo	Negativo	
51421	19/08/2003	0	P-Est10	Negativo	Negativo	Negativo	
51422	19/08/2003	0	C-Est5	Negativo	Negativo	Negativo	
50971	25/08/2003	0		Negativo	Negativo	Negativo	
48918	27/08/2003	0	P-Est8	Negativo	Negativo	Negativo	

Form fields: Nº Folio (51319), Estacion (C-Est5), Cod. Empresa (10878), Empresa (10878), Fecha muestra (01/08/2003), Cod. Area PSMB (0), Area, Region (0).  
Results: VDM (Negativo), VPM (Negativo), VAM (Negativo).



En resumen, la base de datos final con la que se trabajó (**Anexo 1**) incorporó y consolidó 5 bases de datos manejadas por separado. Estas incluían 46.841 muestras para análisis de fitoplancton y 43.540 muestras para análisis toxicológico. Las bases consideradas fueron:

- Base de datos digitalizada por Sernapesca (1998-2006) (**Anexo 2**)
- Base de datos digitalizada por Sernapesca (2007-2008) (**Anexo 3**)
- Base de datos proyecto FIP 2006-36 (**Anexo 4**)
- Fichas PSMB digitales (**Anexo 5**)
- Fichas PSMB papel (2004-2008) (Localización: SERNAPESCA Valparaíso)

Las fichas PSMB en papel contienen la información de densidad celular para las cinco especies nocivas entre los años 2004 y 2008. Información anterior al 2004 ya no se encuentra disponible en SERNAPESCA puesto que este servicio sólo ha almacenado la información en papel hasta los últimos cinco años por tanto ésta no fue posible ingresarla en la base de datos.

Así mismo, la base fue completada con las coordenadas geográficas de las áreas PSMB registradas en la base (**Anexo 6**) con la finalidad de representar espacialmente las macrozonas definidas sobre las que se aplicó el análisis de riesgo. Así también fue utilizada para establecer la zonificación final por riesgo de FAN una vez aplicado el análisis de riesgo con la base de datos actualizada y completada con las variables requeridas.

También fueron caracterizadas las macrozonas respecto al tipo e intensidad de uso (industrial, artesanal, cultivo o extracción, turismo) con el propósito de caracterizarlas por actividad productiva. La información fue recopilada desde



informes p3blicos de los respectivos Gobiernos Regionales, SERNAPESCA, SERNATUR y CONAMA.

#### 4.2.1.2 An3lisis de Riesgo

En el caso particular de este proyecto, el desarrollo del modelo de an3lisis de riesgo espec3fico para las Floraciones de Algas Nocivas (FANs) que afectan a los recursos bent3nicos bivalvos a lo largo de la costa del territorio nacional, se bas3 en el an3lisis de riesgo elaborado en el 3mbito de la sanidad animal enmarcado en las directrices de la Organizaci3n Mundial de Sanidad Animal (OIE, 2004). En el caso de este proyecto, la informaci3n referida a FANs est3 contenida en el Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PSMB) y en la opini3n de expertos multi-sectoriales y especialistas seleccionados en el tema. Esto 3ltimo a fin de definir los eventos que son de baja objetividad, para las cuales no existen suficientes datos o estos son de baja calidad o su correlaci3n es m3nima y/o no significativa. Un ejemplo, es el caso de la evaluaci3n del t3rmino consecuencias (C) realizado durante este proyecto.

#### Dise1o del Modelo An3lisis de Riesgo

La base de datos con la que se trabaj3 contiene la informaci3n para el desarrollo de un modelo de an3lisis de riesgo **no predictivo**. La evaluaci3n de la utilidad de esta informaci3n en el dise1o fue a trav3s de los resultados que arroj3 al ser aplicado el an3lisis. El grado de concordancia con lo que acontece en la realidad de cada macrozona seleccionada determin3 el grado de certidumbre del an3lisis. La informaci3n utilizada en esta evaluaci3n de la informaci3n fue la que sigue:

- Identidad y ubicaci3n georeferenciada de las 3reas de extracci3n y centros de cultivo. En este caso fueron identificadas las 3reas PSMB por c3digo.



- Registros temporales (fecha) y georeferencias de los eventos de FAN con identificación específica de las microalgas nocivas y cuantificación de éstas por especie (densidad celular).
- Registros temporales (fecha) y georeferencias de las toxinas monitoreadas por especie de recurso comercial.
- Paridad de los registros temporales y georeferencias de los eventos FANs con las toxinas monitoreadas en moluscos de modo de asegurar una causalidad-efecto.
- Clasificación productiva en base a las características económicas y sociales de las macrozonas definidas.

Sin embargo, para el desarrollo de un diseño de **análisis de riesgo predictivo**, además de las variables arriba mencionadas, eran requeridas las siguientes:

- Registros temporales (fecha) y georeferencias de los parámetros físicos, químicos y oceanográficos: radiación solar (visible, ultravioleta), nutrientes (compuestos nitrogenados y fosfatados), perfiles de temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto en la columna de agua; corrientes; dirección y velocidad del viento; batimetría o profundidad máxima, tipo de sedimento.
- Presencia actividades de riesgo: contaminación orgánica, rutas de Wellboat, rutas de traslado de recursos hidrobiológicos por arrastre, lugares de llenado y vaciamiento efectivo de aguas de lastre.
- Paridad (no sesgo) de los registros temporales y georeferencias de las variables anteriores.
- Flujo de procesos relacionados al monitoreo establecido en el PSMB. Considerando las etapas, responsables, tiempos de respuesta.





Sin embargo la base de datos como se mencion3 anteriormente, est3 incompleta en cuanto a estas variables y lo m3s importante, existe sesgo entre las variables, vale decir no poseen el requisito de paridad o al menos cercan3a espacio-temporal (dentro de la semana de recolecta de las muestras y en el mismo centro de cultivo o uno vecino). Esta situaci3n presenta una alta incertidumbre significativa. En consecuencia no fue posible confeccionar un modelo de an3lisis de riesgo **predictivo** durante el desarrollo de este proyecto.

### **Desarrollo de un modelo de an3lisis de riesgo: Etapas**

#### **- Identificaci3n del peligro**

Se elaboraron las matrices de caracterizaci3n de peligros para las macrozonas definidas, considerando los siguientes indicadores contenidos en la base de datos: Presencia de alguna o de las cinco especies nocivas y la detecci3n de las respectivas toxinas (VPM, VDM y VAM) en los moluscos asociadas a las microalgas presentes de acuerdo a la norma establecida. En el caso de Chile, el reglamento sanitario de los alimentos del Ministerio de Salud, DS N3 977/96, en su art3culo 333 establece los valores y criterios del contenido de VPM, VDM y VAM ([http://www.minsal.cl/ici/S\\_1/salud\\_ambiental/Ds977.pdf](http://www.minsal.cl/ici/S_1/salud_ambiental/Ds977.pdf)) en los mariscos destinados a consumo humano utilizando el bioensayo rat3n. Este decreto tambi3n capacita a los respectivos Servicios de Salud Regionales para dictar resoluciones de cierre o apertura de 3reas afectadas por marea roja. Los l3mites y criterios aplicados en Chile est3n basados fundamentalmente en las resoluciones emitidas por la Comunidad Europea 853 /2004 (Ch. V) para la regulaci3n de alimentos de origen animal (moluscos bivalvos vivos)

(<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:139:0055:0205:EN:PDF>).

La identificaci3n del peligro fue realizada mediante escalas de rangos definida: La primera con los niveles de toxicidad bajo y sobre la norma para cada una de las toxinas detectadas en los productos marinos de exportaci3n y consumo interno



establecidos por la autoridad sanitaria mundial (Tabla 1) y la segunda con el n3mero de c3lulas por especie nociva la que fuera generada por asociaci3n del n3mero de c3lulas con los niveles de toxicidad mencionados. De esta manera, con los criterios de niveles de toxicidad en los moluscos acordados mundialmente, se estimaron los rangos de densidad celular asociados a cada nivel de toxicidad de acuerdo al rango de probabilidades de causalidad-efecto. Recordemos que la interacci3n causa-efecto ha sido asegurada mediante la selecci3n de datos que presentan la condici3n de paridad con un gradiente de valores entre ellas: *i.e.* N3 de c3lulas por especie nociva-valor de toxicidad respectivo.

La Tabla 2 muestra el n3mero de variables de densidad celular espec3fica y el nivel de toxicidad por tipo de toxina y recurso a nivel nacional entre los a3os 1998 y 2008 utilizados para definir la escala los rangos de densidad celular correspondientes a cada nivel de toxicidad.

De la lista de la Tabla 2 se seleccionaron las variables pareadas N3 c3lulas-nivel de toxina. Sin embargo, dentro de este n3mero de variables pareadas, exist3an **pares desfasados** y **pares nulos** que no fueron considerados en la estimaci3n de los rangos de peligro. Para estimar estos rangos de peligro fue necesario contar con variables pares continuas, *i.e.* la variabilidad en el nivel de toxina encontrado en los moluscos deb3a corresponder con la variabilidad del n3mero de c3lulas de la microalga nociva asociada. A este tipo de variables se les denomin3 **variables pares continuas**. Por tanto la calidad del rango de “peligro” estimado por especie de recurso dependi3 primordialmente del n3mero de variables continuas existente en la base de datos. La figura 1 muestra un modelo esquem3tico que explica el origen de los registros de variables pareadas en desfase, nulas y continuas.

Las variables pareadas en desfase se originan principalmente durante el periodo de detoxificaci3n de los moluscos, *i.e.* ocurren niveles de toxicidad positivo que se



corresponden con un registro de “ausencia” en la columna de agua de la microalga asociada a la toxina. A estas variables se les denominó en desfase. Las variables pareadas nulas, *i.e.* ausencia de toxinas en los moluscos que se correspondía con una ausencia de la microalga en la columna de agua son las que ocurrieron como era esperable, durante los periodos de no evento de FAN. Las variables pares continuas se originaron durante el periodo de fase y fueron las utilizadas para establecer la escala de peligro.

Así, el tipo de variables pareadas encontradas en la base de datos revisadas (consolidada y programa marea roja austral) fueron las que se muestran en la Tabla 3.

El número de variables pares continuas encontradas en la base de trabajo consolidada solo permitió establecer un rango de peligros para los registros relacionados con el VAM. Por esta razón, para establecer el rango de peligro relacionado al VPM y VDM se recurrió a la base de datos del Programa de Marea Roja Austral (PMRA) realizado entre el 2006 y 2008 (Guzmán et al. 2008, 2009). Aunque el programa considera solo las tres regiones más australes de Chile la información es de calidad debido a la sinopticidad y sistematicidad de los muestreos (Tabla 3). En este caso la base incorpora datos integrados de densidad celular entre los estratos: 0-10 y 10-20 m de profundidad. Como la mayor frecuencia de aparición y cantidad de células nocivas fue mayor en el estrato 0-10 m, se utilizó solo este estrato para realizar las estimaciones.

Los rangos de peligro definidos a partir de las probabilidades de asociación entre el número de células de cada microalga nociva y el nivel bajo o sobre la norma se muestran en la Tabla 4.



La escala fue establecida en base al recurso más sensible encontrado en las bases de datos consultadas y al número de recursos monitoreados por el PSMB (ostión) y PMRA (chorito y cholga) con suficiente número de datos pareados continuos (ver Tablas 2 y 3). La densidad celular máxima para un nivel de toxicidad bajo la norma, fue establecida cuando la probabilidad de los valores de densidad celular se encontraba en una probabilidad de 0.7 dentro del nivel de toxicidad bajo la norma. Del mismo modo, la densidad celular mínima para un nivel de toxicidad sobre la norma fue establecida cuando los valores de densidad celular se asociaron con el nivel de toxicidad sobre la norma en una probabilidad igual o mayor a 0.5.

Al establecer los rangos de peligro, *D. acuta* no se asoció con el nivel de toxicidad por VDM en almeja por presentar solo dos pares de datos continuos positivos y ninguno negativo. La gran mayoría de estos datos fue negativo dada la baja frecuencia de aparición de *D. acuta* tanto en la base consolidada como en la del PMRA. En el caso de *P. pseudodelicatissima* y niveles de toxina VAM, no fue posible establecer rangos de peligro debido a que solo un 1% del total de datos continuos fue positivos mientras el restante 99% fue de datos continuos negativos.

#### - Evaluación del riesgo

La evaluación de cada uno de los tres términos (**D**, **E**, **C**) que definen un análisis de riesgo (**R**) fueron estimados a partir de las probabilidades de ocurrencia de una FAN y los efectos derivados del mismo (nivel de toxicidad en los moluscos y consecuencias). Una vez evaluados los tres términos, se estimó **R**.

#### **Evaluación de la Difusión (D) y Exposición (E)**

La evaluación de la difusión y exposición fue realizada por separado para un área y tiempo. Para ello se utilizó la escala de niveles de peligro establecidos en el



punto **Identificación del peligro** definido por el equipo técnico del proyecto: “Rangos densidad celular de las microalgas que se asocian a un nivel de toxicidad en los moluscos” (Tabla 4). Con la aplicación de esta escala en un área y tiempo determinado, se obtuvieron las probabilidades de ocurrencia de la difusión y exposición respectivamente según el flujo de eventos (Fig. 2).

En el caso del VDM, el cálculo de **D** y **E** fue realizado solo con el par de variables de densidad celular de *D. acuminata* y nivel de toxina VDM en el recurso chorito por cuanto es el recurso con mayor porcentaje de extracción y cultivo respecto a los recursos cholga y almeja en el sur del país. Si bien esta especie también es importante por su ocurrencia en el norte del país, hasta ahora se sabe que solo produce PTXs y no toxinas VDM. Además *D. acuminata* es la microalga con mayor frecuencia y densidad celular de aparición a nivel nacional y regional que la especie *D. acuta*. En el caso de *P. pseudodelicatissima* y VAM no hubo suficientes datos de modo que no fue posible evaluar **D** ni **E** para esta especie. Por el contrario, para *P. australis* fue posible realizar la evaluación con la base del PSMB, única fuente de información de monitoreo en las regiones del norte de Chile donde el ostión constituye el principal recurso de exportación.

Así, para la evaluación de **D**, se determinó la probabilidad que la densidad celular de las microalgas nocivas en el fitoplancton superaran: las 500 células/L en el caso de *A. catenella*, 400 células/L para *D. acuminata* y 1.500 células/mL para *P. australis*.

Para la evaluación de **E**, se determinó la probabilidad que los niveles de toxinas en los recursos analizados superaran los 80 µg STX eq. / 100 g de carne en caso del VPM; o fueran positivos para el VDM; o superaran los 20 µg /g carne en el caso del VAM.



Las probabilidades obtenidas para cada variable (**D**, **E**) fueron traspasadas a una escala semicuantitativa de probabilidad utilizando la escala de la Tabla 5, tabla estándar indicada por la metodología del OIE y adaptada por el equipo técnico de IFOP, que genera resultados cualitativos.

### ***Análisis de sensibilidad de probabilidades D y E***

Una vez estimadas la probabilidades de ocurrencia de **D** y **E**, los resultados se sometieron a un análisis de sensibilidad. Este consistió en la simulación de las probabilidades de ocurrencia de la difusión y exposición mediante el Método Monte Carlo (VOSE, 2004). El análisis generó las distribuciones de probabilidad que mejor se ajustaban al proceso causa-efecto. La fuerza entre la distribución de probabilidades y el proceso que la generó (variables) fue medida por el coeficiente de correlación calculado con el programa @Risk ®.

Las nuevas probabilidades obtenidas fueron entonces aplicadas para obtener una nueva zonificación (zonificación a *posteriori*), que permitió actualizar su representación espacial.

### ***Evaluación de las consecuencias (C)***

Para realizar la evaluación de las consecuencias, el equipo técnico analizó los probables efectos que una FAN genera.

En general, los efectos son de distinta naturaleza y no siempre cuantificables o son de magnitudes conocidas (o estimadas) lo que dificulta su evaluación. La Tabla 6 muestra las posibles consecuencias: biológicas, medioambientales, económico-productiva y sociales asociadas a la ocurrencia de eventos de FANs en Chile.



Para el caso, si bien gran parte de los efectos son cuantificables, su magnitud por lo general no ha sido estimada tras los eventos de FANs y/o no han sido incorporadas en la base de datos vigentes debido a la diversidad de objetivos de éstas. Incorporarlas a la base de datos consolidada utilizada en este proyecto implicaba un tiempo y dedicaci3n no contemplado en la propuesta ni en las bases de licitaci3n del proyecto.

Sin embargo, la metodología aplicada en un estudio de análisis de riesgo permite estimar la magnitud a través del **grado de importancia** que expertos sectoriales y especialistas seleccionados —de acuerdo al origen del evento y la naturaleza de sus efectos (también denominados criterios)— otorgan a una lista de efectos que les son presentados para ser evaluadas comparativamente en encuestas que fueron diseñadas para este propósito

A nivel nacional, la base de datos consolidada nos indicó que la ocurrencia de FANs era diferente geográficamente, en tiempo, intensidad y tipo. Por tal motivo la evaluaci3n subjetiva y magnificada de las consecuencias se realizó por macrozonas.

En el caso de este proyecto, la encuesta confeccionada para la evaluaci3n de los efectos o consecuencias fue denominada “**Importancia relativa de las áreas de manejo, extracci3n y cultivo en las macrozonas identificadas**” y se muestra en el Anexo 7. En este Anexo también se muestran las respectivas escalas de importancia relativa y de valores comparativos de los efectos según su naturaleza (criterios) que se utilizaron durante la encuesta (Tabla 7).

La consulta consideró la estructura jerárquica de criterios, *i.e.* un primer nivel de Criterios Estratégico (CE, consulta 1 en Anexo 7) y un segundo nivel de Criterios



Técnicos (CT, consulta 2 en Anexo 7). En esta encuesta también se incorporó la evaluación de los CT por macrozona definida (consulta 3 en Anexo 7) y por último un listado con las cinco especies de recursos comerciales y grado de importancia en cada región o macrozona de acuerdo al juicio de los entrevistados del lugar (consulta 4 en **anexo 7**).

Los Criterios Estratégicos (CE) considerados fueron los siguientes:

- Económico: Importancia económica-productiva de las áreas de extracción, manejo o cultivo para la industria exportadora de bivalvos que se ubican en las macrozonas.
- Ecológico: Importancia ecológica de las zonas marinas donde se encuentran las áreas de extracción, manejo o cultivo de las macrozonas.
- Social: Importancia social de las actividades productivas que se realizan en las áreas de extracción, manejo o cultivo de las macrozonas.
- Salud Pública: Importancia de la salud en las comunidades relacionadas a las áreas de extracción, manejo o cultivo de las macrozonas.

Los Criterios Técnicos (CT) dentro de cada CE fueron los siguientes:

- Económicos
  - Importancia del volumen total de exportación.
  - Importancia de una zona de potencial instalación de cultivos, áreas de manejo o extracción.
  - Importancia en el abastecimiento de la industria procesadora.
  - Importancia en el abastecimiento local de recursos hidrobiológicos frescos en la alimentación de los centros poblados.
- Ecológicos
  - Importancia por el efecto en el zooplancton.





- Importancia por la expansi3n del fen3meno y los agentes que la causan (quiste, movimiento de embarcaciones, etc.).
- Importancia por el efecto causado en las poblaciones de peces nativos y de cultivo.
- Importancia en el efecto por el efecto causado en la calidad de los sedimentos (sedimentaci3n de quistes).
- Sociales
  - Importancia seg3n el n3mero de familias vinculadas a la actividad
  - Importancia social de la actividad para la poblaci3n, en t3rminos de desarrollo social y econ3mico de la zona o localidad.
- Salud P3blica
  - Importancia por el nivel de intoxicaciones y mortandad generada.
  - Importancia por el requerimiento de pol3ticas p3blicas de difusi3n y capacitaci3n.

Las alternativas evaluadas fueron:

- Macrozona Norte (Regiones II, III y IV)
- Macrozona Centro (Regiones V y VIII)
- Macrozona Sur (Regiones X y XI)
- Macrozona Austral (Regi3n XII).

El contenido de las encuestas (subjetivo), fue complementado con la informaci3n magnificada entre los a3os 1998-2008 respecto a la importancia de cada macrozona en el aspecto productivo (toneladas producidas) y en la importancia de dicha actividad en el quehacer regional (PIB Regional)



Finalmente, la evaluación de las consecuencias se obtuvo al traspasar los resultados de las encuestas a una escala semicuantitativa de consecuencias que se detalla en la Tabla 7.

### ***Análisis de sensibilidad de consecuencias (C)***

Una vez estimadas la probabilidades de **C**, los resultados se sometieron a un análisis de sensibilidad basados en métodos de regresión y de correlación aplicados mediante el software @risk los que permiten determinar los principales eventos del proceso. Las técnicas estadísticas son:

- Método de Regresión Múltiple Stepwise
- Método de correlación de Clasificación de Spearman

### ***Estimación del riesgo (R)***

Los resultados cualitativos generados por la evaluación de probabilidades de difusión y exposición fueron llevadas a una escala cualitativa de probabilidad final (Tabla 8). Esta escala fue validada por los investigadores que trabajan en los programas de monitoreo de FAN o mareas rojas en Chile.

Los resultados de la Tabla 8 al mismo tiempo que la evaluación de las consecuencias, fueron traspasados a la matriz de estimación del riesgo (Tabla 9) para generar el valor final de riesgo de ocurrencia de FAN.

#### **4.2.1.3 Ejecución del Modelo Análisis de Riesgo**

El modelo de análisis de riesgo así obtenido, *i.e.* con los valores optimizados y ajustados de acuerdo a la metodología antes descrita, se ejecutó en cada macrozona definida a *priori*. El resultado de esta etapa permitió confirmar o



reclasificar las zonas definidas en función del riesgo estimado por el modelo aplicado (definición zonas a *posteriori*)

Las **zonas de riesgo** definidas a *posteriori*, fueron entonces sometidas a un análisis **estadístico de conglomerados** para establecer las **áreas espaciales** homogéneas en función del riesgo de ocurrencia de FAN por especie y por toxina. Al incorporar la variable temporal en el análisis, fue posible obtener además la temporalidad de riesgo del tipo de FANs para las mismas áreas.

#### **4.2.1.4. Representación espacial de la Zonificación (clasificación de zonas) en función del Análisis de Riesgo**

La **representación espacial** de las áreas de riesgo de ocurrencias FAN, consistió en generar polígonos a partir del análisis de la información histórica de la base de trabajo PSMB. La información fue compilada sobre una base cartográfica 1:250.000 del Instituto Geográfico Militar. Sobre esta base cartográfica fue posible superponer cada uno de los mapas temáticos generados por especies de algas nocivas o por periodos de tiempo en los cuales se presentaron dichas floraciones, para su posterior análisis.

Cada uno de estos mapas, lleva asociada una base de datos que entrega información de cada elemento gráfico y permite su análisis utilizando las herramientas que pone a nuestra disposición el software elegido para implementar el SIG.

Finalmente, mediante la intersección de todos los mapas temáticos generados y definiendo parámetros de intersección en base a la legislación ambiental vigente se generó un mapa con las zonas y áreas de riesgo.



