



“Desenmarañando un sistema complejo: *Alexandrium catenella* y toxina paralizante”

Dr. Leonardo Guzmán Méndez

Centro de Estudios de Algas Nocivas (CREAN)

Departamento de Medio Ambiente

División de Investigación en Acuicultura

Puerto Montt, 23 de agosto de 2017

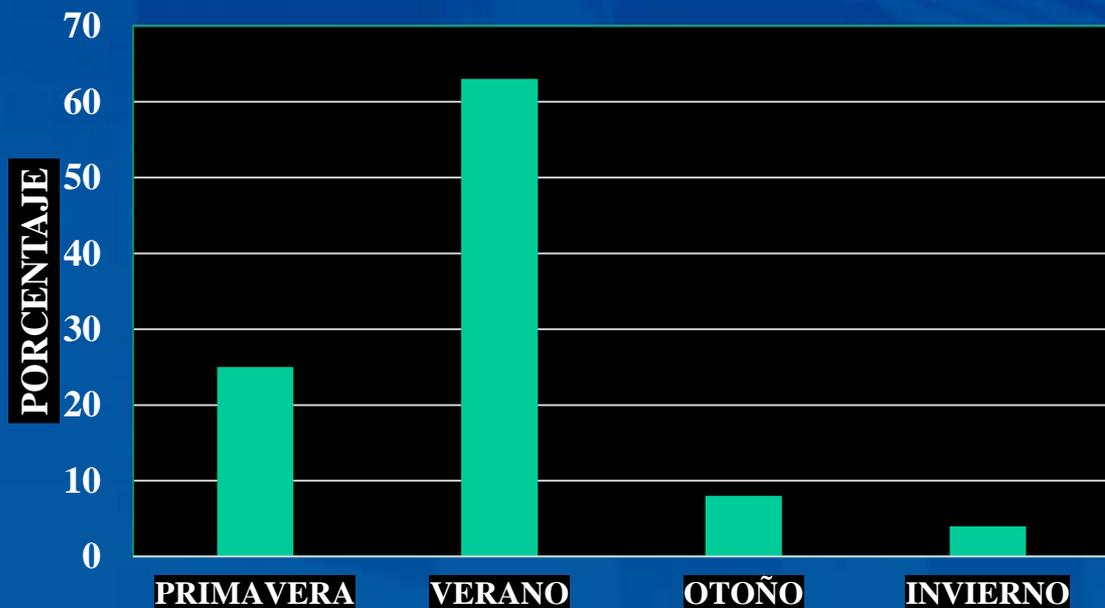
➤ ACCIONES OPERACIONALES, INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

➤ CONFIGURACIONES ESPACIO TEMPORALES (REGULARIDADES)

- ❑ Expansión aparente de la distribución de *Alexandrium catenella*, desde el sur hacia el norte
- ❑ Perfiles de la toxina paralizante según el origen de *A. catenella*
- ❑ Vinculación de la abundancia de *A. catenella* y El Niño-Oscilación del sur (ENSO)