#### **4.2.2 Objetivo espec3fico 3.2.2. Ajustar los programas de monitoreo, enfoc3ndolos a los eventuales riesgos de FAN que se determinen de acuerdo a las caracter3sticas de cada zona.**

Para el ajuste de los actuales programas de monitoreos ante los eventuales riesgos de FAN, se consideraron como criterios la especie de microalga t3xica, periodos y sectores geogr3ficos de mayor riesgo, estacionalidad, variables registradas, frecuencia de muestreos y actividad productiva del 3rea y objetivos para los cuales fueron creados. Basados en estos criterios y principalmente en los **resultados del an3lisis de riesgo** que se obtengan de este proyecto es que se recomienda ya sea modificar o dejar la estrategia de muestreo. Las estrategias de muestreo est3n en relaci3n a la frecuencia, costos asociados y la incorporaci3n de variables, sobre todo predictivas, en las estaciones centinelas (*i.e.* abundancia relativa, direcci3n y velocidad del viento, batimetr3a, profundidad m3xima, corrientes, tipo de sedimento marino) de modo de correlacionar significativa y representativamente las ocurrencia de FANs con los registros de variables de cada zona clasificada y dentro de cada zona de acuerdo al nivel de riesgo obtenido.

Dentro de los ajustes de los programas de vigilancia tambi3n se recomienda y discute las razones de la incorporaci3n de nuevas tecnolog3as de detecci3n de formas vegetativas y/o quistes de microalgas t3xicas (*e.g.* sondas moleculares), toxinas (*e.g.* LC/MS) y de alerta temprana (*e.g.* uso de sensores qu3micos para la detecci3n de toxinas en el agua).



**4.2.3 Objetivo específico 3.2.3. Establecer estaciones centinelas que permitan dar una primera señal de alerta temprana ante la presencia de un evento FAN, para la oportuna toma de decisiones.**

De acuerdo a la mayor frecuencia de ocurrencia de FANs como resultado obtenido en el objetivo 3.2.1. se establecieron las estaciones centinelas representativas de cada zona.

La definición de estas estaciones debe estar basada en la ocurrencia, intensidad e impacto de los eventos FANs y el grado en que afectan al criterio de prioridad de las macrozonas establecido en el objetivo 3.2.1. Hay que recordar que la selección de las estaciones centinelas no es de carácter predictivo sino más bien histórico debido a que la base de datos de trabajo adolece de las variables sincrónicas predictivas suficientes y/o requeridas para un análisis de riesgo con estas características.

**4.2.4 Objetivo específico 3.2.4. Proporcionar información para la clasificación de zonas de acuerdo al nivel de riesgo de presentar FAN, en el marco del Reglamento de Plagas Hidrológicas.**

**4.2.4.1 Jerarquización de zonas**

Para desarrollar este punto, se deben considerar los resultados de la clasificación de zonas de acuerdo al riesgo de ocurrencia FAN obtenidos en el punto 4.2.1.4. además de la revisión de la normativa vigente (DS MINECOM 345/2005) y de los informes técnicos generados en relación al Reglamento de Plagas Hidrobiológicas (REPLA).



Una vez obtenida la priorización de las zonas mediante el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples según se lo descrito en 4.2.4.1., la variable es incorporada al SIG.

Esto permite superponer la información de distribución histórica por año de *A. catenella* —considerada como plaga por el REPLA— sobre el mapa de zonificación de áreas de riesgo definidas en el punto 4.2.1.3., de modo de obtener la distribución de esta especie por área de riesgo.

#### **4.2.4.2 Sistema de medición de riesgo**

Como resultado del análisis de riesgo y el análisis de sensibilidad de las variables históricas, se determinan los parámetros críticos que definen la recurrencia o frecuencia de los eventos FAN y su intensidad, especialmente de aquellos de carácter riesgoso. Con esta información se evalúa la forma en que estas variables han sido monitoreadas y se proponen sistemas de control y reevaluación del riesgo de acuerdo a la priorización de zonas de riesgo definidas en este proyecto.

#### **4.2.4.3 Recomendaciones**

En base a los antecedentes generados se realizan las recomendaciones, por ejemplo relativas a: Fechas o estacionalidad del año y áreas claves de muestreo; recolecta sincrónica de los variables claves considerados en un análisis como el desarrollado en este proyecto; identificación certera de las especies nocivas; confirmación de la producción de toxinas por especies mediante su cultivo y/o microselección bajo un microscopio de la especie en muestras de fitoplancton; uso de técnicas de detección específico de toxinas en casos de duda como alternativa al bioensayo ratón; conveniencia de ampliar las especies hidrobiológicas



consideradas por el DS MINECOM 345/2005; incorporación sistemática de variables de carácter predictivo a la base de datos de estaciones o áreas centinelas; evaluación de las variables recomendadas o registradas en las bases de datos.



## **5. RESULTADOS**

---

En esta secci3n, se describen las actividades realizadas y los resultados obtenidos durante el desarrollo de este proyecto al aplicar la metodologfa antes descrita. Los resultados tambi3n entregan los antecedentes de por qu3 una base de datos con un registro hist3rico espacial y temporal tan amplio, presenta limitaciones serias para realizar un dise1o y ejecuci3n de un an3lisis de riesgo FAN a nivel nacional, evaluaci3n que s3lo fue posible obtener objetivamente al completar y actualizar la base de datos de trabajo, aplicar la metodologfa indicada y obtener los resultados finales.

### **5.1 Aspectos generales**

#### **5.1.1 Revisi3n de antecedentes**

Durante la ejecuci3n del proyecto se dise1o y ejecutaron aplicaciones matem3ticas para la actualizaci3n y repoblamiento de la base de datos de trabajo consolidada en base fundamentalmente al PSMB. Asf la base de datos consolidada contempl3 las variables requeridas para un dise1o de an3lisis **no predictivo** de acuerdo a las variables ya registradas m3s las que fueron incorporadas durante la ejecuci3n de este proyecto.

#### **5.1.2 Gesti3n, reuniones de coordinaci3n y taller de difusi3n de resultados**

##### **5.1.2.1 Con el equipo t3cnico**

El 2 de abril del 2009 se realiz3 una reuni3n del equipo t3cnico de IFOP conformado por Evelyn Henr3quez, Ricardo Gonz3lez y Gemita Pizarro en dependencias de IFOP en Valparafo. Su finalidad, analizar el contenido general de la base de datos sobre la que iba a trabajar, analizar las metodologfas a ser utilizadas entre ellas la confecci3n de programas de aplicaci3n destinados a





facilitar tanto el repoblamiento de la base con las variables faltantes requeridas en la evaluaci3n del an3lisis de riesgo as3 como actualizar la base de datos hasta el a3o 2008. Durante este d3a tambi3n se concret3 la subcontrataci3n formal del matem3tico Ricardo Gonz3lez como asesor t3cnico en el manejo y actualizaci3n de la base de datos consolidada.

Durante el mismo periodo y en las mismas dependencias de IFOP en Valpara3so, tambi3n se realiz3 una reuni3n con las sectorialistas de SUBPESCA Georgina Lembeye y Flor Uribe para informarles sobre la eventual petici3n y necesidades de actualizar la base de datos de trabajo con informaci3n de INFAS y CPS de lo 3ltimos a3os en caso de requerir esta informaci3n. As3 tambi3n se les inform3 t3cnicamente la metodolog3a aplicada para realizar la evaluaci3n de riesgo de FANs.

Finalmente, durante el mes de septiembre tambi3n se concret3 la subcontrataci3n formal del profesional Gustavo Sotomayor como asesor en el an3lisis de riesgos aplicado a fen3menos de FANs.

#### **5.1.2.2 Con el mandante**

El 12 de mayo del 2009, se realiz3 la primera reuni3n en dependencias del FIP en Valpara3so, con el secretario ejecutivo, se3or Rub3n Pinochet; la sectorialista de SUBPESCA, Flor Uribe; las profesionales de SERNAPESCA a cargo del programa PSMB, Tatiana Bernal y Claudia Rozas. La finalidad, presentar el programa de trabajo y la metodolog3a a seguir (Anexo 8), el estado de la base de datos de trabajo, dificultades encontradas en la misma para lograr plenamente los objetivos del proyecto, ajustar la metodolog3a seg3n las indicaciones del mandante y expresar el tipo, cantidad y necesidad de informaci3n requerida para actualizar la base de datos PSMB (Anexos 2-5).



### **5.1.2.3. Taller de difusión de resultados**

El 27 de enero de 2010 se realizó el taller de difusión de resultados.

Las observaciones y preguntas estuvieron dirigidas a clarificar la metodología y las variables utilizadas en el análisis de riesgo.

Se clarificó, que si bien la metodología fue aplicada de acuerdo a las formas que actualmente se utilizan en otros ámbitos como el zoonosario, los resultados estuvieron lejos de lo esperado. Aún cuando se disminuyó la resolución espacial y temporal de las variables.

Quedó claro que la base de datos tal como está hoy en día no es la apropiada para realizar un análisis de riesgo. Se deben mejorar aspectos de las variables claves en cuanto a conceptos de continuidad y sinopticidad. Aspectos cuantitativos de las especies tóxicas y potencialmente tóxicas también debieran ser incorporados en las bases de datos así como las variables ambientales que permitan desarrollar modelos predictivos de las FANs para ser incorporados en los análisis de riesgo. Muchas de estas variables son recolectadas por el PSMB, sin embargo no toda la información es traspasada a su base de datos.

Se debiera contar con un manejo integral de la información relativa a FAN. Un programa de ingreso de las variables que permita incorporar toda la información recolectada y no solo parte de ella mejoraría en mucho la actual base de datos. Por ejemplo, mucha de la información relacionada con la variable especies tóxicas no habían sido incorporadas en la base del PSMB y hubo que gastar mucho tiempo de este proyecto en ingresarla. Si a esta mejora en el ingreso de la información a la base de datos, añadimos sistematicidad, el concepto de variable continua y variables ambientales asociadas a la predicción de la las FAN, la actual



base debiera mejorar ostensiblemente como para aplicar un análisis de riesgo cuyos resultados concuerden al menos con la realidad que todas las personas vinculadas o afectadas por el fenómeno FAN ya conocen.

## **5.2 Resultados por objetivo**

En esta sección se describen los resultados obtenidos tras aplicar la metodología propuesta en el punto 4. La presentación de este capítulo se organiza por objetivo específico.

### **5.2.1 Objetivo específico 3.2.1. Obtener información que permita realizar gestión de riesgos asociados a las FAN**

#### **5.2.1.1 Actualización base de datos de trabajo**

##### **Construcción de la base de datos de trabajo**

Durante la ejecución del proyecto se accedió y trabajó con la base de datos que contiene mayormente información del programa de sanidad de moluscos bivalvos. Esta base de datos contiene información en 90.381 registros, de los cuales 46.841 son registros de fitoplancton y 43.540 registros de toxinas, cubriendo 119 áreas PSMB para cultivos y 76 áreas PSMB con bancos naturales, cuyas georeferencias han sido actualizadas y completadas al nivel de área PSMB (Anexo 6). Esta información incluye la información de 268 centros de cultivos y más de 344 estaciones de muestreo a lo largo de Chile (Fig. 3). Al nivel de estación las bases INFAS y CPS comienzan a presentar una georeferenciación mal digitada y/o incompleta. Razón por la cual la georeferenciación hasta el nivel de de estación no fue incluida en la base de datos consolidada.



Los registros de información contenida en las base de dato original del PSMB entre los años 1998-2006 (Anexo 2), se descomponen en registros microbiológicos, toxicológicos, fitoplancton, químicos y oceanográficos (Fig. 4).

La base de datos PSMB fue actualizada con las variables densidad de microalgas nocivas (*Alexandrium catenella* para el caso del VPM; *Dinophysis acuminata* y *D. acuta* para el caso del VDM; *Pseudonitzschia australis* y *Ps. pseudodelicatissima* para el caso del VAM) registradas entre los años 2004 y 2008. También se actualizaron los niveles de toxicidad para VPM, VDM y VAM por especie de recurso para los años 2007 y 2008, además de incorporar las georreferencias de las áreas PSMB. Esta base de datos es la que constituyó la “**base de datos consolidada**” (Anexo 1) sobre la que se trabajó en el desarrollo de este proyecto.

El resumen por región del número de análisis de fitoplancton y de toxinas, más los eventos registrados se muestra en el Anexo 9.1 y 9.2.

### **Análisis de la base de datos**

El análisis de la base de datos tuvo por finalidad conocer las características de ésta respecto de las variables fitoplancton y niveles de toxinas en moluscos consideradas para evaluar los términos **D** y **E**. Por tanto solo consideró los años con información más relevante para el periodo 1998-2008 a nivel nacional. La Tabla 10 muestra un resumen del número de análisis de fitoplancton y de toxinas, indicando la región con el mayor porcentaje de análisis.



### 5.2.1.2. Análisis de Riesgo

#### Desarrollo del modelo de análisis de riesgo no predictivo

##### - Identificaci3n y niveles del peligro

A partir de la definici3n de rangos de peligro para identificar los peligros potenciales de FAN (Tabla 4), se elabor3 una matriz por regi3n para cada alga nociva y toxina m3s el reporte de casos de intoxicaciones en humanos por regi3n cuya fuente fue la Secretaria Regional Ministerial de Salud respectiva (Tablas 11, 12,13).

En base a criterios del % de registros con presencia de microalga nociva sobre el l3mite y % de niveles de toxicidad por sobre la norma, se identificaron y cualificaron los niveles de peligro potencial como sigue:

Para el caso de floraciones de *Alexandrium catenella* y la toxina VPM es posible distinguir a las regiones II, III, IV, V, VII, VIII, X, XI y XII con un mayor peligro potencial de eventos de 3ste tipo. La matriz de peligro potencial por regi3n se indica en la Tabla 11.

Para el caso de floraciones de *Dinophysis* y la toxina VDM es posible distinguir a las regiones X, XI y XII con un peligro potencial de eventos de 3ste tipo. La matriz de peligro potencial por regi3n se muestra en la Tabla 12.

Para el caso de *Pseudonitzschia* sp. y la toxina VAM es posible distinguir a las regiones III, IV, VI, VII, X, XI y XII con un peligro potencial de eventos de 3ste tipo. La matriz de peligro potencial por regi3n se muestra en la Tabla 13.



### **- Evaluación del riesgo por región**

La evaluación de riesgo contempla la evaluación de las probabilidades de ocurrencia de eventos de FAN (peligros potenciales), su incidencia en la toxicación de los moluscos y las posibles consecuencias que implican.

#### ***Evaluación de la Difusión (D) y Exposición (E)***

Con los rangos de peligro definidos, se procedió a la simulación de las probabilidades de ocurrencia de la difusión y exposición.

La evaluación de probabilidades se realizó por región considerando la posibilidad de eventos de FAN para VPM, VDM y VAM.

Se utilizó la base de datos consolidada para estimar las frecuencias de detección de microalgas tóxicas, eventos FAN (Nº de células/mL caso del PSMB y Nº células/L caso del PMRA sobre el límite), presencia de toxinas y niveles de toxina por sobre los límites permitidos.

La probabilidad de difusión y exposición fueron obtenidas mediante iteración con el software @risk generando como resultado la “Probabilidad Difusión Monitoreo” y “Probabilidad Exposición Monitoreo”. La distribución de probabilidad seleccionada fue Uniforme Continua. Se utilizó a fin de asignar igual probabilidad a los valores posibles dentro de los rangos de probabilidad, máximo y mínimo, de la escala semicuantitativa utilizada en el modelo de estimación de probabilidades.

El Anexo 9.1 entrega los resultados de **”Probabilidad de Difusión Monitoreo”** para *A. catenella*, *Dinophysis* spp. y *Pseudonitzschia australis* para cada una de las regiones.



El Anexo 9.2 entrega resultados de “**Probabilidad de Exposici3n Monitoreo**” para VPM, VDM y VAM para cada una de las regiones que registran datos del PSMB.

A partir de lo anterior, se realiz3 el c3lculo de la **Probabilidad Final** (difusi3n v/s exposici3n), el cual se detalla en los Anexos 9.3 a 9.13.

Ambas probabilidades fueron ingresadas a la Escala Semicuantitativa de Probabilidad (Tabla 5). Con los valores cualitativos de probabilidad de difusi3n y exposici3n obtenidos, se determin3 el valor de probabilidad final mediante la Tabla 8,

Los resultados de probabilidad final de evento FAN por regi3n estimados a partir de las probabilidades de **D** y **E** se muestran en detalle en el Anexo 10. Un resumen de estos resultados es como sigue:

Para la Regi3n de Atacama, la probabilidad final calculada es:

- Baja para VDM
- Baja para VAM

Para la Regi3n de Coquimbo, la probabilidad final calculada es:

- Nula para VPM
- Baja para VDM
- Baja para VAM

Para la Regi3n de Bio Bio, la probabilidad final calculada es:

- Nula para VAM



Para la Región de los Lagos, la probabilidad final calculada es:

- Nula para VPM
- Nula para VDM
- Nula para VAM

Para la Región de Magallanes y Antártica Chilena, la probabilidad final calculada es:

- Baja para VPM
- Nula para VDM

### ***Análisis de sensibilidad de probabilidades de D y E***

Los resultados de este análisis tienen por finalidad confirmar la zonificación a priori y/o redefinir la zonificación de acuerdo a los criterios de probabilidad óptimos estimados por iteración. Sin embargo, los datos resultantes no permiten un mayor análisis.

No obstante, los resultados del análisis de sensibilidad de los flujos de eventos de FAN y sus probabilidades, muestran que los eventos relacionados con la capacidad de detección de los métodos de vigilancia ambiental de FAN se relacionan con mayor fuerza con la probabilidad de difusión (Fig. 5).

En el caso de la exposición, los eventos relacionados con contaminación o bioacumulación de biotoxinas en los recursos se relacionan con más fuerza con dicha probabilidad (Fig. 6).

### ***Evaluación de las consecuencias (C)***

La evaluación de las consecuencias se basó en determinar la importancia de las distintas macrozonas a través de la consulta a expertos (Anexo 7, Consulta 3), complementado con el análisis de los niveles de extracción de recursos susceptibles de contener marea roja en las distintas regiones y aporte de la actividad pesquera a la economía regional (PIB Regional).





Para la evaluación de las consecuencias, se realizaron dos talleres. El primero de ellos fue presencial y se realizó en la ciudad de P. Montt el día 10 de julio. A esta reunión fueron invitados representantes de Salud, FIP, CERAM, IFOP, Consultora Plancton Andino, empresas de la X región y asistieron 16 personas (Anexo 11). El segundo fue realizado por video conferencia (Anexo 12) para representantes de Salud, empresas acuicultoras, universidad, gobierno regional, IFOP, de la IV región, otra región del país en que la acuicultura tiene gran importancia económica. Esta video conferencia fue organizada por IFOP Coquimbo con conexión a P. Montt, Aysén y Magallanes y fue realizada a fines de julio del 2009. Participaron 9 personas además de otros 4 expertos sectoriales que fueron encuestadas personalmente en el caso de Magallanes, sumando un total de 13 participantes.

La estructura de criterios utilizada en el método AHP ( Análytic Hierarchy Process) con sus pesos relativos fue obtenida utilizando la función de consenso o combinación del software Experto Choice (Fig. 7).

Los resultados de las encuestas recibidas indican que al comparar la importancia relativa de los criterios estratégicos utilizados en el AHP, los expertos dan un mayor valor al tema de Salud Pública (41.9 %), seguido por el criterio económico (22.4%) y Social (22.1%) (Fig.8).

Dentro del criterio Económico, la función de consenso indica un mayor peso relativo para el criterio técnico Instalación de Cultivos en la zona afectada (34.2%) (Fig. 9).

Para el criterio estratégico Ecológico, el mayor peso relativo o importancia lo adquiere el criterio Expansión FAN, es decir el riesgo de diseminación de FAN a otras áreas (44.7%) (Fig. 10).

El criterio Desarrollo, es decir, el impacto que tendría un evento FAN en el desarrollo económico y social de las personas vinculadas directa o indirectamente



con la actividad acuícola, obtiene el mayor peso relativo dentro del criterio estratégico Social (67.7%) (Fig. 11).

En el ámbito de la Salud Pública, y en toda la estructura de criterios considerados, el impacto por intoxicaciones y mortalidad obtiene el mayor peso relativo (53.5%) (Fig.12).

Al analizar el peso o importancia de las Macrozonas por criterio estretégico, se obtuvo que dentro del criterio Económico, la Macrozona Sur (31.9%) es considerada de mayor importancia relativa, seguida de la Macrozona Norte (25.9%) (Fig. 13).

En relación a los aspectos ecológicos, los expertos asignan una mayor importancia correlativa a la Macrozona Sur (38.1%) seguida de la Macrozona Austral (33.1%). (Fig. 14)

Respecto al criterio Social, la Macrozona Sur (32%) obtiene la mayor importancia relativa y las Macrozonas Austral y Norte obtienen el mismo peso relativo (24.3%) (Fig. 15).

Dentro del criterio de Salud Pública, las Macrozonas Sur y Austral obtiene las mayores importancias relativas con un 35.2% y 32.6% respectivamente (Fig. 16).

Como resultado final, la función de consenso del AHP determinó que la Macrozona Sur (Regiones X y XI) presenta el mayor peso relativo (34%) seguida de la Macrozona Austral (Región XII) con un 28.3%, es decir, los impactos o consecuencias de eventos FAN en éstas macrozonas son cualitativamente más importantes que en las otras macrozonas evaluadas. (Fig. 17).

Las consecuencias finales que se utilizaron en el análisis de riesgo de las FAN, se componen del peso relativo final obtenida en el método AHP, la importancia en relación a la producción de recursos transvectores de cada macrozona, expresado



como un valor normalizado del promedio de producción en el período 1998 a 2008, y la importancia en el aporte del PIB Nacional de Pesca.

El impacto o consecuencias de florecimientos de algas nocivas y producción de biotoxinas y la consiguiente contaminación de recursos hidrobiológicos, tiene un impacto o consecuencia Muy Alta en la Macrozona Sur. En el resto de las Macrozonas las consecuencias serían Altas (Tabla 14).

### ***Análisis de Sensibilidad de consecuencias (C)***

Al realizar el análisis de sensibilidad de las consecuencias a través del uso del AHP, se observó que al asignar un mayor peso o importancia al criterio “económico” se produce un aumento de la importancia de la Macrozona Norte (Fig 18). De esta forma en un escenario donde los criterios económicos cobren una importancia relativa muy alta (86%), el modelo indica un cambio de prioridad de las macrozonas, pasando la Macrozona Norte a un segundo lugar con el 25% de las preferencias (Fig. 19).

A su vez, un aumento en la importancia del criterio de Ecológico a un 80.7%, ocasiona un aumento en la importancia relativa de las Macrozonas Austral y Sur a un 37.2% y 32% respectivamente (Fig. 20).

### ***Estimación del riesgo (R)***

El valor cualitativo de riesgo fue determinado al traspasar los valores de Probabilidad Final y el valor de Consecuencia a la Tabla 9.

Los resultados en detalle son mostrados en el Anexo 13. Un resumen de estos resultados fue como sigue (Figs. 21, 22 y 23):

Para la Región de Atacama, el riesgo calculado es:



- Bajo para VDM
- Bajo para VAM

Para la Región de Coquimbo, el riesgo calculado es:

- Nulo para VPM
- Bajo para VDM
- Bajo para VAM

Para la Región de Bio Bio, el riesgo calculado es:

- Nulo para VAM

Para la Región de los Lagos, el riesgo calculado es:

- Nulo para VPM
- Nulo para VDM
- Nulo para VAM

Para la Región de Magallanes y Antártica Chilena, el riesgo calculado es:

- Bajo para VPM
- Nulo para VDM
- 

#### **- Evaluación del riesgo para la Región de los Lagos**

##### ***División de la región***

Dado que la X Región es una zona de alto interés, se realizó un análisis de riesgo específico para ella. La Región se zonificó considerando los conglomerados resultantes del proyecto FIP 2008-32 “Establecimiento de criterios y diseño metodológico a utilizar para la declaración de áreas (plaga FAN, riesgo, libre) y su aplicación teórica”, que divide la región en 3 zonas: 1, 2 y 3 (Fig. 24)



Considerando lo anterior, se clasificaron las 1reas PSMB (Fig. 25 y 26). Adicionalmente el an1lisis de riesgo consider3 la variable estaci3n de a1o: primavera, verano, oto1o e invierno.

### ***Evaluaci3n de difusi3n y exposici3n***

La aplicaci3n de la metodolog1a desarrollada anteriormente permite obtener los resultados de "**Probabilidad de Difusi3n Monitoreo**" para *A. catenella*, *Dinophysis* spp. y *Pseudonitzschia australis* para cada una de las 3 zonas de la Regi3n de Los Lagos, separando adicionalmente el an1lisis por estaci3n del a1o (Anexo 9.14).

La "**Probabilidad de Exposici3n Monitoreo**" para VPM, VDM y VAM para cada una de las zonas y estaciones que registran datos del PSMB se muestra en el Anexo 9.15.

A partir de lo anterior, se realiz3 el c1lculo de la **Probabilidad Final** (difusi3n v/s exposici3n), el cual se detalla en los Anexos 9.16 a 9.50.

Ambas probabilidades fueron ingresadas a la Escala Semicuantitativa de Probabilidad (Tabla 5). Con los valores cualitativos de probabilidad de difusi3n y exposici3n obtenidos, se determin3 el valor de probabilidad final mediante la Tabla 8.

Los resultados de probabilidad final de evento FAN por regi3n estimados a partir de las probabilidades de **D** y **E** se muestran en detalle en el Anexo 10. Un resumen de estos resultados es como sigue:

Para la Zona 1, la probabilidad final calculada para invierno es:

- Baja para VPM
- Nula para VDM
- Alta para VAM



Para la Zona 1, la probabilidad final calculada para primavera es:

- Nula para VPM
- Nula para VDM
- Nula para VAM

Para la Zona 1, la probabilidad final calculada para verano es:

- Nula para VPM
- Nula para VDM
- Nula para VAM

Para la Zona 1, la probabilidad final calculada para otoño es:

- Baja para VPM
- Baja para VDM
- Baja para VAM

Para la Zona 2, la probabilidad final calculada para invierno es:

- Nula para VPM
- Nula para VDM
- Nula para VAM

Para la Zona 2, la probabilidad final calculada para primavera es:

- Nula para VPM
- Baja para VDM
- Nula para VAM

Para la Zona 2, la probabilidad final calculada para verano es:

- Nula para VPM
- Nula para VDM
- Nula para VAM



Para la Zona 2, la probabilidad final calculada para otoño es:

- Baja para VPM
- Baja para VDM
- Baja para VAM

Para la Zona 3, la probabilidad final calculada para invierno es:

- Alta para VPM
- Alta para VDM
- Alta para VAM

Para la Zona 3, la probabilidad final calculada para primavera es:

- Baja para VPM
- Media para VDM
- Alta para VAM

Para la Zona 3, la probabilidad final calculada para verano es:

- Baja para VPM
- Media para VDM
- Media para VAM

Para la Zona 3, la probabilidad final calculada para otoño es:

- Baja para VPM
- Alta para VDM
- Baja para VAM



### ***Evaluación de las consecuencias (C) y Análisis de Sensibilidad de las consecuencias (C)***

Con respecto al análisis de las consecuencias, los valores definidos para la Macrozona Sur, donde se incluye la X Región, son los considerados en este caso.

Es por ello que tal como se señaló anteriormente, el impacto o consecuencias de florecimientos de algas nocivas y producción de biotoxinas y la consiguiente contaminación de recursos hidrobiológicos, tiene un impacto o consecuencia Muy Alta en la Macrozona Sur. En el resto de las Macrozonas las consecuencias serían Altas (Tabla 14).

Al realizar el análisis de sensibilidad de las consecuencias a través del uso del AHP, se observó que al asignar un mayor peso o importancia al criterio “económico” se produce un aumento de la importancia de la Macrozona Norte (Fig 18). De esta forma en un escenario donde los criterios económicos cobren una importancia relativa muy alta (86%), el modelo indica un cambio de prioridad de la macrozonas, pasando la Macrozona Norte a un segundo lugar con el 25% de las preferencias (Fig. 19).

A su vez, un aumento en la importancia del criterio de Ecológico a un 80.7%, ocasiona un aumento en la importancia relativa de las Macrozonas Austral y Sur a un 37.2% y 32% respectivamente (Fig. 20).

### ***Estimación del riesgo (R)***

El valor cualitativo de riesgo fue determinado al traspasar los valores de Probabilidad Final y el valor de Consecuencia a la Tabla 9.





Los resultados en detalle son mostrados en el Anexo 13 y Figuras 27, 28 y 29. Un resumen de estos resultados fue como sigue:

Para la Zona 1, el riesgo calculado para invierno es:

- Medio para VPM
- Nulo para VDM
- Muy alto para VAM

Para la Zona 1, el riesgo calculado para primavera es:

- Nulo para VPM
- Nulo para VDM
- Nulo para VAM

Para la Zona 1, el riesgo calculado para verano es:

- Nulo para VPM
- Nulo para VDM
- Nulo para VAM

Para la Zona 1, el riesgo calculado para otoño es:

- Medio para VPM
- Medio para VDM
- Medio para VAM

Para la Zona 2, el riesgo calculado para invierno es:

- Nulo Para VPM
- Nulo para VDM
- Nulo para VAM



Para la Zona 2, el riesgo calculado para primavera es:

- Nulo para VPM
- Medio para VDM
- Nulo para VAM

Para la Zona 2, el riesgo calculado para verano es:

- Nulo para VPM
- Nulo para VDM
- Nulo para VAM

Para la Zona 2, el riesgo calculado para otoño es:

- Medio para VPM
- Medio para VDM
- Medio para VAM

Para la Zona 3, el riesgo calculado para invierno es:

- Muy alto para VPM
- Muy alto para VDM
- Muy alto para VAM

Para la Zona 3, el riesgo calculado para primavera es:

- Medio para VPM
- Muy alto para VDM
- Muy alto para VAM

Para la Zona 3, el riesgo calculado para verano es:

- Medio para VPM
- Muy alto para VDM
- Muy alto para VAM



Para la Zona 3, el riesgo calculado para otoño es:

- Medio para VPM
- Muy alto para VDM
- Medio para VAM

### **5.2.1.3. Ejecución del Modelo Análisis de Riesgo**

El modelo ejecutado en cada macrozona arrojó un nivel de riesgo que se evaluó a través del análisis de sensibilidad y la incorporación de otras variables (e.g. aporte de la pesca al PIB) todo con el fin de establecer una base mínima que sustentara una priorización realista de las macrozonas analizadas. Las figuras 21, 22 y 23 muestran un resumen de los resultados de las probabilidades de **D**, **E** y **R** para el VPM, VDM y VAM en las cuatro macrozonas predefinidas.

Los resultados de riesgo por macrozona fueron lejanos a la realidad. Así por ejemplo en la macrozona de los Lagos el riesgo fue nulo para las tres toxinas en circunstancias que han existido eventos asociados a cada una de ellas durante el periodo de los últimos diez años tanto por presencia de las microalgas involucradas, detección de niveles de toxinas respectivos por sobre la norma y una alta importancia de las consecuencias de los eventos de marea roja para las cuatro zonas consideradas. Otro tanto aconteció con la macrozona de Magallanes cuyos resultados Nulos no se corresponden con la situación problemática multisectorial generada por el VPM principalmente durante los últimos diez años. Los resultados de riesgo para la macrozona de Coquimbo están en concordancia para los problemas generados por el VPM, sin embargo era esperable obtener al menos un nivel de medio en el caso del VAM situación que no quedó representada en los resultados.

Debido al bajo nivel de riesgo obtenido por macrozona considerando la totalidad de los datos, tampoco fue posible expresar estos niveles de riesgo por área de



PSMB y tiempo del año dado el número insuficiente de datos continuos a esta escala espacial y temporal. En consecuencia, no fue necesario realizar un análisis estadístico de conglomerados por zona o área de PSMB.

#### **5.2.1.4. Representación espacial de la zonificación (clasificación de zonas) en función del análisis de riesgo**

Las macrozonas definidas *a priori* (Fig. 30) bajo los criterios de mínima distancia geográfica entre ellas, tipo de toxina y especies de microalgas registradas históricamente a través del PSMB a lo largo de Chile sirvieron de base para dar inicio a la ejecución del modelo de riesgo. Estas macrozonas pre-definidas fueron: Macrozona norte (cubre las regiones II, III, IV); macrozona centro (cubre las regiones V, VIII); macrozona sur (cubre las regiones X, XI) y macrozona austral (cubre la XII región).

Sin embargo, con los resultados de riesgo antes obtenidos, no fue posible establecer una reclasificación de las macrozonas ni aumentar la resolución del nivel de riesgo dentro de cada macrozona. Esto debido fundamentalmente al bajo número de variables útiles que están registrados en la base de datos con la que se trabajó como para realizar un análisis de riesgo con una mayor resolución temporal y espacial.

#### **5.2.2 Objetivo específico 3.2.2. Ajustar los programas de monitoreo, enfocándolos a los eventuales riesgos de FAN que se determinen de acuerdo a las características de cada zona.**

Los programas de monitoreo en ejecución en nuestro país son: el PSMB con 195 áreas de monitoreo que comprenden más de 300 estaciones de muestreo distribuidas entre Arica y el Cabo de Hornos (Fig. 3); el programa anual de mareas rojas austral de la SUBPESCA posee 148 estaciones distribuidas entre la Puerto



Montt y el Cabo de Hornos (Fig. 31A) en ejecución desde el año 2006. Cabe destacar además que existe una base de datos para la región de Magallanes (46 estaciones, Fig. 31A) desde el año 1997 a 2005 financiado por FNDR y FONDEMA. Finalmente está el monitoreo del Instituto Técnico del Salmón (INTESAL) que en la actualidad cuenta con aproximadamente 53 estaciones de muestreo distribuidas también entre Puerto Montt y el Cabo de Hornos (<http://www.salmonchile.cl>) Este programa se encuentra en ejecución desde el año 1989. La Tabla 15 (gentileza de INTESAL) muestra las estaciones actualizadas de monitoreo aunque no registra las coordenadas geográficas.

La condición acordada entre las entidades a cargo de la ejecución de los respectivos programas vigentes es que las estaciones de monitoreo no se superpongan entre los programas.

Los resultados del análisis riesgo aplicado por macrozona de acuerdo a la información del PSMB resultaron poco robustos e insuficientes como para ajustar los programas de monitoreo antes mencionados.

Para mejorar la información y resultados de riesgo obtenidos, es necesario aplicar la metodología desarrollada a las bases de datos de los otros programas. En el caso del PMRA, la base cuenta con aproximadamente 4500 registros con información que abarca entre los años 2006-2009, de estaciones, coordenadas geográficas, fitoplancton específico, nivel de toxinas por bioensayo ratón para VPM y VDM y por LC/FI para el caso del VAM, clorofila, perfiles de temperatura, salinidad y densidad de la columna de agua además de algunos registros meteorológicos instantáneos (temperatura del aire, dirección y velocidad del viento, presión atmosférica). En el caso de data de Magallanes, ésta posee 4000 registros con las mismas variables anteriores entre los años 1997 y 2005.



En el caso del programa INTESAL, la información se presenta en boletines quincenalmente para sus asociados con información del fitoplancton (aunque los análisis comprenden las microalgas tóxicas como aquellas nocivas para los cultivos de salmones que no es indicada en los boletines), las variables temperatura, salinidad y concentración de oxígeno y conducta de peces (<http://www.salmonchile.cl/INTESAL>). Si bien no se realizan análisis de toxinas en muestras de carne de moluscos ni de peces por cuanto no está dentro de los objetivos de este monitoreo, la información oceanográfica pudiera ser útil para mejorar las probabilidades de predicción de las FANs tanto tóxicas como nocivas.

**5.2.3 Objetivo específico 3.2.3. Establecer estaciones centinelas que permitan dar una primera señal de alerta temprana ante la presencia de un evento FAN, para la oportuna toma de decisiones.**

El resultado de sensibilidad (Fig. 5) indicó que los eventos relacionados con la capacidad de detección del programa PSMB se relacionaron con mayor fuerza con la probabilidad de difusión (**D**). Por esta razón, debido a que las probabilidades de ocurrencia de **D** fueron muy bajas (Anexo 9.1), la alerta temprana se basó en la cuantificación de la variable microalgas tóxicas por especie.

Así, se utilizó la escala de rangos de peligro (Tabla 4) para identificar las áreas centinelas con las características de presentar la mayor frecuencia de las distintas especies. En el caso de las *Dinophysis* spp. se utilizó el rango de mayor sensibilidad (*i.e.* >200 células /L) por afectar a más recursos. Debido a que la base de trabajo del PSMB tiene registrada frecuencias históricas de esta variable microalgas por área georeferenciada y no por estación, se han identificados áreas PSMB como centinelas. La base de datos PSMB permitió identificar 6 áreas en el rango de peligro de células solo para *P. australis* (asociada al VAM). Sin embargo,



la escasa frecuencia anual de aparición de esta especie por sobre los rangos de peligro no hizo posible establecerlas como áreas centinelas (Anexo 14). En el caso de las estaciones centinelas para *A. catenella* y *Dinophysis* spp. (Anexo 14) estas fueron derivadas del PMRA aunque sólo para las regiones del sur-austral de Chile con 148 estaciones que es el área geográfica que cubre dicho programa. En esta base de datos fue posible identificar para el periodo 2006-2008, frecuencias superiores de peligro de densidad celular en 77 estaciones para *A. catenella*, 90 estaciones para *D. acuminata* y 31 estaciones para *D. acuta*. De estas estaciones, frecuencias mayores o iguales a 3 se presentaron en 18 estaciones en el caso de *A. catenella*, 36 estaciones para *D. acuminata* y 6 estaciones para *D. acuta* (Figs. 31B, C, D).

En el caso de *A. catenella* en Aysén, las estaciones con mayor frecuencia de peligro se encuentran en la zona central de la región (boca del fiordo Aysén y sector de Meninea), sector de Marín Balmaceda y sector de Melinka mientras que en Los Lagos, el sector de Quellón y entrada al Golfo del Corcovado presenta estaciones al menos con una frecuencia de dos.

La misma especie en la región de Magallanes las estaciones del sector de Isla Piazzini y Seno Otway son las que presentan altos rangos de densidad de peligro.

En el caso de *D. acuminata* (Fig. 31C) las estaciones de Los Lagos ha quedado bien representada principalmente el sector del Seno de Reloncaví mientras que en Aysén es el sector centro el que presenta estaciones con la mayor frecuencia de rangos altos de peligro (alrededor de la boca del fiordo Aysén y sector de Meninea).



Por el contrario, *D. acuta* (Fig. 31D) se presentó en un área muy localizada de Aysén. Las estaciones con mayor frecuencia de rangos altos de peligro se localizaron en el sector central y sector de Raúl Marín Balmaceda.

Para el caso de *P. australis* como se mencionó antes, no fue posible obtener este tipo de información debido al bajo número de registros con rangos de peligro alto existente en la base de datos de trabajo a pesar que el resultado del nivel de riesgo por VAM en la zona norte del país no fue Nulo.

#### **5.2.4 Objetivo específico 3.2.4. Proporcionar información para la clasificación de zonas de acuerdo al nivel de riesgo de presentar FAN, en el marco del Reglamento de Plagas Hidrológicas.**

##### **5.2.4.1. Jerarquización de zonas**

En el caso de *A. catenella*, existen criterios que permiten declarar un área de riesgo FAN, entendiéndose por área a una región geográfica que no necesariamente abarca la totalidad de la zona declarada área FAN (de acuerdo al REPLA). En otras palabras un área de riesgo FAN puede estar contenida dentro de una zona declarada área FAN.

Los criterios para declarar un área FAN ya sea inclusiva o exclusivas son:

- Menos del 50% de las estaciones son positivas a la presencia de *A. catenella*;
- Abundancia relativa esté en el nivel 2
- Para liberar un área FAN, se deberá demostrar que en dos años sucesivos no ha habido presencia de la especie.





Utilizando el tercer criterio, puesto que la base del PSMB no registra datos de abundancia relativa, las zonas fueron jerarquizadas respecto a la **frecuencia anual de presencia** de *A. catenella* tanto en la base del PSMB como en la base del PMRA con la finalidad de comparar la información

Inicialmente, este objetivo se pensó que sería posible lograr con la base de datos del PSMB actualizada, sin embargo el número de datos de presencia de *A. catenella* a nivel nacional fue escaso (Anexo 14). De modo que se utilizó la base del PMRA para identificar las zonas con mayor frecuencia histórica en las regiones del sur austral. Estas fueron recurrentes en el sector central de Aysén, sector Melinka y Raúl Marín Balmaceda.-Puyuapi (Fig. 32). A diferencia de Aysén, la mayor parte de las estaciones de Los Lagos y Magallanes no se repitieron durante los tres años considerados. Solo el sector de seno Otway presentó una presencia de esta especie durante los tres años.

#### **5.2.4.2. Sistema de medición de riesgo y recomendaciones**

Los resultados solo han permitido establecer parámetros críticos muy generales y poco resolutivos en el aspecto geográfico y temporal. Sin embargo a partir de los resultados de las mayores frecuencias de peligros en densidad de microalgas asociados a niveles de toxina sobre la norma, ha sido posible identificar áreas geográficas críticas en la región de Aysén y Magallanes y en estaciones del año que cubren los meses de octubre a mayo.

Si bien estos resultados no han arrojado nueva información sobre otros parámetros críticos que considerar, al menos han permitido confirmar algunos conocidos como las áreas geográficas.



Otra informaci3n que no fue posible establecer con la base de datos de trabajo fue la estacionalidad del a1o en que ocurren con mayor frecuencia los eventos. Sin embargo s3 fue posible obtenerlo desde las bases de datos del PMRA. Esto indica que una mejora en la calidad de los datos registrados pueden mejorar ostensiblemente los resultados del an1lisis de riesgo.

**Por tanto las recomendaciones est1n dirigidas a mejorar este aspecto de las bases de datos. Estas debieran incluir en forma rutinaria y en el corto plazo: Georeferenciaci3n de las estaciones, sinopticidad de los muestreos de fitoplancton y de moluscos as3 como de las variables oceanogr1ficas; fechas de las muestras densidad y abundancia espec3fica de las especies probadamente t3xicas y potencialmente t3xicas.**

Otros aspectos que se deben mejorar y perfeccionar a mediano plazo son: **Identificaci3n certera de las especies nocivas; uso de t3cnicas de detecci3n espec3fico de toxinas en casos de duda como alternativa al bioensayo rat3n; confirmaci3n de la producci3n de toxinas por especies mediante cultivos o en su defecto en c3lulas aisladas por micromanipulaci3n durante los eventos de FANs; incorporaci3n sistem1tica de otras variables de car1cter predictivo a la base de datos comenzando por las estaciones centinelas; aumentar la resoluci3n temporal de los muestreos en 1reas claves como las que presentan mayor frecuencia y/o probabilidad de peligro.**



## **6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

---

### **6.1 Discusión por objetivo**

En esta sección se discuten los resultados obtenidos tras aplicar la metodología propuesta para realizar un análisis de riesgo de Fan a nivel nacional utilizando la base de datos del PSMB

#### **6.1.1. Objetivo específico 3.2.1. Obtener información que permita realizar gestión de riesgos asociados a las FAN**

##### **6.1.1.1. Actualización base de datos de trabajo**

Si bien la base de datos de trabajo fue actualizada con las variables requeridas para aplicar la metodología de un análisis de riesgo, los resultados obtenidos están lejos de la realidad a nivel regional. La razón fundamental radica que el programa PSMB tiene por objetivo asegurar la inocuidad de los productos que son exportados. A pesar del gran número de análisis registrados tanto de microalgas como de toxinas en los moluscos, la gran mayoría de los datos son negativos para ambas variables. En consecuencia, las probabilidades de difusión y exposición positivas en las áreas monitoreadas fueron despreciables (Anexo 9.1 y 9.2).

La posibilidad que muchos de los centros de cultivos cuenten con monitoreos internos para conocer el estado FAN del lugar antes de cosechar sus recursos pudiera incidir notablemente en los resultados obtenidos. Sin embargo esta información es desconocida.

Por otra parte, si bien la base de datos cuenta con información desde 1998, solo los últimos dos años (2007 y 2008), existe un número de registros mayor a los



10.000 análisis de fitoplancton y toxinas con más del 70% realizado en la X región en tanto la III presenta el porcentaje restante. No obstante igualmente, la mayoría de estos datos presentan desfase y/o son negativos para ambas variables.

### **6.1.1.2. Análisis de Riesgo**

#### **Desarrollo del modelo de análisis de riesgo no predictivo**

Una de las etapas claves en el desarrollo del modelo de riesgo FAN, fue establecer los niveles de peligro luego de identificarlos. La base del PSMB sólo fue útil en establecer los rangos de peligro para *P. australis* asociados a niveles de VAM en moluscos. En el caso de los niveles de peligro para *A. catenella* y *Dinophysis* spp. y sus respectivos niveles de toxina asociados (VPM y VAM), hubo que establecerlos a partir de la base de datos del PMRA que se ejecuta desde el año 2006 aunque solo abarca la zona sur austral de Chile.

Los rangos de peligro establecidos en este estudio para las diferentes microalgas nocivas, estuvieron dentro de los rangos reportados en la literatura. En el caso de los dinoflagelados como *Dinophysis* spp. y *Alexandrium* spp., que frecuentemente representan tan sólo una pequeña fracción (1-5%) de la población fitoplanctónica total, concentraciones de 200 células de *Dinophysis* sp. o sobre 1000 células de *Alexandrium* spp por litro, pueden ser suficientes para conferir niveles de toxinas a los bivalvos por encima del nivel de regulación (Yasumoto *et al.* 1985, Reguera 2003). En el caso de las diatomeas *Pseudonitzschia* spp., magnitudes sobre los 100.000 células por litro pueden dar positivo a VAM en los moluscos (Reguera 2003).

No obstante estos rangos de peligro establecidos, los niveles de toxina encontrados en los moluscos fueron altamente dependiente de las tasas de detoxificación. Así en el caso de la cholga y almeja resultaron ser recursos más sensibles a la presencia de



*Dinophysis* spp. o *A. catenella* que el chorito. Este último recurso presenta una tasa de detoxificación más alta que los otros recursos (e.g. Blanco et al. 2002, Guzmán et al. 2000) razón por la cual los niveles detectados en chorito siempre fueron menores a los detectados en otras especies de bivalvos.

Para el caso de *Pseudonitzschia* spp. no fue posible establecer comparaciones entre recursos debido al limitado número de registros existente en la base de trabajo del PSMB para otros moluscos distintos del ostión.

Otro problema que surge al establecer los rangos de peligro para el nivel de toxina, son los falsos positivos. Estos pueden darse especialmente en caso de presencia de PTXs, YTXs y AZPs, tres toxinas que se encuentran también presentes en Chile (Yasumoto & Takizawa 1997, Blanco et al. 2006, Krock et al. 2009, López-Rivera et al. 2009). Estas co-ocurren con las toxinas VDM propiamente tal durante la extracción y también producen la muerte de los ratones.

Otra situación que genera falsos positivos para el VDM es la presencia de altos niveles de VPM en las muestras y puede ser un fenómeno bastante más común en Chile debido a los niveles registrados. Aún cuando éstas son extraídas por el método de Yasumoto modificado (1984) para evitar interferencia por VPM, la técnica no es capaz de extraer el total del VPM contenido en las muestras cuando se presenta en altos niveles (> 2.000 ug Eq. STX 100 g de carne) provocando la muerte de los ratones. Si bien en el caso de la base del PSMB no se registran valores tan altos de VPM, sí se encuentran registrados en la base del PMRA.

Así, se ha constatado que cerca de un 20 % del total de ratones inyectados han muerto con síntomas que no corresponden al efecto de toxinas diarreicas durante la ejecución del PMRA (Guzmán et al. 2008).



**Técnicas de detección de toxinas diferentes al bioensayo se hacen urgentemente necesarias que sean incorporadas en los actuales programas de monitoreo nacional tal como es la cromatografía líquida acoplado a espectrometría de masas (LC/MS).** Si bien hasta el momento los niveles de toxinas como PTXs, YTXs y AZPs detectadas por este método se encuentran bajos los límites de la norma para consumo humano (FAO, 2005), se carece de información acerca de la dinámica espacio temporal de estas toxinas en los moluscos por la incapacidad de discernir entre ellas mediante el bioensayo del ratón.

Recientemente, la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria, European Food Safety Authority (EFSA, 2009) emitió informes en los que se aconseja análisis de toxinas mucho más restrictivos que los actuales, y con un método químico que sustituya al actual bioensayo con ratón, mayormente el uso de LC/MS/MS [http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa\\_locale-1178620753812\\_1211902812884.htm](http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753812_1211902812884.htm). En este momento la UE ha elaborado un borrador de la ley con la que pretende desarrollar y aplicar el nuevo procedimiento analítico propuesto tanto para productos internos como externos. El escenario futuro en la detección de toxinas marinas amerita que Chile como exportador de recursos bivalvos de exportación, incorpore en el corto plazo, técnicas avanzadas en sus programas de monitoreo. Mejorar la información que se registra en las bases de datos de dichos programas es urgente si éstas van a ser destinadas entre otras a análisis de riesgo para la toma de decisiones de las autoridades correspondientes.

### **6.1.1.3. Ejecución del Modelo Análisis de Riesgo**

Las razones por las que los resultados de riesgo por macrozona fueron lejanos a la realidad considera varios aspectos. Entre ellos está, que a diferencia de la evaluación de las consecuencias (C) que se realiza por encuestas dentro de lo



que es la metodología internacional aplicada en un análisis de riesgo, la eficacia de este método radica fundamentalmente en la calidad requerida de las variables **D** y **E** en el caso de las FANs. La paridad y continuidad de las variables así como la sistematicidad de sus registros fueron puntos claves para pretender lograr resultados ajustados a la realidad de cada región.

#### **6.1.1.4. Representación espacial de la Zonificación (clasificación de zonas) en función del Análisis de Riesgo**

Si bien no fue posible realizar una clasificación adecuada de zonas con los resultados obtenidos en este análisis de riesgo, una mayor resolución espacio temporal unido a la sistematicidad y sincronía de las variables básicas, permitirían mejorar ostensiblemente este aspecto de los resultados.

#### **6.1.2. Objetivo específico 3.2.2. Ajustar los programas de monitoreo, enfocándolos a los eventuales riesgos de FAN que se determinen de acuerdo a las características de cada zona.**

Debido a que los resultados no permitieron hacer una reclasificación de la macrozonas inicialmente propuestas así como aumentar la resolución espacio temporal de estas reclasificaciones dentro de cada macrozona, **se sugiere que la metodología de análisis de riesgo propuesta en este proyecto sea aplicada a los programas de monitoreo PMRA y/o Magallanes** de modo de contar con un mayor número de variables continuas registradas en forma sinóptica y sistemática con la finalidad de mejorar los resultados de riesgo obtenidos en este proyecto así como las falencias de información de la base de datos con la que se trabajó.



**6.1.3. Objetivo espec3fico 3.2.3. Establecer estaciones centinelas que permitan dar una primera se1al de alerta temprana ante la presencia de un evento FAN, para la oportuna toma de decisiones.**

Si bien se aplic3 el criterio de frecuencias de densidad celular con alto rango de peligro para establecer estaciones centinelas, en vez de las probabilidades que fueron m3nimas, los resultados indican que dichas estaciones no est1n lejanas de la realidad. As3 por ejemplo, en el caso de *A. catenella* en la regi3n de Magallanes con una base de datos mensual registrada entre 1997 y 2001, se han se1alado las estaciones de Isla Piazzini y estaciones aleda1as conformando un n3cleo de toxicidad (Guzm1n et al. 2002) lo mismo que el sector de Seno Otway, vale decir 1reas geogr1ficas con alta probabilidad de encontrar moluscos t3xicos por VPM. Hasta la fecha ese patr3n sigue siendo v1lido (Guzm1n et al. 2008, 2009). Si bien sectores como el n3cleo t3xico de Ays3n Sur y Canal Beagle identificado por los mismos autores ha quedado representado con estaciones de baja frecuencia de peligro alto, est1 indicando que los eventos FANs por esta especie se presentan en ciclos mayores de tiempo. La hip3tesis de la influencia del fen3meno ENSO en estos eventos de acuerdo a evidencias presentadas por Guzm1n et al. 2002, pudiera ser una de las explicaciones tanto para las altas densidades de *A. catenella* en sectores ocasionales como tambi3n para *D. acuminata* y *D. acuta*

En este contexto, la nula representatividad de estaciones en las diferentes regiones especialmente norte y Los Lagos para el caso de *P. australis*, en circunstancias que s3 han habido registros de altas densidades de esta especie y de VAM por sobre la norma, indica que esta variable no est1 bien representada en la base de datos del PSMB. Lo mismo acontece para *P. pseudodelicatissima*. Ambas especies son un ejemplo que las variables densidad de microalgas y nivel de toxina VAM deben ser registradas pareadamente, por cuanto en el ejemplo de la regi3n de Magallanes si bien ambas especies han sido registradas en altas





densidades, hasta la fecha los niveles de VAM en los moluscos han sido negativos o escasamente se presenta a nivel de trazas (Guzmán et al. 2008, 2009).

**6.1.4. Objetivo específico 3.2.4. Proporcionar información para la clasificación de zonas de acuerdo al nivel de riesgo de presentar FAN, en el marco del Reglamento de Plagas Hidrológicas.**

Aunque la información del PMRA presenta ciertos desfases temporales en la realización de los programas anuales, vale decir que la ejecución del primer programa fue realizado entre mayo 2007 y febrero 2007, mientras que el segundo fue entre noviembre 2007 y septiembre 2008, los resultados muestran zonas con una distribución de la presencia de *A. catenella* que es recurrente en sectores localizados de las regiones. En el caso de Los Lagos no hubo recurrencia anual, sin embargo de acuerdo a los últimos informes del PMRA la especie se presentó en el sector de Calbuco a fines de 2009. Anteriormente, en su presencia más septentrional había ocurrido marzo de 2002 y alcanzó hasta la altura de Quemchi en Chiloé (Molinet et al. 2003).

## **6.2 Conclusiones**

La base de datos del PSMB tal como está hoy en día no es la apropiada para realizar un análisis de riesgo. Se deben mejorar aspectos de las variables claves en cuanto a conceptos de continuidad y sinopticidad además de aspectos cuantitativos de las especies tóxicas y potencialmente tóxicas. También debieran ser incorporados en las bases, las variables ambientales que permitan desarrollar modelos predictivos de las FANs para ser incorporados en los análisis de riesgo. Mejorar la certeza de las variables como la identificación de las especies tóxicas y potencialmente tóxicas es un aspecto primordial lo mismo que aumentar la certidumbre de las toxinas asociadas a la muerte del bioensayo ratón. En este



contexto, las recomendaciones y sugerencias para mejorar las bases de datos del PSMB y en general se resumen como sigue:

- Mejorar este aspecto de las bases de datos respecto a:
- Georeferenciación de las estaciones.
- Sinopticidad de los muestreos de fitoplancton y de moluscos así como de las variables oceanográficas. Las últimas variables son importantes para desarrollar modelos de predictibilidad a incorporar en un análisis de riesgo.
- Fechas precisas de las muestras.
- Densidad y abundancia específica de las especies probablemente tóxicas y potencialmente tóxicas.
- Identificación certera de las especies nocivas.
- Uso de técnicas de detección específico de toxinas en casos de duda como alternativa al bioensayo ratón.
- Confirmación de la producción de toxinas por especies mediante cultivos o en su defecto en células aisladas por micromanipulación durante los eventos de FANs.
- Incorporación sistemática de otras variables de carácter predictivo a la base de datos comenzando por las estaciones centinelas.
- Aumentar la resolución temporal de los muestreos en áreas claves como las que presentan mayor frecuencia y/o probabilidad de peligro.
- Aplicar la metodología de análisis de riesgo propuesta en este proyecto en otros programas de monitoreo como PMRA y/o Magallanes para continuar desarrollando una metodología apropiada al fenómeno FAN a nivel nacional que permita aumentar la resolución espacio-temporal de los resultados.
- Incorporar urgentemente técnicas de detección de toxinas diferentes al bioensayo en los actuales programas de monitoreo nacional tal como es la cromatografía líquida acoplado a espectrometría de masas (LC/MS) para



contar con información certera del impacto de las FANs. Evitar la información errónea como los falsos positivos contribuye a la certidumbre de los resultados de una análisis de riesgo.

- Contar con un archivo integral de la información obtenida por el PSMB que no solo permita el ingreso de algunas variables como toxinas, sino también incorporar al menos las abundancias relativas y densidades de las especies tóxicas y potencialmente tóxicas. Importante también es incorporar en esta base las variables ambientales mayormente asociadas con las FANs.



## **7. PLAN DE ACTIVIDADES REALIZADAS**

---

### **7.1. Carta Gantt y equipo de trabajo**

Las actividades establecidas en la carta Gantt (**Anexo 15**), se describen en la siguiente sección, tareas que han sido llevadas a cabo con el equipo de trabajo técnico que se muestra detalladamente en el **Anexo 16**. En este mismo Anexo 16, se incorpora la solicitud de reemplazo del profesional Vladimir Murillo por el estadístico Hernán Miranda quien apoyó en el análisis estadístico de los resultados obtenidos al ejecutar el modelo de análisis de riesgo.

### **7.2. Descripción de actividades generales y por objetivo**

#### **7.2.1. Actividades generales**

##### **a) Reunión de coordinación**

Reunión del grupo técnico de IFOP realizada el 2 de abril en dependencias de IFOP en Valparaíso.

##### **b) Taller de presentación y discusión metodológica**

Reunión realizada en dependencias del FIP en Valparaíso, el día 12 de mayo del presente, con presencia del director ejecutivo del FIP, sectorialistas ambientales de SUBPESCA y profesionales encargados del PSMB de SERNAPESCA.

En esta reunión se presentaron y discutieron las metodologías utilizadas en el proyecto, y la alta dependencia de los objetivos específicos 2 y 3, de la calidad y



concordancia de las variables existentes y por incorporar en la base de datos de trabajo.

**c) Informe de avance**

El primer informe de avance corregido fue programado para ser entregado el día 16 de octubre de 2009 de acuerdo a prórroga solicitada y aceptada (**Anexo 17**). La razón obedeció a que al menos el 50% de la información existente y requerida para aplicar el modelo de análisis de riesgo, no se encontraba digitada en la base de datos de trabajo, por lo que hubo que conseguir la información, confeccionar las aplicaciones matemáticas (**Anexo 18**) que permitieran poblar con rapidez además de actualizar dicha base de datos y por último digitar dicha la información en las aplicaciones. Con todo, esta fue una actividad que llevó gran parte del tiempo del proyecto y que no estaba contemplado inicialmente.

**d) Taller de difusión de los resultados**

Este Taller se realizó con fecha posterior a la entrega del pre-informe final. El taller fue realizado el día 27 de enero de 2010 en la ciudad de Puerto Montt y a él asistieron 11 personas (**Anexo 19**).

**e) Pre-informe final**

El pre-informe fue entregado en el mes de diciembre de 2009 y en su contenido se encuentran todos los resultados obtenidos durante el proyecto a excepción del Taller de divulgación de resultados. Este pre-informe incluyó, además de los resultados antes mencionados, los siguientes:



1. Una base de datos actualizada y compatible con Arc View 8.3 y otros sistemas utilizados por el mandante, con toda la informaci3n geo-referenciada y recopilada en relaci3n al PSMB.
2. El seguimiento espacial y temporal de todos los eventos FAN, ocurridos en el periodo comprendido entre 2004-2008.
3. Niveles de riesgo para cada una de las zonas de monitoreo.
4. Caracterizaci3n por actividad productiva de las 1reas monitoreadas
5. Proposici3n de medidas de ajuste a los programas de monitoreo en ejecuci3n de acuerdo a los niveles de riesgo que presenten las zonas monitoreadas.
6. Mapa con 1reas centinelas propuestas.
7. Proposici3n de jerarquizaci3n de los niveles de riesgo.
8. Proposici3n de un sistema de re-categorizaci3n de las zonas de monitoreo de acuerdo al nivel de riesgo que presenten.
9. Finalmente, se consideran las conclusiones y recomendaciones emanadas del Taller de difusi3n de resultados.

**f) Informe final**

El informe final tiene fecha de entrega para el mes de de abril de 2010 y su contenido incluye todas las observaciones realizadas al preinforme final y los resultados del Taller de divulgaci3n de resultados de este proyecto.

Participaron (actividades **a-f**): Gemita Pizarro, Leonardo Guzm1n, Evelyn Henr1quez, Hern1n Miranda y Christian Espinoza

El Anexo 16 muestra detalladamente las horas hombre que dedicaron los profesionales participantes tanto en las actividades generales descritas en este



punto como en cada una de las actividades descritas más adelante (punto 7.2.2) para el logro de cada objetivo.

## **7.2.2. Actividades específicas por objetivo**

### **7.2.2.1. Objetivo específico 3.2.1. Obtener información que permita realizar gestión de riesgos asociados a las FAN**

- a) Manejar, recopilar, estandarizar y actualizar base de datos PSMB con información proveniente de distintas fuentes (actividades 1-7 objetivo 3.2.1 en el Anexo 16).**

Se actualizó y repobló la base de datos del PSMB de modo de obtener una base consolidada que permitiera realizar una gestión de riesgo y la evaluación de la calidad de su información para un análisis de este tipo en el futuro.

Participaron: Gemita Pizarro, Leonardo Guzmán, Evelyn Henríquez, Gustavo Sotomayor, Hernán Miranda, Christian Espinoza, Nicole Pesse, Denise Meyer y Ricardo González

- b) Caracterizar las áreas monitoreadas por actividad productiva (actividades 8-9 objetivo 3.2.1. en el Anexo 16)**

Se recopiló la información sobre el uso productivo e intensidad de este uso en las zonas monitoreadas para caracterizar dichas zonas por actividad productiva.

Participaron: Gemita Pizarro, Hernán Miranda y Christian Espinoza



**c) Diseñar y ejecutar el modelo de análisis de riesgo de FAN e identificación de zonas de alto riesgo (actividades 10-12 objetivo 3.2.1. en el Anexo 16).**

El diseño de análisis de riesgo fue realizado y ejecutado en cada macrozona definida *a priori*. Se Implementó un Sistema de Información Geográfico en función de las zonas re-definidas *a posteriori* y actualizable de acuerdo a los resultados de la ejecución del modelo de riesgo aplicado.

Participaron: Evelyn Henriquez, Gustavo Sotomayor y Christian Espinoza

**7.2.2.2. Objetivo específico 3.2.2. Ajustar los programas de monitoreo, enfocándolos a los eventuales riesgos de FAN que se determinen de acuerdo a las características de cada zona.**

Luego de recopilar la información difundida en informes y publicaciones generadas por los programas de monitoreo en ejecución (punto **a** del objetivo 3.2.2 en el **Anexo 16**), se han propuesto ajustes a los programas de monitoreo vigentes de acuerdo a los resultados de jerarquización de zonas de riesgo (punto **b** del objetivo 3.2.2 en el **Anexo 16**).

Participaron: Gemita Pizarro, Leonado Guzmán, Evelyn Henríquez, Hernán Miranda, Nicole Pesse, Denise Meyer y Ricardo González.





**7.2.2.3. Objetivo espec3fico 3.2.3. Establecer estaciones centinelas que permitan dar una primera se1al de alerta temprana ante la presencia de un evento FAN, para la oportuna toma de decisiones.**

Dada la escasez de informaci3n y baja calidad de 3sta por estaci3n en las diferentes bases de datos consultadas (puntos **a**: actividades 1-2 y **b**: actividad 3, del objetivo 3.2.3. en el **Anexo 16**), s3lo fue posible establecer zonas centinelas y no estaciones centinelas. Sin embargo, estas 3ltimas son en definitiva la que presentan una mayor efectividad para dar una primera se1al de alerta temprana.

Participaron: Gemita Pizarro, Leonardo Guzm3n, Hern3n Miranda y Christian Espinoza

**7.2.2.4. Objetivo espec3fico 3.2.4. Proporcionar informaci3n para la clasificaci3n de zonas de acuerdo al nivel de riesgo de presentar FAN, en el marco del Reglamento de Plagas Hidrol3gicas.**

**a) Revisi3n de la normativa del REPLA (actividades 1-2 objetivo 3.2.4. en el Anexo 16)**

Durante la ejecuci3n del proyecto se realiz3 una revisi3n de la normativa del REPLA respecto de las definiciones as3 como de los requerimientos para la declaraci3n de 3reas FAN.

Participaron: Gemita Pizarro y Evelyn Henr3quez.



**b) Jerarquización de zonas de acuerdo al nivel de riesgo FAN (actividad 3 objetivo 3.2.4. en el Anexo 16).**

La actividad anterior nos entregó información para analizar y jerarquizar las zonas de riesgo en base a la frecuencia de aparición y duración (anual) de *A. catenella*.

Se incorporó la variable jerarquización al SIG de manera de facilitar su actualización año a año con nueva información obtenida.

Participaron: Evelyn Henríquez, Gustavo Sotomayor y Christian Espinoza.

**c) Proposición de un sistema de re-categorización de las zonas monitoreadas basado en el nivel de riesgo histórico**

A partir del resultado del análisis de sensibilidad, se identificaron las zonas críticas en el desencadenamiento de eventos FAN riesgosos. Se evaluó la forma en que estas variables fueran monitoreadas, se propusieron sistemas de control y reevaluación del riesgo.

Participaron: Gemita Pizarro, Leonardo Guzmán, Evelyn Henríquez, Gustavo Sotomayor y Hernán Miranda.

- **Recomendación**

Se discutió y recomendó respecto a la inclusión de otras especies en la categoría de plagas así como de la sistematicidad y sinopticidad de los monitoreos no solo de las variables para estimar D y E sino de variables de carácter predictivo al menos en las estaciones centinelas. También se recomendó incluir resultados de abundancia relativa de las especies tóxicas en la base del PSMB

Participaron: Evelyn Henríquez, Leonardo Guzmán y Gemita Pizarro.



## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Blanco, J., Álvarez, G. & Uribe, E.** 2006. Identification of pectenotoxins in plankton, filterfeeders, and isolated cells of a *Dinophysis acuminata* with an atypical toxin profile, from Chile. *Toxicon*: 710-716.
- Blanco, J., Acosta, C.P., Bermúdez de la Puente, M. & Salgado, C.** 2002. Depuration and anatomical distribution of the ASP toxin domoic in the king scallop *Pecten maximus*. *Aquatic Toxicology* 60: 111-121.
- Blanco, J. Moroño, A., Franco, J. & Reyero, M.I.** 1997. PSP detoxification kinetics in the mussel *Mytilus galloprovincialis*. One- and two-compartment models and effect of some environmental variables. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 158: 165-175.
- Clarke, K. R. & Ainsworth, M.** 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Mar Ecol Prog Ser* 92: 205-219.
- Clément, A., Seguel, A., Arzul, G., Guzmán, L. & Alarcón, C.** 2001. Widespread outbreak of a haemolytic, ichthyotoxic *Gymnodinium* sp. in southern Chile. In: Hallegraeff, G. M., Blackburn, S. I., Bolch, C. J. & Lewis, R. J. (Eds.), *Harmful Algal Blooms*. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris, pp. 66-69.
- Comisión Europea. Comisión Regulation N° 2074/2005 of 5 December 2005,** laying down implementing measures for certain products under Regulation (EC) N° 853/2004 of the European Parliament and of the Council and for the organisation of official controls under Regulation



(EC) N° 854/2004 of the European Parliament and of the Council and Regulation (EC) N° 882/2004 of the European Parliament and of the Council, derogating from Regulation (EC) N° 852/2004 of the European Parliament and of the Council and amending Regulations.

**Díaz, L, et al. 2009.** Establecimiento de criterios y diseño metodol3gico a utilizar para la declaraci3n de 3reas (plaga FAN, riesgo, libre) y su aplicaci3n te3rica. Pre-informe final FIP 2008-32.

**EFSA. 2009.** Marine biotoxins in shellfish – Summary on regulated marine biotoxins Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain (Question No EFSA-Q-2009-00685). European Food Safety Authority. Adopted on 13 August 2009. The EFSA Journal (2009) 1306, 1-1

**Murillo, W., I. Figueroa, N. Paredes, R. González & M. Oyarzún. 2008.** Programaci3n y an3lisis de informaci3n biol3gica y oceanogr3fica obtenida a trav3s del psmb. informe final **fip n° 2006-36**. julio 2008. 435 p3g.

**FAO. 2005.** Biotoxinas Marinas. Estudio FAO:Alimentaci3n y nutrici3n. Organizaci3n de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentaci3n. 278 p3g.

**Fraga, S. & Bakun, A. 1993.** Global climate change and harmful algal blooms: The example of *Gymnodinium catenatum* on the Galician Coast. In: Smayda, T. J. & Shimizu, Y. (Eds.). Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea. Elsevier, Amsterdam, pp. 59-65.



- Guillou, L., Nézan, E., Cueff, V., Erard-Le Denn, E., Cambon-Bonavita, M. A., Gentien, P. & Barbier, G. 2002.** Genetic diversity and molecular detection of three toxic dinoflagellate genera (*Alexandrium*, *Dinophysis*, and *Karenia*) from French coasts. *Protist* 153: 223-238.
- Guzmán, L., G. Vidal, X. Vivanco, V. Arenas, L. Iriarte, S. Mercado, C. Alarcón, H. Pacheco, M. Palma, C. Espinoza, P. Mejías, E. Fernández-Niño, J. Monsalve, G. Pizarro, P. Hinojosa, C. Zamora, P. Zamora & N. Pesse. 2009.** Manejo y Monitoreo de las mareas rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Informe Final. 146 p. + Figuras + Tablas + Anexos. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción- Subsecretaría de Pesca.
- Guzmán, L., G. Vidal, X. Vivanco, M. Palma, C. Espinoza, P. Mejías, R. Ulloa, L. Iriarte, V. Arenas, S. Mercado, E. Fernández-Niño, J. Monsalve, C. Alarcón, P. Salgado, N. Butorovic, P. Hinojosa & C. Zamora. 2008.** Manejo y Monitoreo de las mareas rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Informe Final. 141 p. + Figuras + Tablas + Anexos. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción- Subsecretaría de Pesca.
- Guzmán, L., Pizarro, G., Pacheco, H., Alarcón, C., Banciella, M., Fauré M. & Butorovic, N. 2004.** Informe Final Subprograma de Monitoreo. Tomo I. 75 pág. + figuras y anexos. Difusión Programa Marea Roja en la Región de Magallanes y Antártica Chilena, Séptima Etapa. Gobierno regional, XII Región Chile.



**Guzmán, L., C. Alarcón, H. Pacheco, G. Pizarro, M. Banciella, M. Fauré, N. Butorovic & P. Uribe. 2002.** Informe Final Subprograma de Monitoreo. Tomo I. 128 pág. + figuras y anexos. En: Difusión Programa Marea Roja en la Región de Magallanes y Antártica Chilena, Quinta Etapa. Gobierno Regional, XII Región Chile.

**Guzmán, L., G. Pizarro, M. Banciella, R. Igor, C. Alarcón, H. Pacheco, O. Oyarzo, M. Fauré y N. Butorovic. 2001.** Informe final Subprograma de Monitoreo. Tomo I. 129 pág. + figuras y anexos. En: Difusión Programa Marea Roja en la Región de Magallanes y Antártica Chilena, Cuarta Etapa. Fondo Nacional de Desarrollo Regional, XII Región, Chile.

**Guzmán, L., Uribe, J.C., Pizarro, G., Suárez, B., López, A., Alarcón, C., & Igor, R. 2000.** Informe Final Seguimiento de la toxicidad en recursos pesqueros de importancia comercial en la XII Región (FIP 97-48). Informe Presentado al Consejo de Investigación Pesquera-CIP, Junio 2000.

**Guzmán, L. & Campodónico, I. 1975.** Marea roja en la región de Magallanes. Publ Inst Pat Ser Mon 9: 44.

**Honjo, T. 1993.** Overview on bloom dynamics and physiological ecology of *Heterosigma akashiwo*. In: Smayda, T. J. & Shimizu, Y. (Eds.), Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea. Elsevier, Amsterdam, pp. 33-41.

**Krock, B., Seguel, C.G., Valderrama, K. & Tillman, V.** Pectenotoxins and yessotoxins from Arica Bay determined by tandem mass spectrometry. Toxicon (in press).



**López-Rivera, A., O’Callaghan, K., Moriarty, M., O’Driscoll, D., Hamilton, B., Lehane, M. James, K.J. & Furey, A.** First evidence of azaspiracids (AZAs): A family of lipophilic polyether marine toxins in scallops (*Argopecten purpuratus*) and mussels (*Mytilus chilensis*) collected in two regions of Chile. *Toxicon* (in press).

**OIE.** 2004. Handbook on Import Risk Analysis for Animals and Animal Products, Volume 1 and 2. Paris, France.

**OIE.** 2009. Código Sanitario para los Animales Acuáticos 2009. [http://www.oie.int/ESP/normes/fcode/es\\_glossaire.htm#terme\\_identificati](http://www.oie.int/ESP/normes/fcode/es_glossaire.htm#terme_identificati)  
[on\\_du\\_danger](http://www.oie.int/ESP/normes/fcode/es_glossaire.htm#terme_identificati)

**Reguera, B.** 2003. Biología, autoecología y toxicología de las principales especies del género *Dinophysis* asociadas a episodios de intoxicación diarreogénica por bivalvos (DSP). Tesis de Doctorado. Universidad de Barcelona, pp. 298. [http://www.tdx.cesca.es/TESIS\\_UB/AVAILABLE/TDX-0628104-112836/TESISREGUERA.pdf](http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UB/AVAILABLE/TDX-0628104-112836/TESISREGUERA.pdf).

**Saaty, T. L. 1994.** Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with The Analytic Hierarchy Process. Vol. VI, First Edition, University of Pittsburgh, USA.

**Sokal, R. R. & Oden, N. L. 1978.** Spatial autocorrelation in biology. 1. Methodology. *Biol J Linn Soc* 10: 199–249.

**Uribe, J. C. & Ruiz, M. 2001.** *Gymonidium* brown tide in the Magellanic fjords, southern Chile. *Rev Biol Mar Oceanogr* 36: 155-164.



**Uribe, J.C., Guzmán, L., Pacheco, H., Igor, R., Pizarro, G., Barticebic, E., Frangopulos, M., Alarcón, C., Hromic, T., Labbe., C., Atalah, A. & Chang, P. 1998.** “Informe Final Difusión Programa Marea Roja en la XII Región de Magallanes y Antártica Chilena, Primera Etapa”. Fondo Nacional de Desarrollo Regional, XII Región, Chile.

**Ütermohl, H. 1958.** Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton. Methodik. Mitt int. Verein. Theor. angew. Limnol. 9, 38 p.

**Vose, D. 2004.** Risk analysis. A quantitative guide. 2<sup>nd</sup> Edition. John Wiley & Sons, Ltd. Great Britain.

**Yasumoto, T., Murata, M., Oshima, Y., Matsumoto, G. K. & Clardy, J. 1984.** Diarrhetic Shellfish Toxins. In: Ragelis, E. P. (Ed.) Seafood toxins. Am. Chem. Soc. pp. 207-214.

**Yasumoto, T., Murata, M., Oshima, Y., Sano, M., Matsumoto, G. & Clardy, J. 1985.** Diarrhetic Shellfish Toxins. Tetrahedron 41: 1019-1025.

**Yasumoto, T. & Takizawa, A. 1997.** Fluorometric measurements of yessotoxins in shellfish high-pressure liquid chromatography. Biosci. Biotech. Biochem. 61:1775-1777.



# T A B L A S

---



**Tabla 1.**

Niveles de toxicidad para las tres toxinas marinas de acuerdo a la normativa establecida por la autoridad sanitaria mundial.

<b>TOXINA</b>	<b>NIVEL TOXICIDAD MOLUSCOS</b>
VPM*	0
	<80
	>80
VDM**	-
	+
VAM***	0
	<20
	>20

\*  $\mu\text{g}$  STX eq. / 100 g de carne. Se determina por inyección intraperitoneal de una muestra de molusco en ratón. El nivel de toxicidad está en función del tiempo de muerte del ratón inyectado.

\*\* Estimación semicuantitativa de la presencia de VDM en muestras de hepatopáncreas de molusco tóxico inyectado intraperitonealmente en tres ratones y determinada como positiva cuando dos de los tres ratones inyectados muere.

\*\*\*  $\mu\text{g}$  /g carne. Se determina por cromatografía líquida de alta eficacia (CLAE).



**Tabla 2.**

Número de registros de las variables seleccionadas por recurso y tipo de toxina que aparecen en la base de datos de trabajo.

Total de datos registrados para las variables seleccionadas: <b>33.724</b>			
<b>Nº cél por especie</b>	<b>A. catenella: 18.804</b>	<b>D. acuminata: 18.825</b> <b>D. acuta: 18.803</b>	<b>P. australis: 18.906</b> <b>P. pseudodelicatissima: 18.807</b>

<b>Nº registros por tipo toxina y recurso</b>	<b>VPM</b>	<b>VDM</b>	<b>VAM</b>
Abalón	4	4	4
Almeja	1.298	1.164	1.430
Almeja juli	454	449	457
Caracol	49	48	49
Cholga	55	49	55
Chorito	9.046	8.030	9.046
Culengue	275	269	374
Erizo	194	85	240
Lapa	8	6	8
Loco	23	7	23
Macha	190	193	205
Navaja	111	108	112
Navajuela	182	182	197
Ostión	2.872	3.687	3288
Ostra	649	641	725
Taquilla	45	43	43
Tumbo	51	42	63
Sin recurso	22	14	21
<b>Total</b>	<b>15.528</b>	<b>15.521</b>	<b>16.340</b>

**Nº de recursos monitoreados: 17**



**Tabla 3.**

Tipo de variables pareadas en la base de datos de trabajo entre 1998 y 2008 y número de variables pareadas continuas existentes en el Programa Marea Roja Austral entre 2006-2008.

	<b>Variables pares</b>	<b><i>A. catenella</i> -VPM</b>	<b><i>P. australis</i> - VAM</b>	<b><i>P. seudo..</i> -VAM</b>	<b><i>D. acuminata</i> -VDM</b>	<b><i>D. acuta</i> -VDM</b>
<b>Base datos de trabajo consolidada</b>	<b>Total</b>	6555	6582	6510	7253	7233
	<b>Desfasadas</b>	70	17	74	51	54
	<b>Nulas</b>	6579	5347	3124	7112	7181
	<b>Continuas</b>	<b>6</b>	<b>1218</b>	<b>3312</b>	<b>90</b>	<b>0</b>
<b>Nº de recursos con suficiente Nº de var. continuas: 1 (ostión)</b>						
<b>Programa de Marea Roja Austral</b>	<b>Continuas</b>	<b>327</b>			<b>628</b>	<b>0</b>
<b>Nº de recursos monitoreados regularmente: 2 (chorito y cholga) con suficiente Nº de var. continuas</b>						



**Tabla 4.**

Rangos de peligro definidos por el n3mero de c3lulas de microalga t3xicas asociado al nivel de toxina bajo o sobre la norma sanitaria establecida para exportaci3n y consumo interno de bivalvos.

	Toxicidad	N3 c3lulas L <sup>-1</sup>	Microalga	Recurso	
<b>VPM (PMRA)</b>	<80	< 700	<i>A. catenella</i>	chorito	
	>80	>700			
	<80	< 500	<i>A. catenella</i>	cholga	
	>80	>500			
	<80	< 900	<i>A. catenella</i>	almeja	
	>80	>900			
<b>VDM (PMRA)</b>	-	<400	<i>D. acuminata</i>	chorito	
	+	>400			
	-	<200	<i>D. acuminata</i>	almeja	
	+	>200			
	-	<200	<i>D. acuminata</i>	cholga	
	+	>200			
	-	<300	<i>D. acuta</i>	chorito	
	+	>300			
	-	<200	<i>D. acuta</i>	cholga	
	+	>200			
	<b>VAM (PSMB)</b>	<20	<1500 (c3l/mL)	<i>P. australis</i>	osti3n
		>20	>1500 (c3l /mL)		
(D. acuta no se asoci3 con almeja debido al bajo n3mero de datos continuos) (P. pseudodelicatissima, no fue posible establecer rangos por presentar datos pareados coniuos positivos bajo el 1% del total)					



**Tabla 5.**

Escala semicuantitativa de probabilidades para **D** y **E**.

<b>Escala Semicuantitativa de Probabilidades</b>		
Categoría	Valores	
	Mínimo	Máximo
Nula	-	0,009
Baja	0,010	0,100
Media	0,101	0,510
Alta	0,511	0,850
Muy Alta	0,851	1,000

Fuente: IFOP basada en OIE

**Tabla 6.**

Naturaleza de los efectos producidos por los distintos tipos de FANs que ocurren en Chile

Tipo evento FAN	Efectos		
	Ambientales, ecológicos y sanitarios	Productivos y económicos	Sociales y de salud
FAN asociada a:  VPM, VDM  y/o  VAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moluscos tóxicos</li> <li>- Producción de quistes (caso de <i>A. catenella</i>) o auxosporas (caso de <i>P. australis</i>) que predisponen al área o centro de cultivo a eventos FAN y a su diseminación vía corrientes marinas.</li> <li>-Traslado de formas vegetativas y quistes en: el tracto digestivo de moluscos tóxicos transplantados a áreas libres de FAN o en las aguas de transporte, en wellboat, elementos utilizados en acuicultura en áreas expuestas a FAN.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alteración fechas de cosecha</li> <li>- Disminución producción de los centros de cultivo</li> <li>- Cierre de áreas de extracción</li> <li>- Disminución exportaciones</li> <li>- Demanda de mercados externos sin satisfacer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Nº intoxicados (salud pública)</li> <li>-Disminución ingresos del sector artesanal</li> <li>-Disminución productiva de empresas elaboradoras asociadas a la producción de moluscos</li> </ul>



**Tabla 7.**

Escala semicuantitativa de consecuencias.

Escala	Máximo	Mínimo
<b>Muy Alta</b>	1,00	0,401
<b>Alta</b>	0,400	0,101
<b>Media</b>	0,100	0,050
<b>Baja</b>	0,051	0,010
<b>Muy Baja</b>	0,009	0,001

**Tabla 8.**

Probabilidad final **D-E** generada a partir de las probabilidades de ocurrencia de la difusión y exposición.

Probabilidad final	Probabilidad de exposición (E)					
		Nula	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
<b>Probabilidad de difusión (D)</b>	Muy alta	B	M	A	A	MA
	Alta	B	M	A	A	MA
	Moderada	B	M	A	A	MM
	Baja	N	B	B	B	B
	Nula	N	N	N	N	N

N: Nulo; B: bajo; M: moderado; A: alto; MA: Muy alto

**Tabla 9.**

Escala cualitativa de riesgo.

ESTIMACIÓN DEL RIESGO						
		Consecuencias (C)				
		Nula	Baja	Media	Alta	Muy Alta
<b>Probabilidad Final D-E</b>	Muy Alta	B	M	M	A	MA
	Alta	N	M	M	A	A
	Media	N	B	M	M	M
	Baja	N	N	B	B	B
	Nula	N	N	N	N	N



**Tabla 10.**  
Resumen del número de análisis de fitoplancton y de toxinas por región existente en la base de datos consolidada.

Año	Nº análisis Fitoplancton nacional	% máx. regional anal. Fito.	Nº análisis Total toxinas nacional	% máx. regional anal. Tox.	VPM	VDM	VAM
2000	592	74.3 (X) 10.4 (III)	953	77.8 (X)	543 (-)	591 (-)	941 (84+)
2001	1.341	80.4 (X) 11.8 (III)	1.371	79.5 (X)	788 (-)	773 (-)	1.346 (6)
2002	1.984	81.2 (X) 9.7 (III)	1.698	76.1 (X)	1.410 (126+)	883 (-)	1.266 (-)
2003	2.478	86.1 (X) 5 (III)	1.698	80 (X)	1.572 (1)	1.349 (-)	1.572 (-)
2004	2.971	80.4 (X) 8.6 (III)	2.171	74 (X) 9.8 (III) 8.9 (IV)	1.919 (4)	1.594 (8)	1.972 (8)
2005	3.848	75.6 (X) 10.7 (IV) 9.4 (III)	2.999	70.7 (X) 15 (IV)	2.403 (2)	2.391 (24)	2.403 (-)
2006	5.156	9 (X) 18.3 (III) 14.8 (IV)	6.445	61.6 (X) 17.2 (III) 14 (IV)	5.423 (7+)	6.016 (33+)	5.354 (33+)
2007	13.363	79.6 (X)	15.220	80.5 (X)	5.040 (+)	5.054 (1+)	5.126 (5+)
2008	14.305	81.4 (X)	10.262	82 (X) 8.8 (III)	5.461 (-)	5.439 (9+)	5.458 (-)





**Tabla 11.**  
Peligro Potencial de FAN por *Alexandrium catenella* y presencia de VPM

Macrozona	Región	Presencia Microalgas Nocivas <sup>1</sup>	Detección Biotoxinas <sup>2</sup>	Reporte Intoxicaciones <sup>3</sup>	Peligro Potencial
<b>Norte</b>	II	-			-
	III	-	Si		+
	IV	Si	Si		++
<b>Centro</b>	V	-			-
	VIII				-
<b>Sur</b>	X	Si	Si	Si	+++
	XI	-		Si	+
<b>Austral</b>	XII	Si	Si	Si	+++

<sup>1</sup> Detección de *Alexandrium catenella* según base de datos del Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PSMB).

<sup>2</sup> Detección de biotoxina VPM según base datos del Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PSMB).

<sup>3</sup> Reporte de intoxicaciones humana por VPM, Secretaría Regional Ministerial de Salud

**Tabla 12.**  
Peligro Potencial de FAN por *Dinophysis acuta* y presencia de VDM.

Macrozona	Región	Microalgas Nocivas <sup>1</sup>	Detección Biotoxinas <sup>2</sup>	Reporte Intoxicaciones <sup>3</sup>	Peligro Potencial
<b>Norte</b>	II	Si		-	++
	III	Si	SiSi	-	++
	IV	Si	Si	-	++
<b>Centro</b>	V	-	-	-	-
	VIII	-	-	-	-
<b>Sur</b>	X	Si	Si	Si	+++
	XI	-	-	Si	+
<b>Austral</b>	XII	Si	Si		++

<sup>1</sup> Detección de *Dinophysis acuta* según base de datos del Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PSMB).

<sup>2</sup> Detección de biotoxina VDM según base de datos del Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PSMB).

<sup>3</sup> Reporte de intoxicaciones humana por VDM, Secretaría Regional Ministerial de Salud



**Tabla 13.**  
Peligro Potencial de FAN por *Pseudonitzschia sp.* y presencia de VAM

Macrozona	Región	Presencia Microalgas Nocivas <sup>1</sup>	Detección Biotoxinas <sup>2</sup>	Reporte Intoxicaciones <sup>3</sup>	Peligro Potencial
<b>Norte</b>	II	Si	Si		++
	III	Si	Si		++
	IV	Si	Si		++
<b>Centro</b>	V	-	-		-
	VIII	Si	-		+
<b>Sur</b>	X	Si	Si		++
	XI	-	-		+
<b>Austral</b>	XII	Si	Si		++

<sup>1</sup> Detección de *Pseudonitzschia pseudodelicatissim* y *Pseudonitzschia australis* según base de datos del Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PSMB).

<sup>2</sup> Detección de biotoxina VAM según base de datos del Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PSMB).

**Tabla 14.**  
Importancia final de las Macrozonas

Macrozona	Importancia Relativa AHP (w)	Importancia Producción Transvectores (f)	Importancia PIB Pesca Nacional (z)	Importancia Final $(w+f+z)/\Sigma(w+f+z)$	Consecuencia
<b>Norte</b>	0,211	0,170	0,170	0,184	Alta
<b>Centro</b>	0,166	0,084	0,234	0,161	Alta
<b>Sur</b>	0,340	0,724	0,457	0,507	Muy Alta
<b>Austral</b>	0,283	0,022	0,139	0,148	Alta



**Tabla 15.**  
Estaciones del programa de monitoreo de fitoplancton de la asociación de salmoneros de Chile.



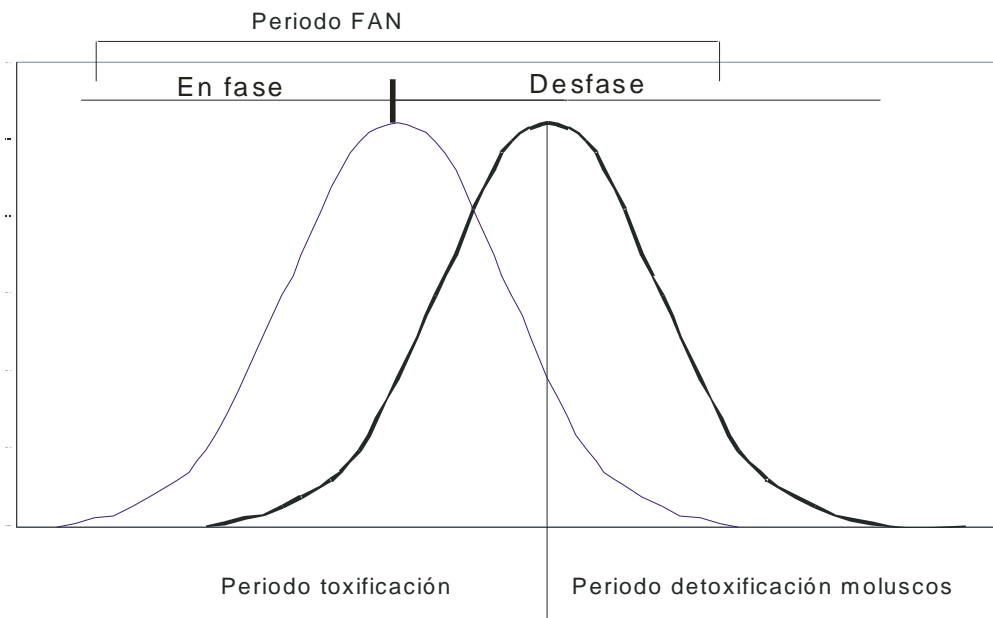
**PROGRAMA MONITOREO FITOPLANCTON**  
Estaciones Monitoreo  
(1 Octubre 2009)

N°	Laboratorio	Barrio	Región	Nombre	Estación	Empresa
1	PAL Pto. Varas	1	X	Estuario Reloncaví	Serapio	ACSA
2	PAL Pto. Varas	2	X	Seno Reloncaví	Puqueldón Maillen	Salmones Maullín
3	PAL Pto. Varas	3	b X	Colaco	Colaco	Mainstream
4	PAL Castro	6	X	Chiloé norte	Pendiente	Marine Harvest
5	PAL Castro	7	X	Quemchi	Tubildad	COPA
6	PAL Castro	8	X	Butachauques	Ducaña	Cultivos Marinos
7	PAL Castro	10	a X	Castro/Lemuy	Chelín	Multiexport
8	PAL Castro	10	a X	Castro/Lemuy	Matao	COPA
9	PAL Castro	10	b X	Canal Yal	Teupa	Mainstream
10	SIAQ	11	X	Compu	Huillard	Salmones Pacific Star
11	SIAQ	12	a X	Quellón	Pichagua	Salmones Pacific Star
12	SIAQ	12	a X	Quellón	Piedra Blanca	AquaChile
13	PAL Pto. Varas	14	X	Chaitén	Islotes	Camanchaca S.A.
14	PAL Pto. Varas	17	a X	Comau	Comau	Camanchaca S.A.
15	PAL Pto. Varas	17	b X	Hornopirén	Cholgo	Ventisqueros S.A.
16	PAL Pto. Varas	17	b X	Hornopirén	Farellones	ACSA
17	PAL Pto. Varas	18	c XI	Canal Pérez Norte	Ceres	Camanchaca S.A.
18	PAL Pto. Varas	18	d XI	Canal Baeza	Luna 1	Los Fiordos
19	PAL Pto. Varas	19	a XI	Chaffers norte	May	Multiexport
20	PAL Pto. Varas	20	XI	Canal King	Izaza	Camanchaca S.A.
21	CIEP	21	b XI	Canal Pérez Sur	AbDelKrim	AquaChile
22	CIEP	22	c XI	Bután	Bután	Acuinova
23	CIEP	22	d XI	Canal Darwin	Weste Isla Luz	Mainstream
24	CIEP	22	d XI	Canal Darwin	Islote Pangal	Mainstream
25	CIEP	23	a XI	Canal Vicuña	Vicuña 3	Acuinova
26	CIEP	23	b XI	Canal Chacabuco	Lyng 1	Acuinova
27	CIEP	23	c XI	Skyring	Angostura	Multiexport
28	CIEP	25	XI	Cupquelan	Ballena	Cupquelan
29	CIEP	26	a XI	Estero Elefantes	Garrao chico	Cupquelan
30	CIEP	27	XI	Quitralco	Quitralco	Acuinova
31	CIEP	28	a XI	Churruque/Helena	Chaculay	Salmones Frío Sur
32	CIEP	28	b XI	Fiordo Aysén	Don José	SASA
33	CIEP	29	XI	Isla Quemada	Quemada	Salmones Frío Sur
34	CIEP	30	a XI	Isla Ester	Pendiente	Invertec
35	CIEP	31	b XI	Seno Canalad	Canalad	Los Fiordos
36	CIEP	32	XI	Fiordo Puyuhuapi	Krauss	GM Tornagaleones
37	CIEP	32	XI	Fiordo Puyuhuapi	Ganso	GM Tornagaleones
38	CIEP	32	XI	Fiordo Puyuhuapi	Amparo chico	Los Fiordos
39	CIEP	32	XI	Fiordo Puyuhuapi	Nueva Esperanza	Los Fiordos
40	CIEP	32	XI	Fiordo Puyuhuapi	Casa pesca	Los Fiordos
41	CIEP	33	XI	Yacaf/Gala	Gennell	Cultivos Marinos
42	CIEP	34	XI	Melimoyo	Marchant	AquaChile
43	CIEP	35	XI	Raúl Marín Balmaceda	Coca 2	AquaChile
44	PAL Pto. Varas		X	Lago Llanquihue	Pto. Fonck	Multiexport
45	PAL Pto. Varas		X	Lago Llanquihue	Phillippi	Mainstream

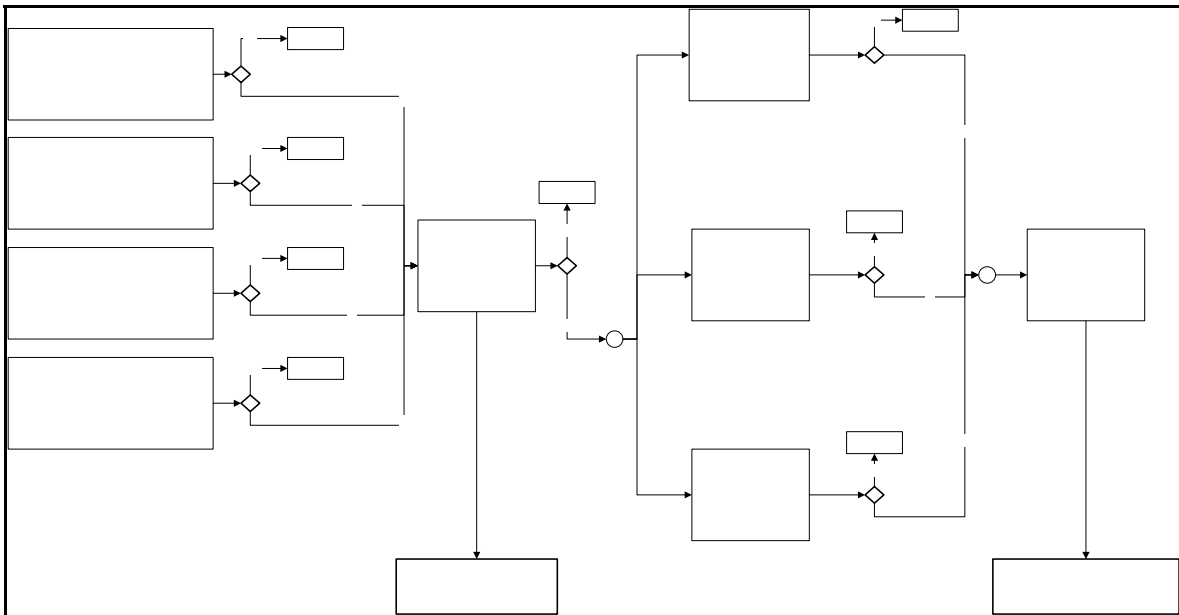
Instituto Tecnológico del Salmón S.A.

# FIGURAS

---



**Figura 1.** Modelo esquemático que explica el origen de los registros de variables pareadas nulas, en desfase y continuas en las bases de datos analizadas.



**Figura 2.** Propuesta Flujo de Proceso base de FAN y toxinas

Aumento de biomasa fitoplanct3nica en columna de agua por efecto de la luz solar

No No riesgo

Si

Aumento de biomasa fitoplanct3nica en columna de agua por efecto de nutrientes

No No riesgo

Si

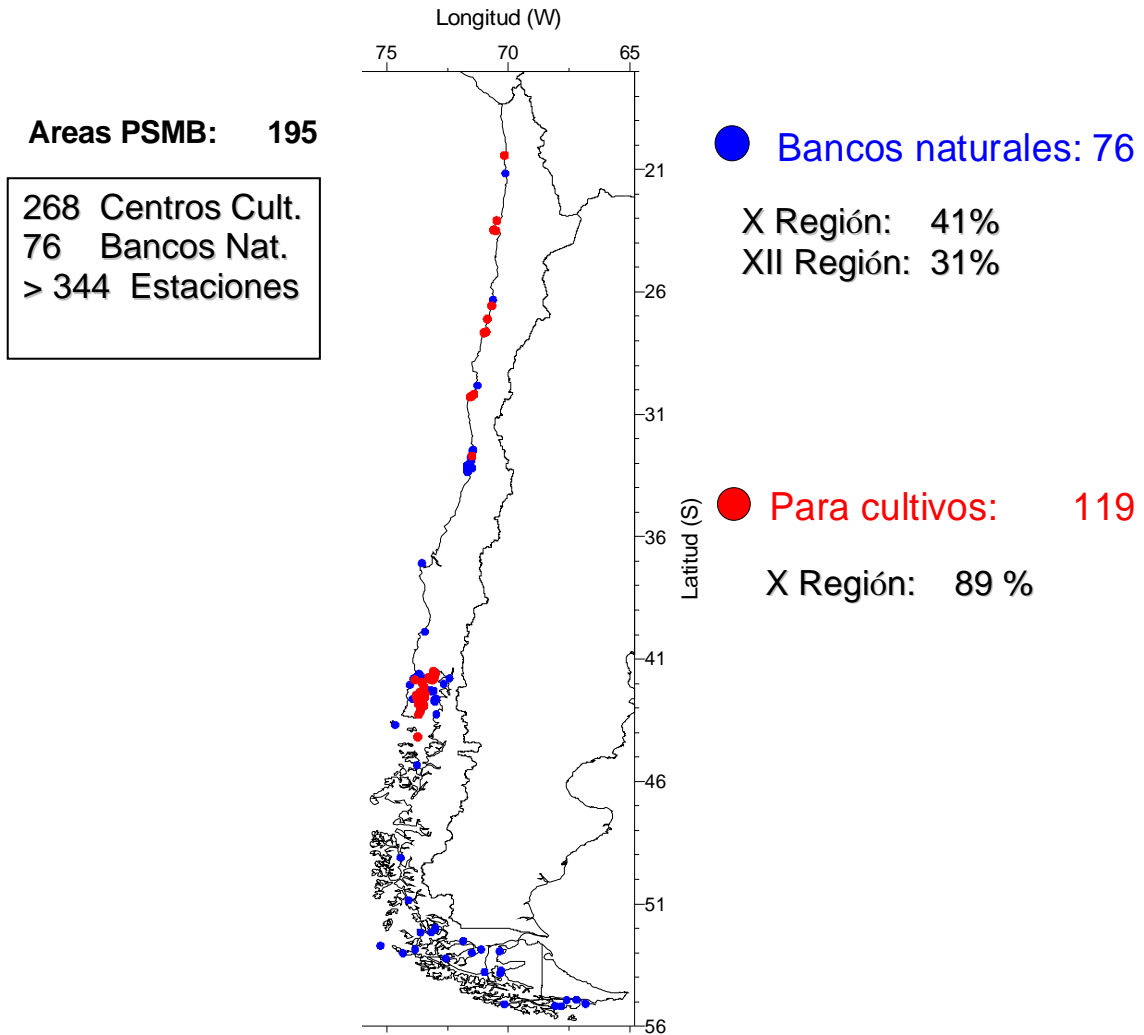
No riesgo

No

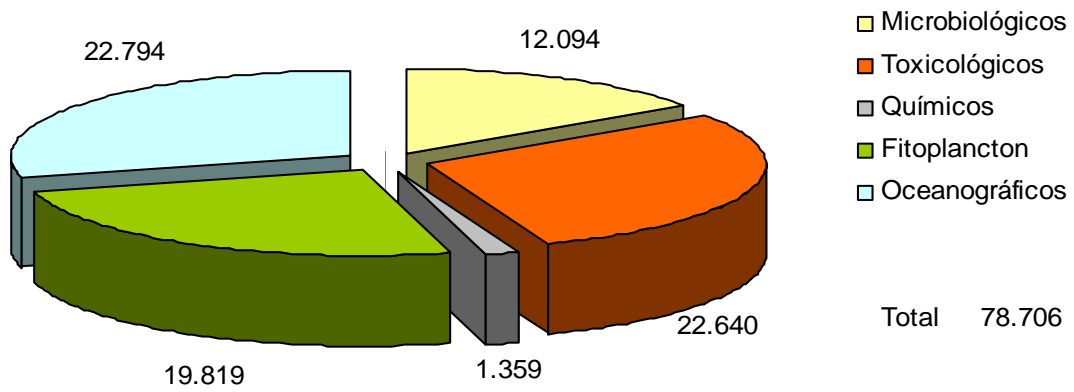
Aumento de biomasa fitoplanct3nica en columna de

No No riesgo

Floraci3n de algas nocivas

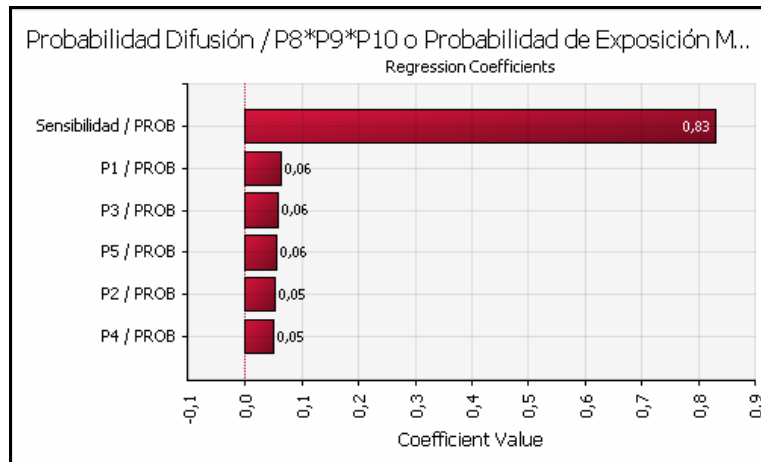


**Figura 3.** Resumen de la informaci3n de las 1reas PSMB para cultivo y de bancos naturales a lo largo de Chile, contenidas en la base de datos de trabajo.

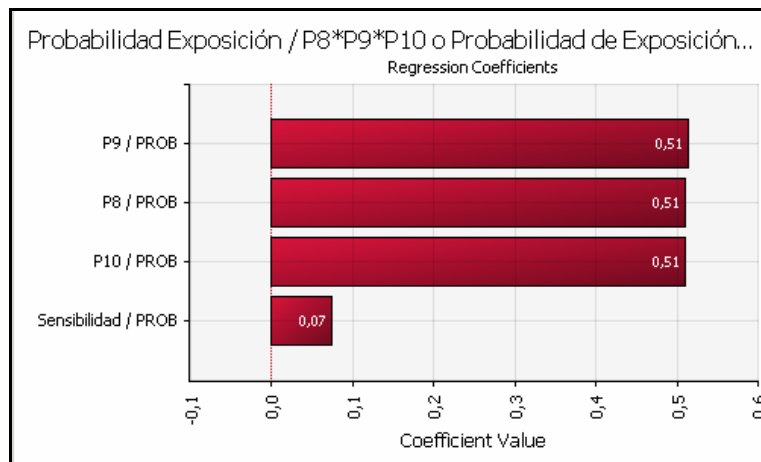


**Figura 4.** Tipo y número total de registros incluidos en la base de datos de trabajo.

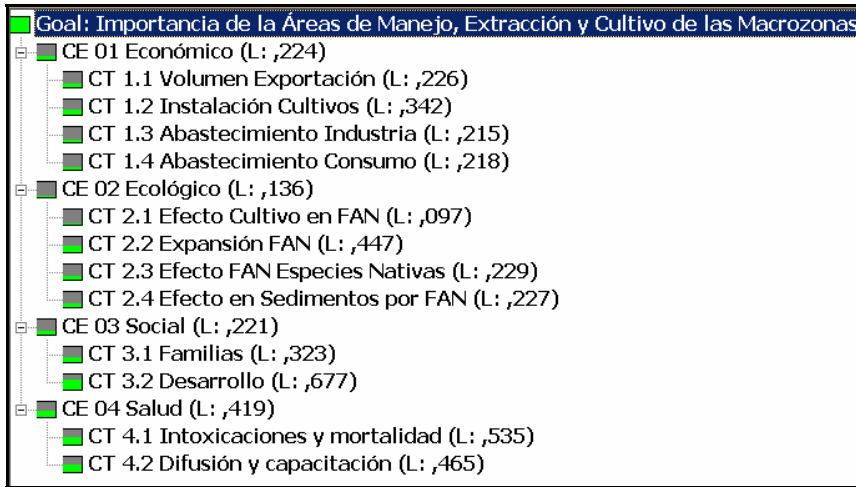




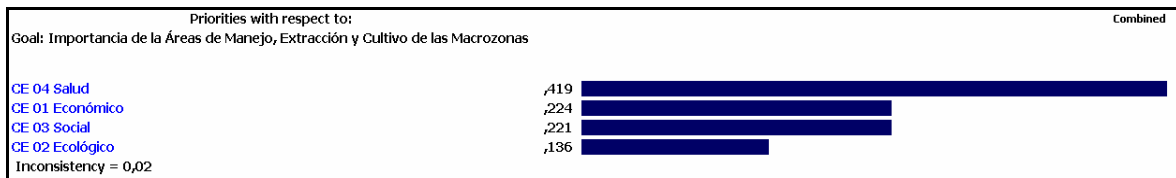
**Figura. 5.** An3lisis de sensibilidad de las variables determinantes de la probabilidad de difusi3n.



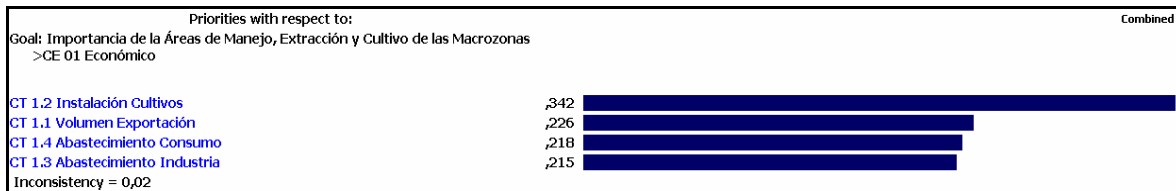
**Figura. 6.** An3lisis de sensibilidad de las variables determinantes de la probabilidad de exposici3n.



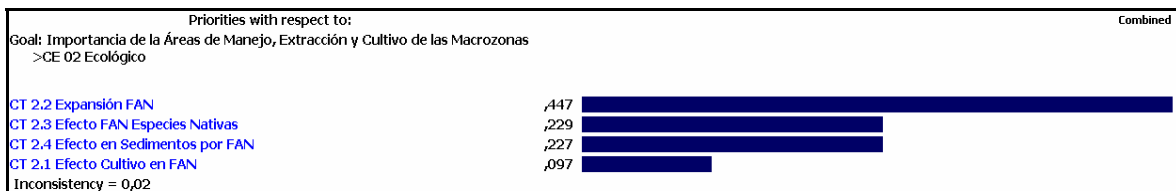
**Figura 7.** Estructura jer1rquica con pesos locales



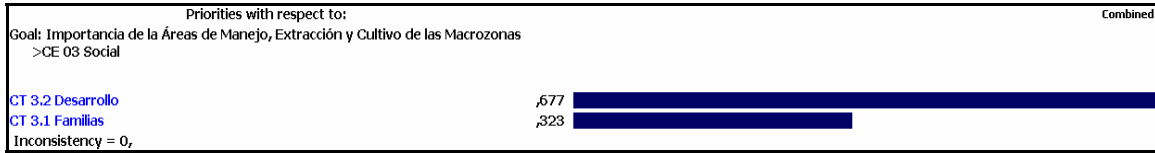
**Figura 8.** Importancia relativa criterios estrat1gicos.



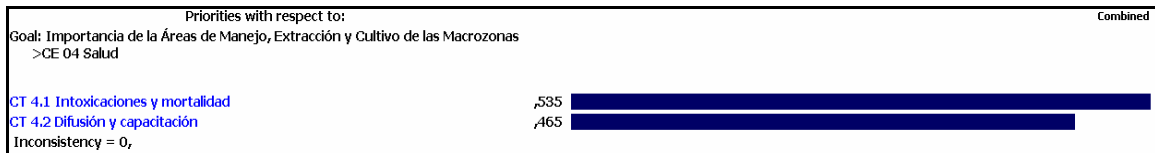
**Figura 9.** Pesos relativos de los criterios econ3micos.



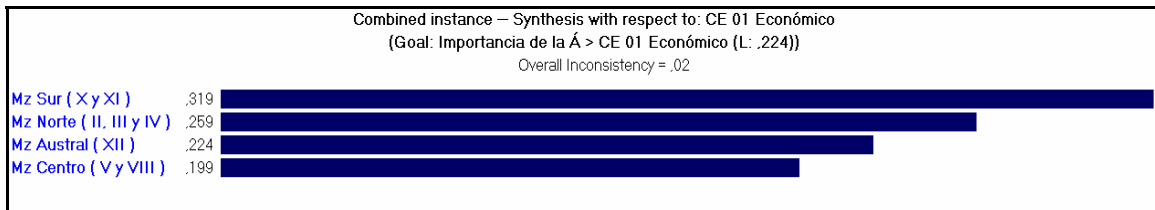
**Figura 10.** Pesos relativos de los criterios ecol3gicos



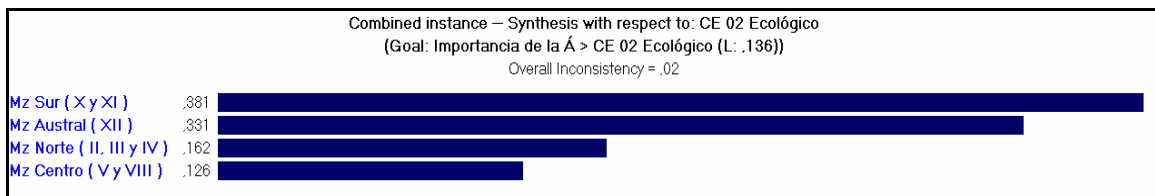
**Figura 11.** Pesos relativos de los criterios sociales.



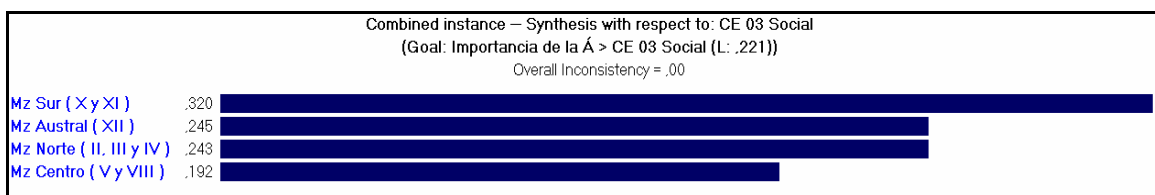
**Figura 12.** Pesos relativos de los criterios salud p1blica.



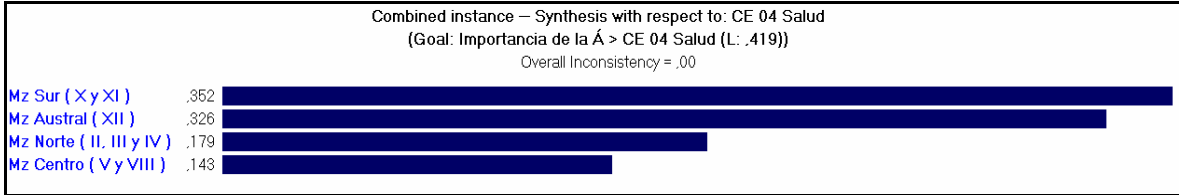
**Figura 13.** Importancia relativa de macrozonas dentro del criterio econ3mico.



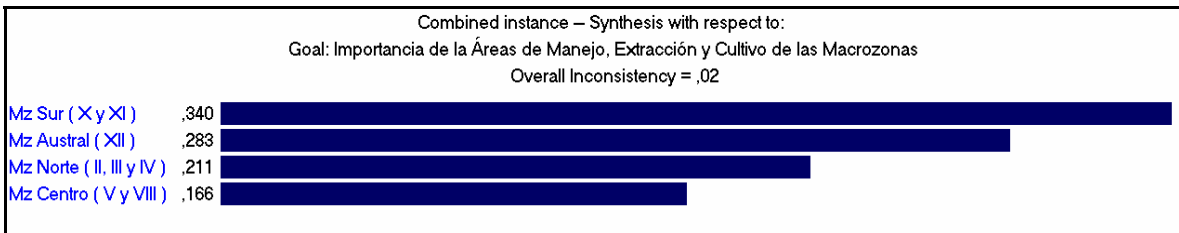
**Figura 44.** Importancia relativa de macrozonas dentro del criterio ecol3gico.



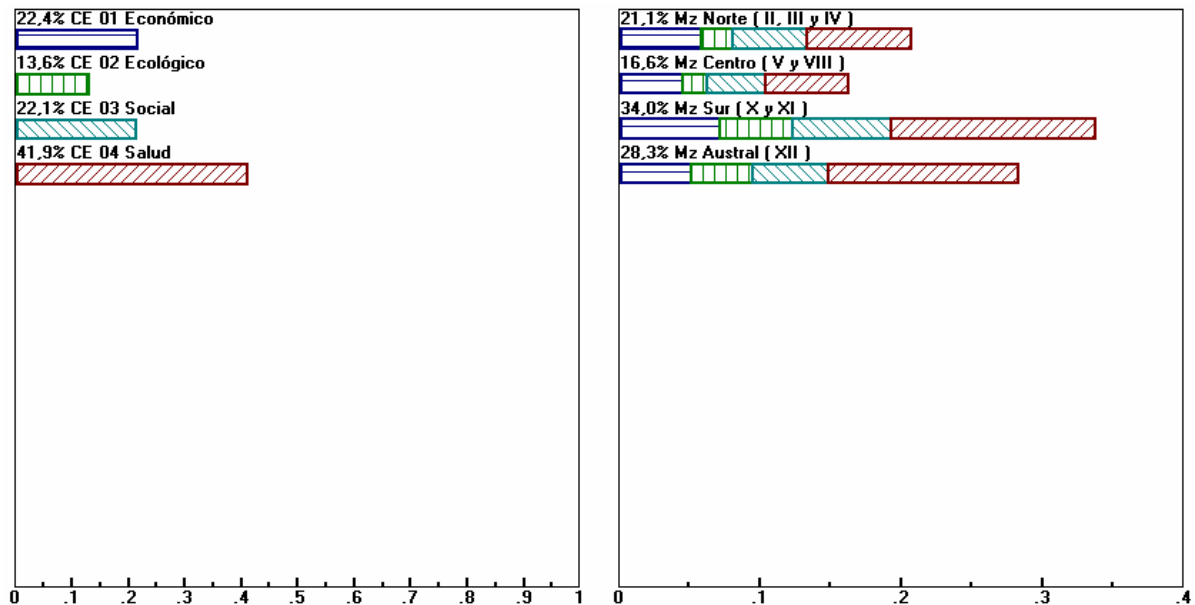
**Figura 15.** Importancia relativa de macrozonas dentro del criterio social.



**Figura 16.** Importancia relativa de macrozonas frente a criterio salud pública



**Figura 17.** Resultado método AHP sobre importancia relativa o ranking de las macrozonas.



**Figura 58.** Componentes importancia relativa inicial.

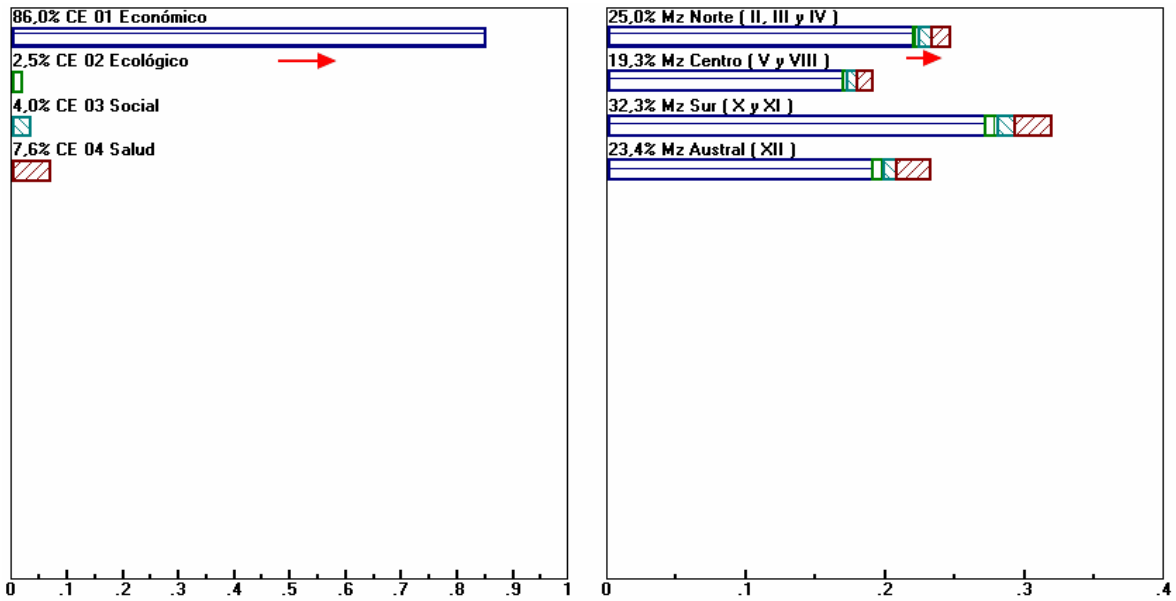


Figura 69. Sensibilidad importancia relativa por aumento peso criterio econ3mico.

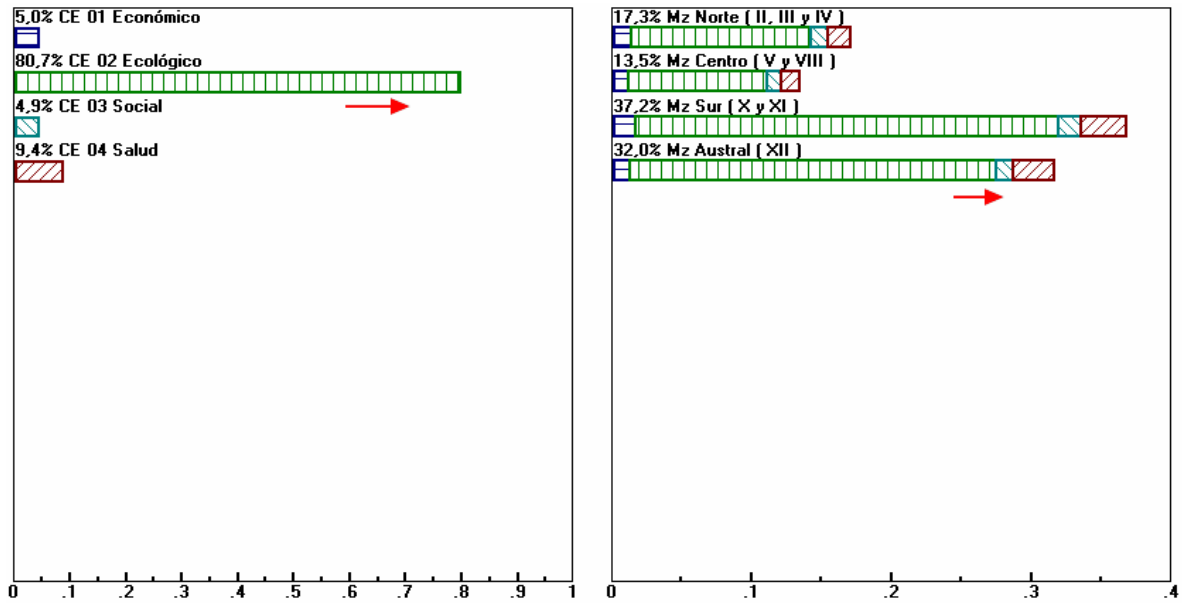
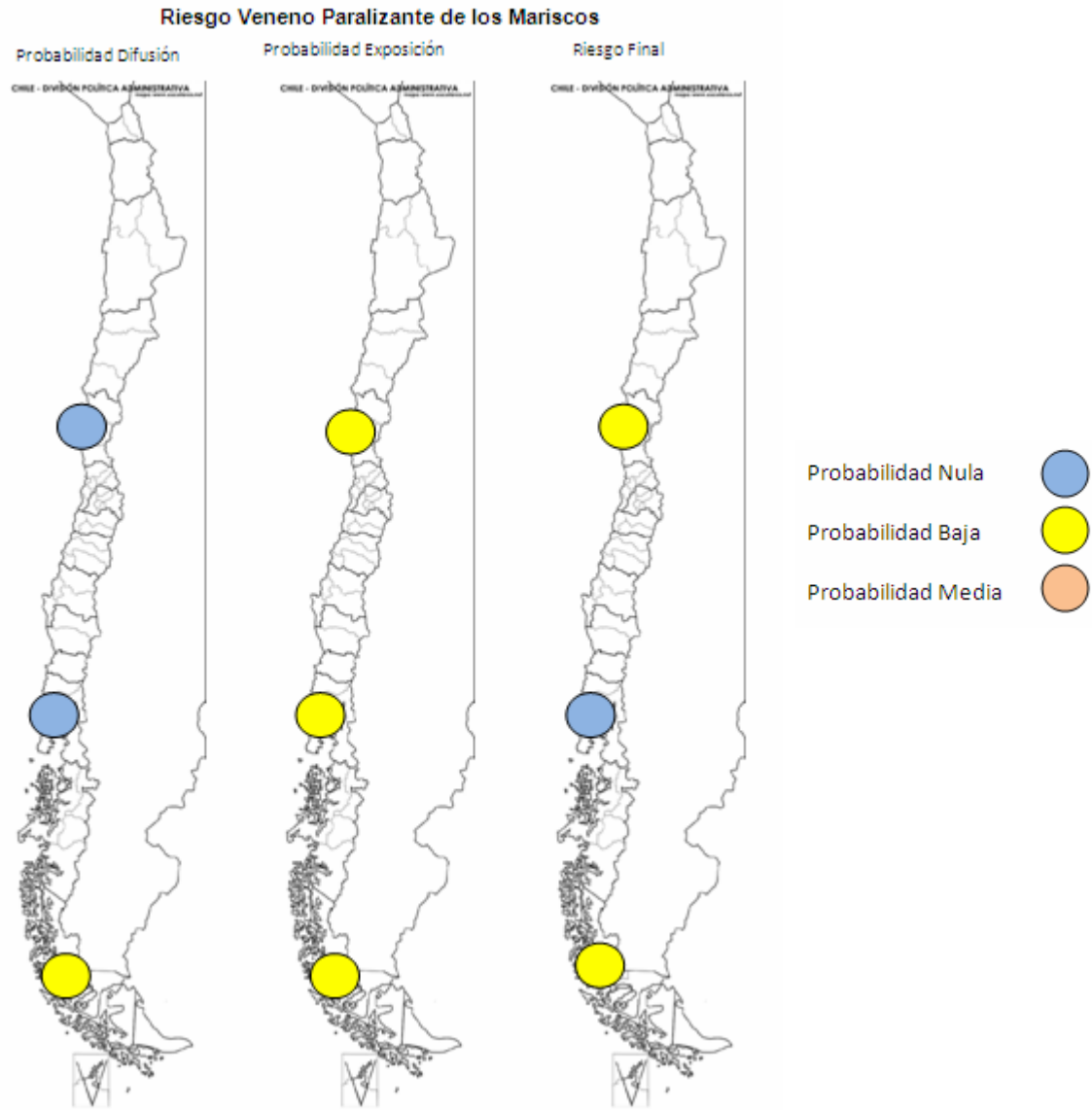
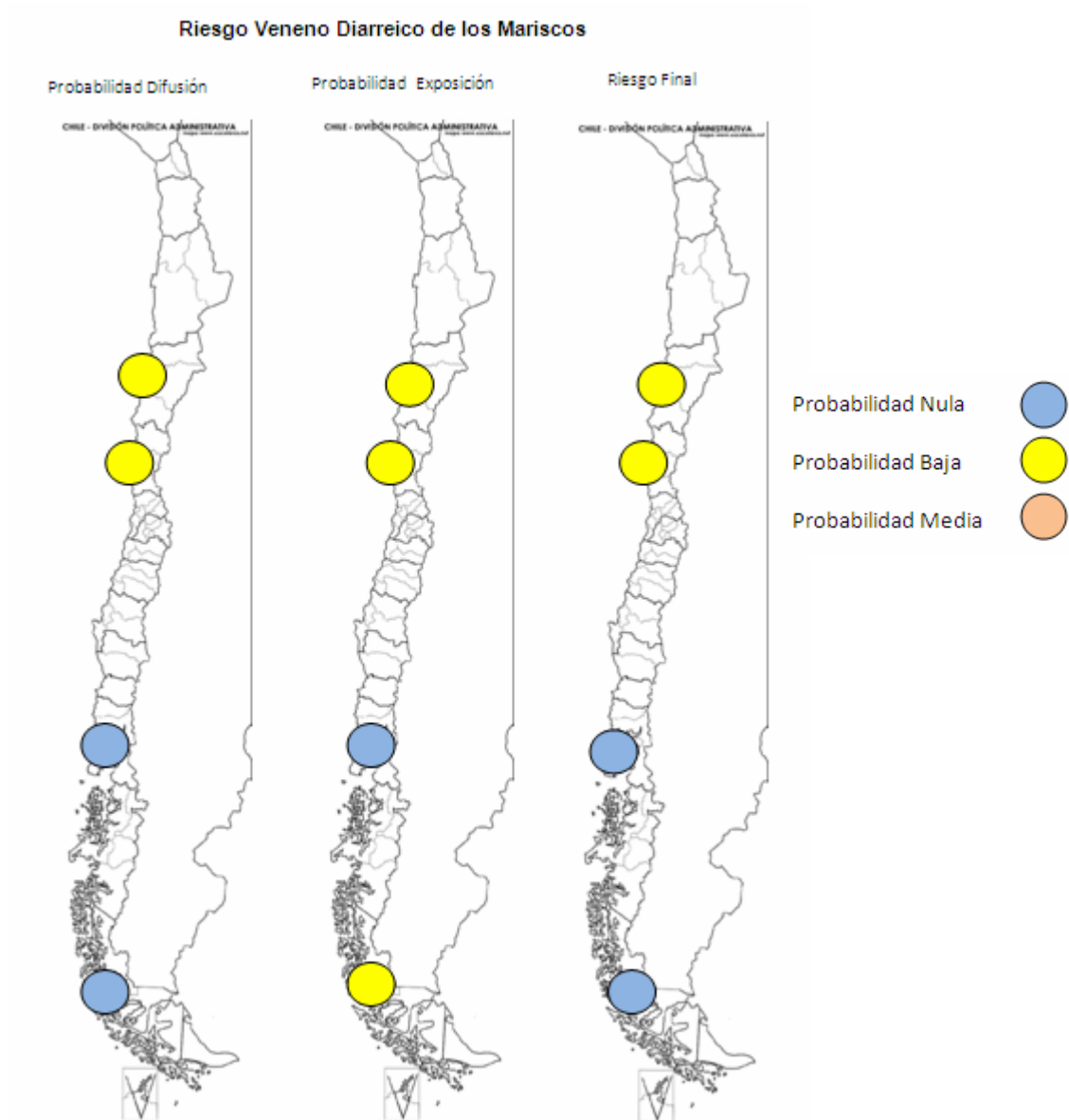


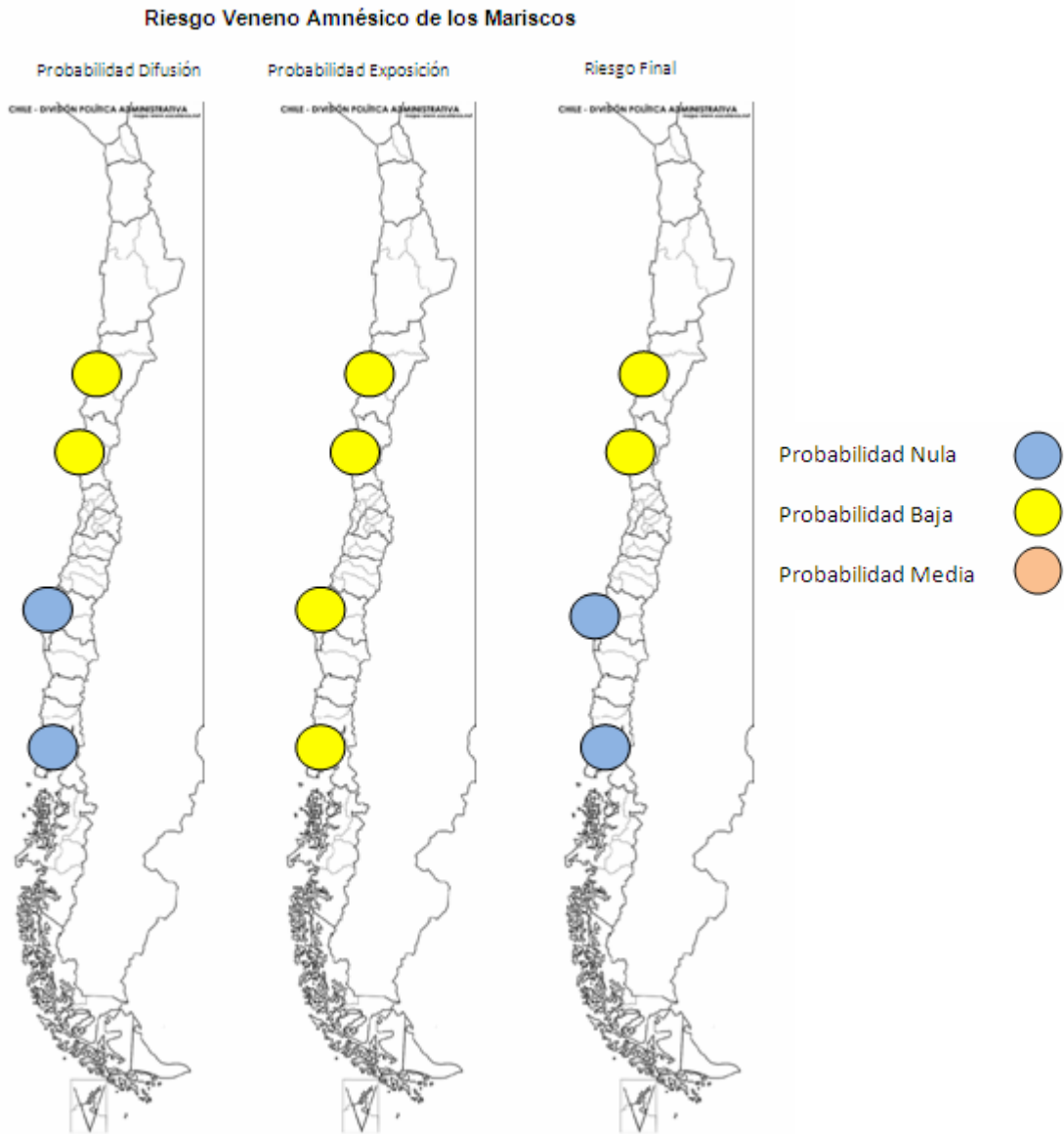
Figura 20. Sensibilidad importancia relativa por aumento peso criterio ecol3gico.



**Figura 21.** Probabilidades de difusi3n, exposici3n y riesgo final del VPM para las cuatro macrozonas predefinidas.

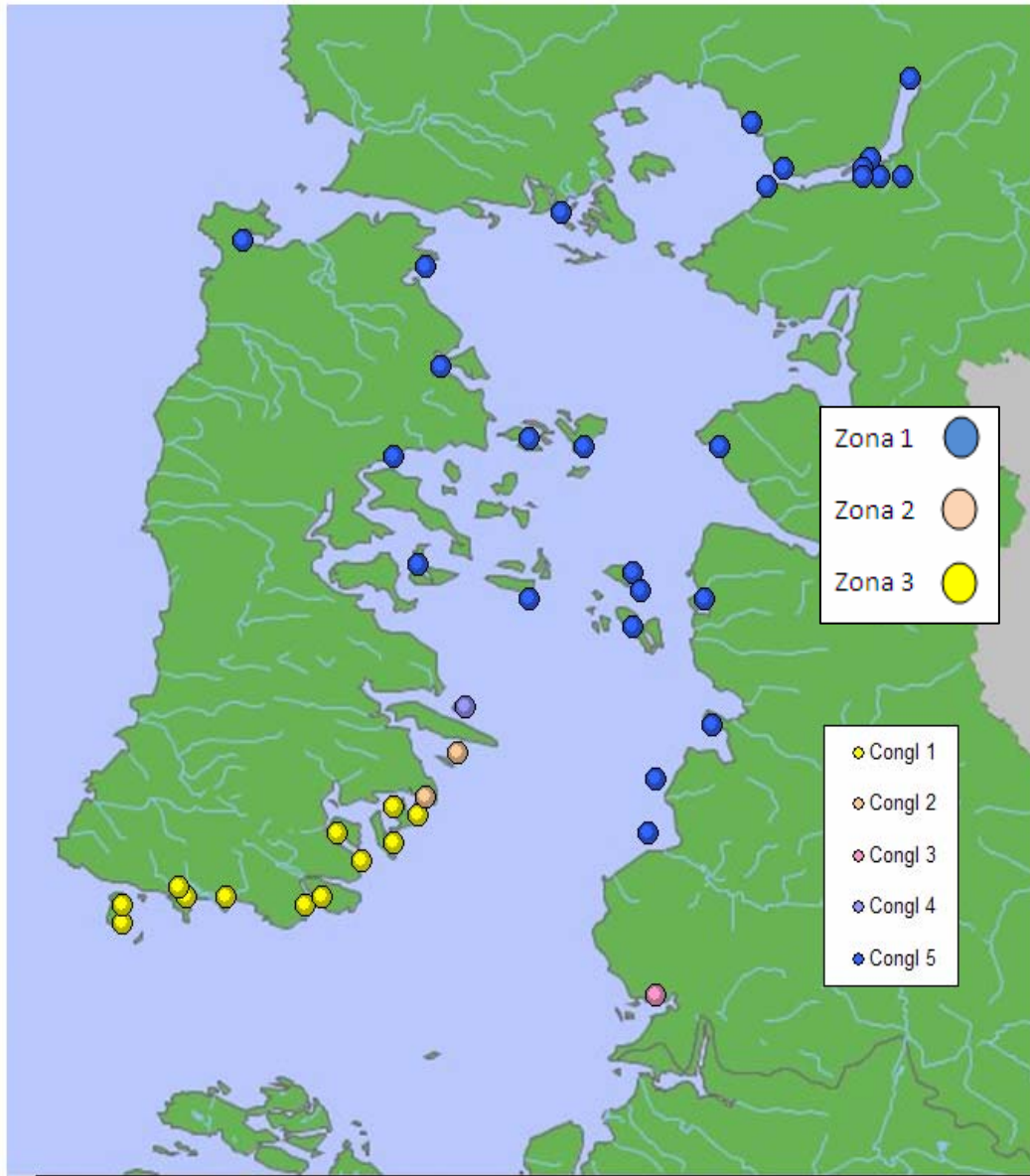


**Figura 22.** Probabilidades de difusi3n, exposici3n y riesgo del VDM para las cuatro macrozonas predefinidas.



**Figura. 23.** Probabilidades de difusi3n, exposici3n y riesgo final del VAM para las cuatro macrozonas predefinidas.





**Figura. 24.** Representaci3n geogr3fica de los conglomerados significativos obtenidos para la regi3n de Los Lagos.

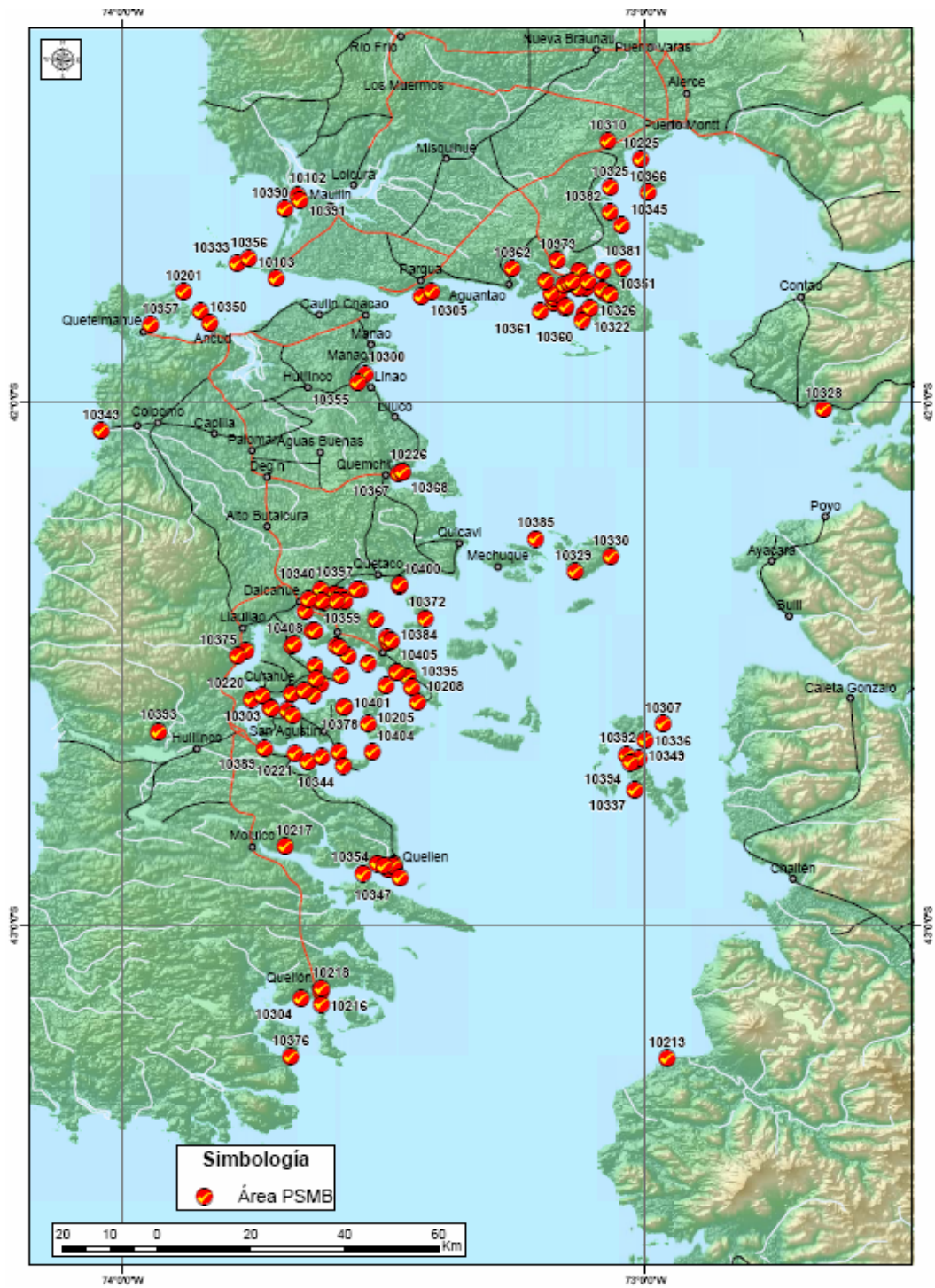


Figura. 25. Distribuci3n geogr3fica de las 3reas PSMB de la regi3n de Los Lagos.

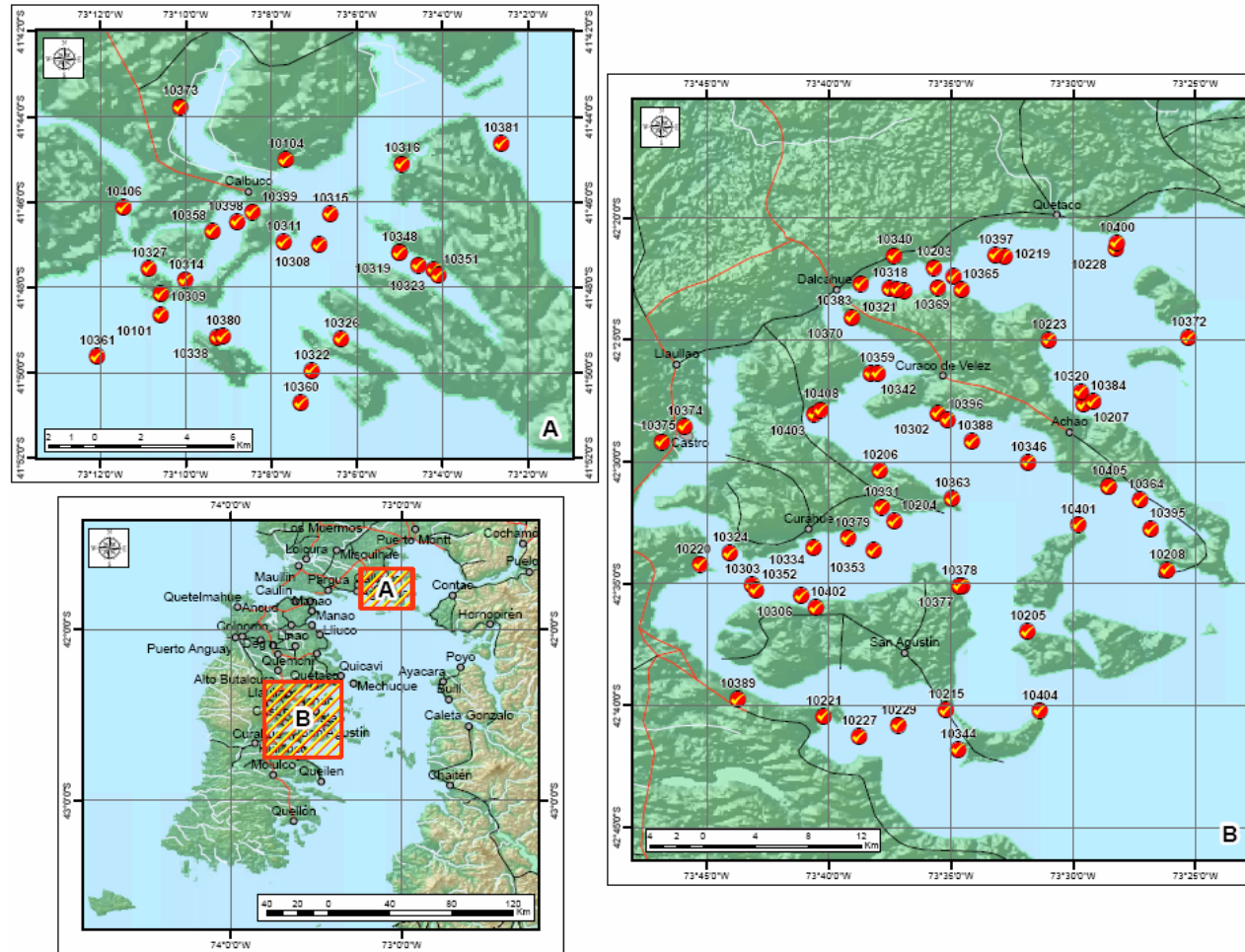
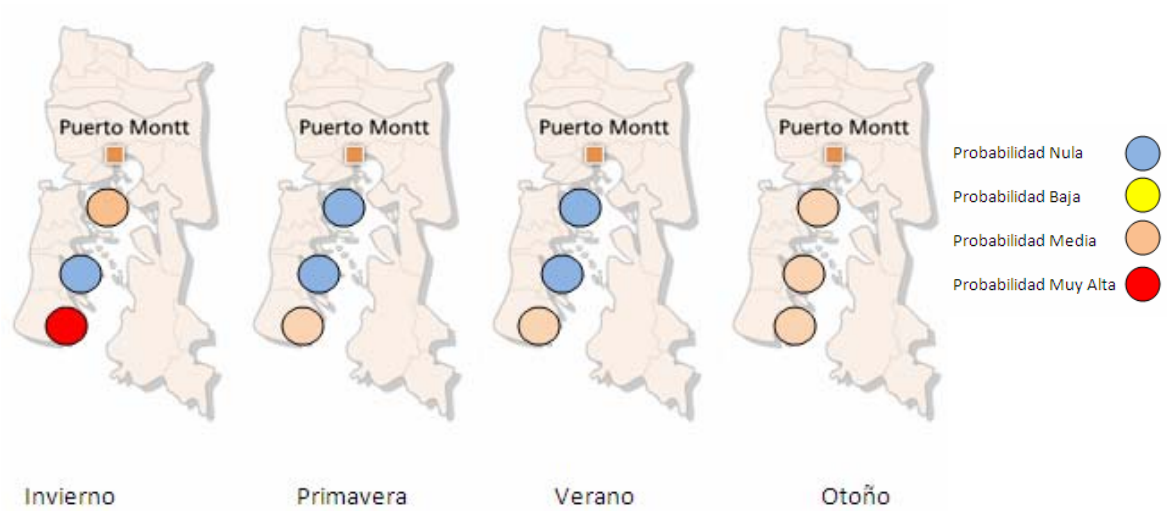
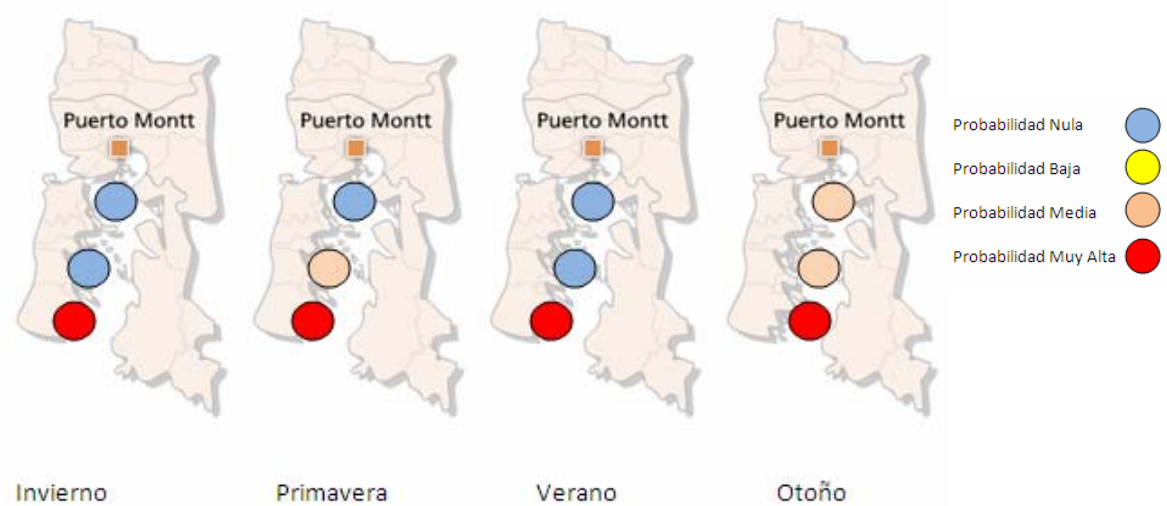


Figura 26. Detalle distribuci3n geogr3fica de las 3reas PSMB de la regi3n de Los Lagos

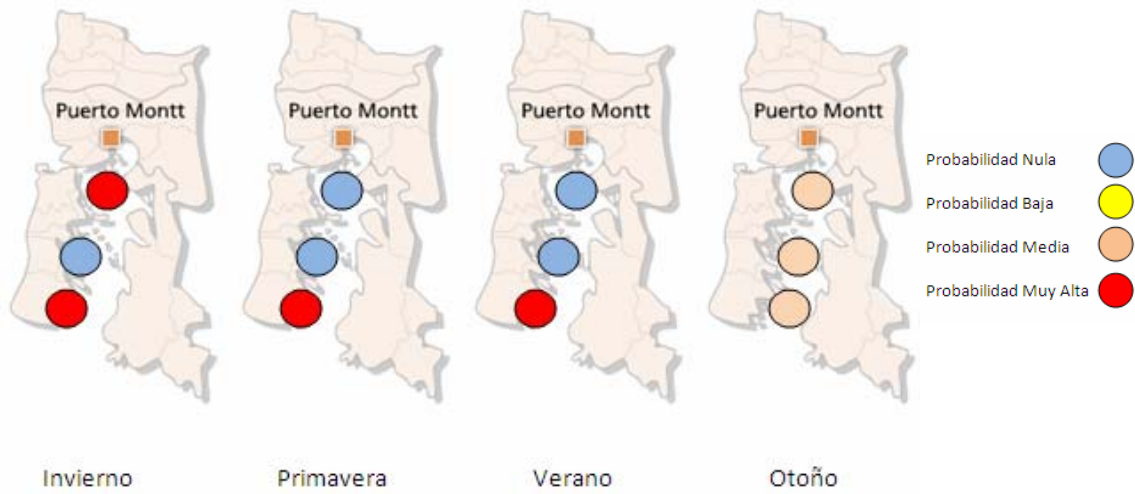




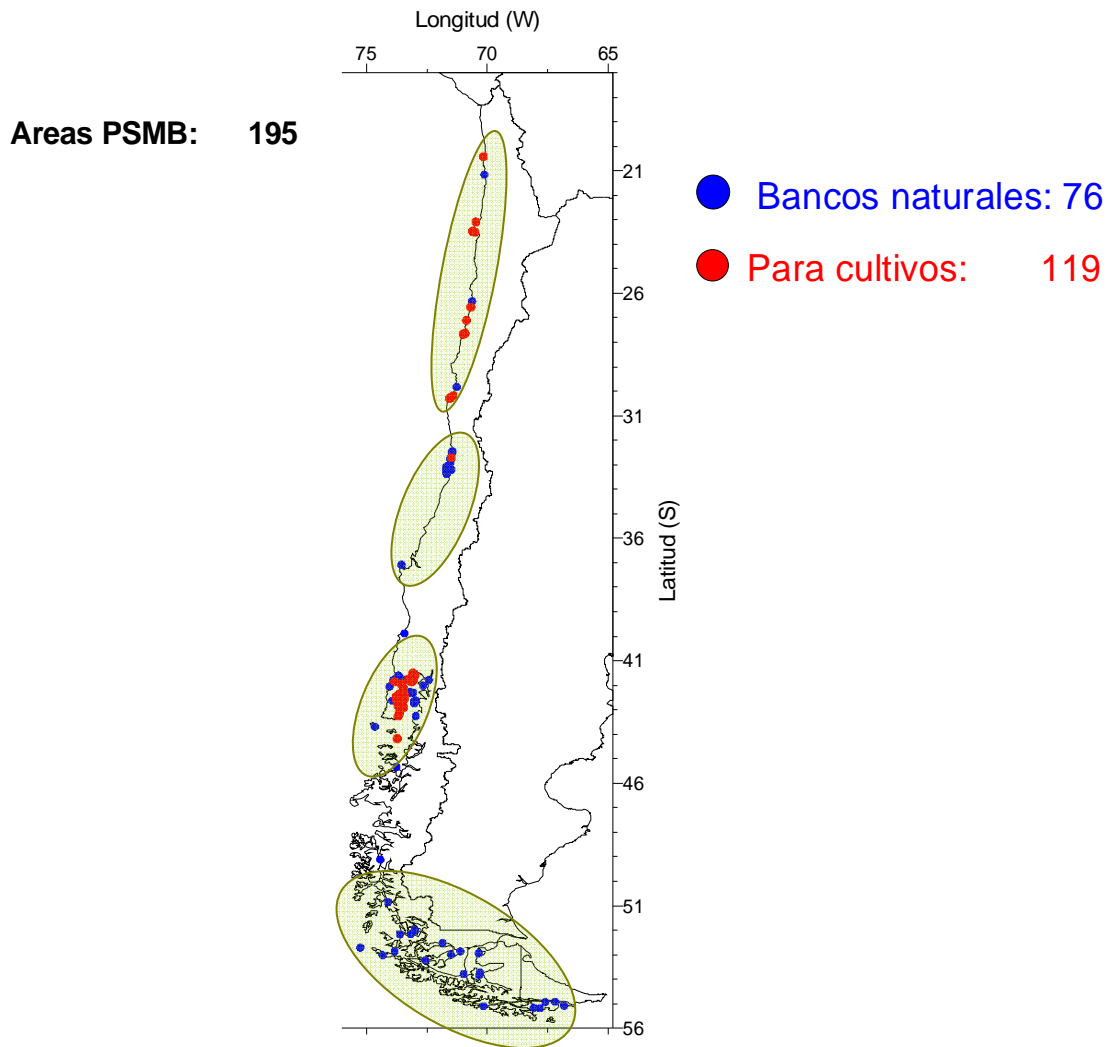
**Figura 27.** Riesgo final por zona para VPM, considerando cada una de las estaciones del año.



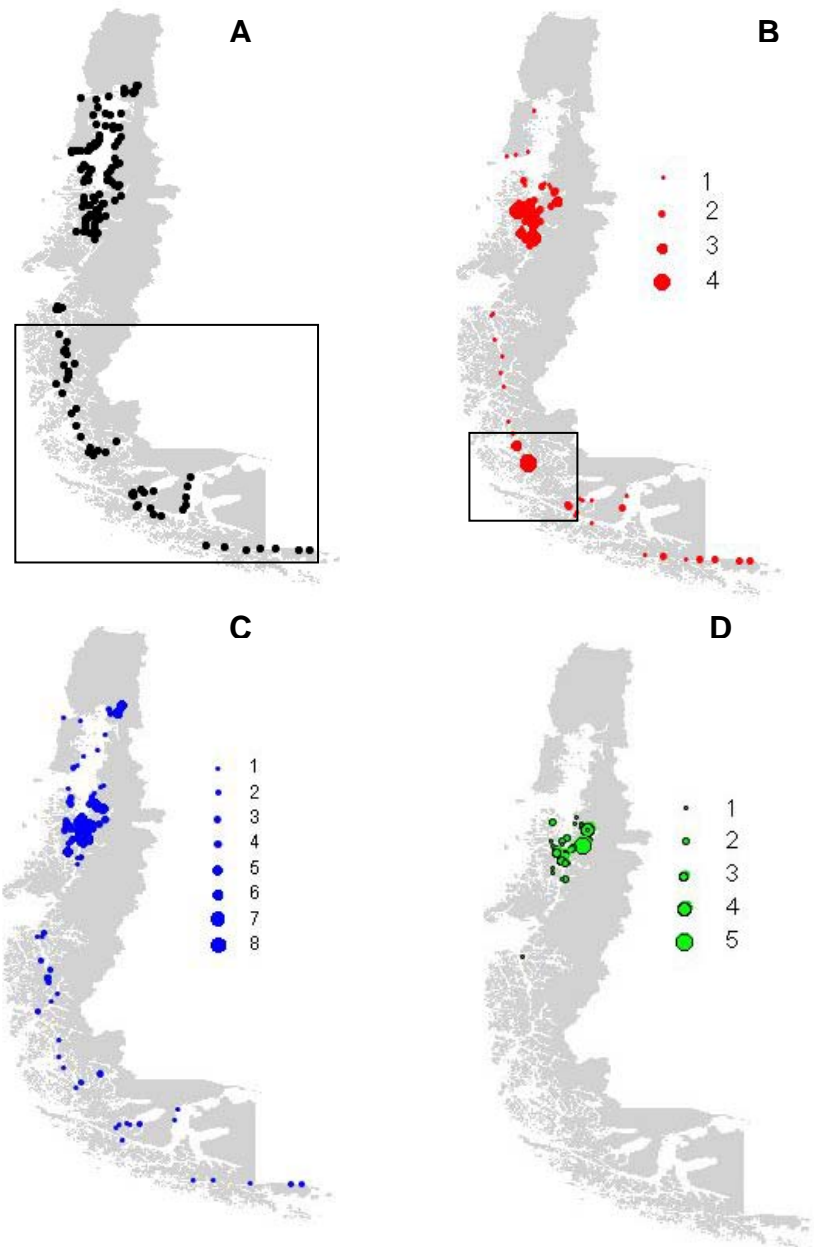
**Figura 28.** Riesgo final por zona para VDM, considerando cada una de las estaciones del año.



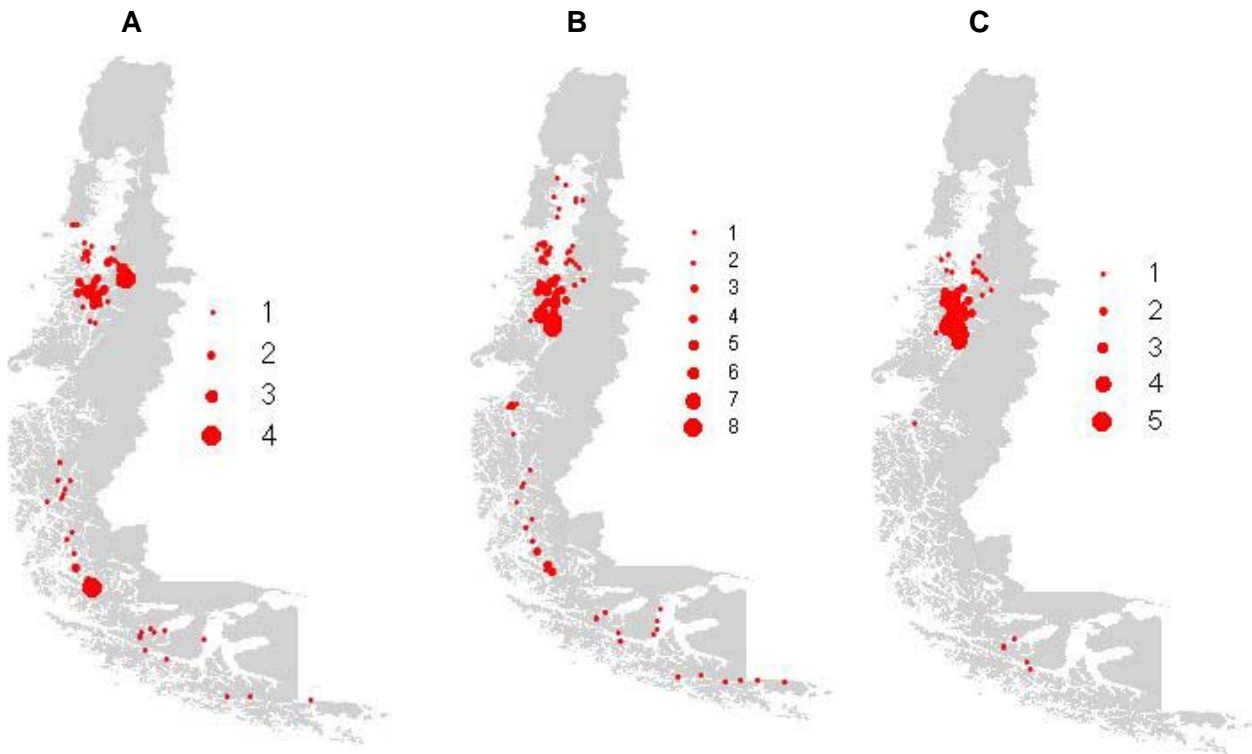
**Figura 29.** Riesgo final por zona para VAM, considerando cada una de las estaciones del año.



**Figura 30.** Macrozonas definidas (3valos) en base a la data hist3rica de 3reas PSMB con registros de las variables de densidad de microalgas nocivas y nivel de toxina en moluscos.



**Figura 31.** Estaciones regulares de monitoreo del PIMKA enmarcando las estaciones de la regi3n de Magallanes (A) y estaciones con mayor frecuencia de presentar rangos altos de peligro de densidad celular especfica para establecer estaciones centinelas: B. frecuencia de *A. catenella* (enmarcadas en rect3ngulo sector de Isla Piazzzi y Seno Otway), C. frecuencia de *D. acuminata* y D. frecuencia de *D. acuta*. Perodo 2006-2008.



**Figura 32.** Estaciones Presencia anual de *A. catenella* en estaciones de la regi3n sur-austral. **A.** 2006, **B.** 2007 y **C.** 2008. Los n3meros indican frecuencia de aparici3n en cada a3o.



**A N E X O S**

---

## ÍNDICE DE ANEXOS (archivos digitales)

---

Cliclear sobre el anexo que desee ver

<b>ANEXO 1</b>	Base de datos consolidada.
<b>ANEXO 2</b>	Base de datos PSMB 1998-2006 de SERNAPESCA.
<b>ANEXO 3</b>	Base de datos PSMB 2007-2008 de SERNAPESCA.
<b>ANEXO 4</b>	Base de datos 1998-2006 de FIP 2006-36, <input type="checkbox"/> INFAS Y <input type="checkbox"/> CPS
<b>ANEXO 5</b>	Fichas PSMB 2002-2006 digitadas de SERNAPESCA.
<b>ANEXO 6</b>	Base de datos áreas PSMB georeferenciadas.
<b>ANEXO 7</b>	Encuesta multisectorial aplicada para evaluación de consecuencias para análisis.
<b>ANEXO 8</b>	Presentación metodología del proyecto reunión con el mandante.
<b>ANEXO 9</b>	Planillas de cálculos de probabilidades de difusión, exposición y riesgo.
<b>ANEXO 10</b>	Estimación de probabilidades finales de D y E por región.
<b>ANEXO 11</b>	Invitación a Taller realizado en Puerto Montt para la aplicación de encuestas y lista de participantes
<b>ANEXO 12</b>	Invitación a video conferencia y lista de participantes.
<b>ANEXO 13</b>	Tablas de estimación del riesgo final.
<b>ANEXO 14</b>	Frecuencia de peligro de microalgas tóxicas y presencia anual de <i>A. catenella</i> .
<b>ANEXO 15</b>	Carta Gantt.
<b>ANEXO 16</b>	Equipo técnico y horas hombre por actividad.
<b>ANEXO 17</b>	Prórroga de informe de avance corregido, pre-informe final y final.
<b>ANEXO 18</b>	Programa de aplicaciones matemáticas y protocolos de su instalación y manejo para el poblamiento de las variables faltantes en la base de datos de trabajo.
<b>ANEXO 19</b>	Invitación a Taller de difusión de resultados y número de asistentes.



---

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO  
**Unidad de Ediciones y Producción**  
Blanco 839, Fono 56-32-2151500  
Valparaíso, Chile  
[www.ifop.cl](http://www.ifop.cl)

---



[www.ifop.cl](http://www.ifop.cl)