36 casos fatales, la mayoría durante los años noventa

Alrededor de 500 personas intoxicadas



1



Los Lagos

12

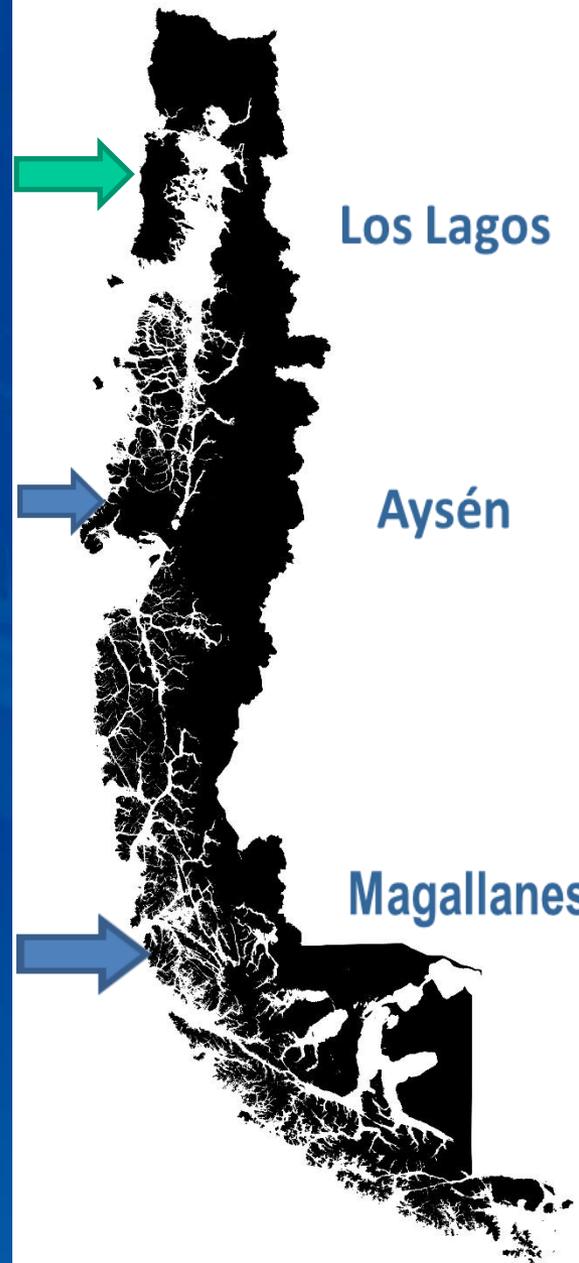


Aysén

23



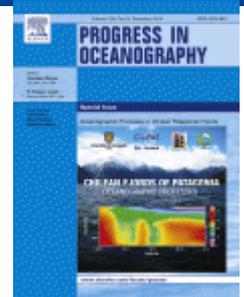
Magallanes



01/09/2017



ELSEVIER

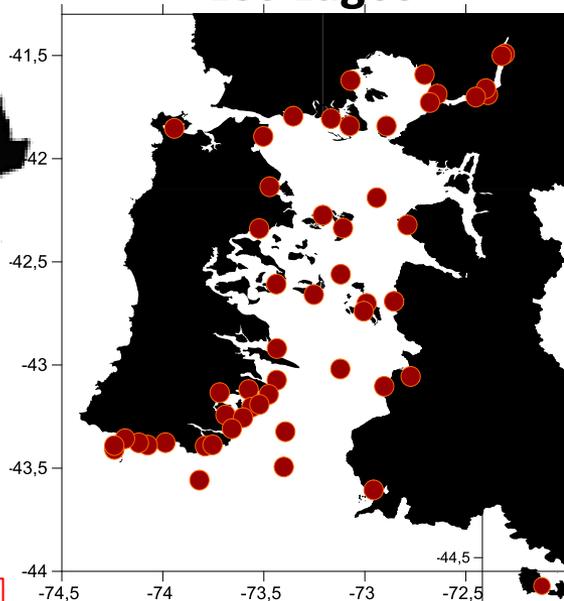


Progress in Oceanography
Volume 129, Part A, December 2014, Pages 85-97

Diatoms and dinoflagellates macroscopic regularities shaped by intrinsic physical forcing variability in Patagonian and Fuegian fjords and channels (48°–56°S)

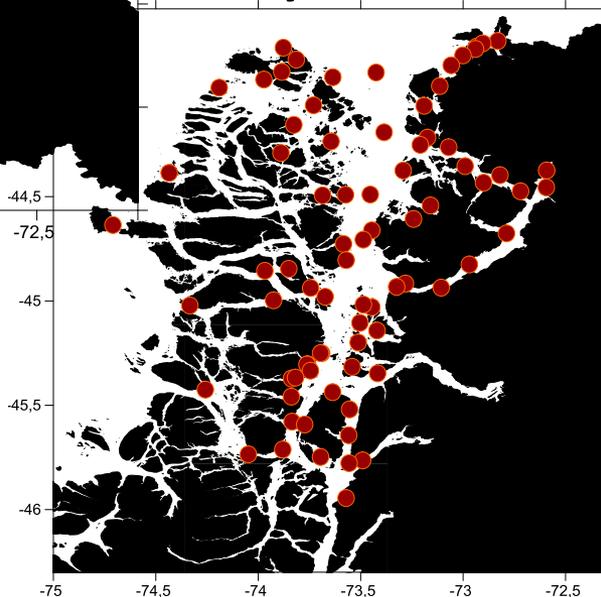
María Alejandra Paredes; Vivian Montecino; Vinka Anic; Miguel Egaña; Leonardo Guzmán

Los Lagos



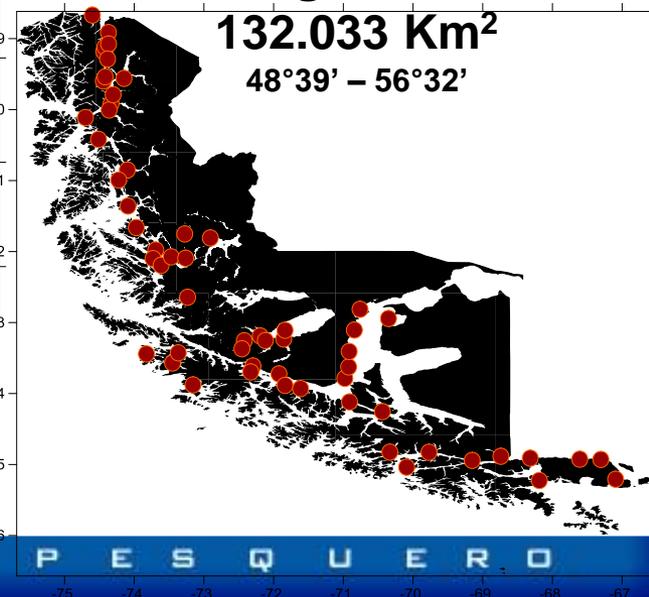
48.583 Km²
40°13' – 43°03'

Aysén



109.444 Km²
43°38' – 49°16'

Magallanes



132.033 Km²
48°39' – 56°32'

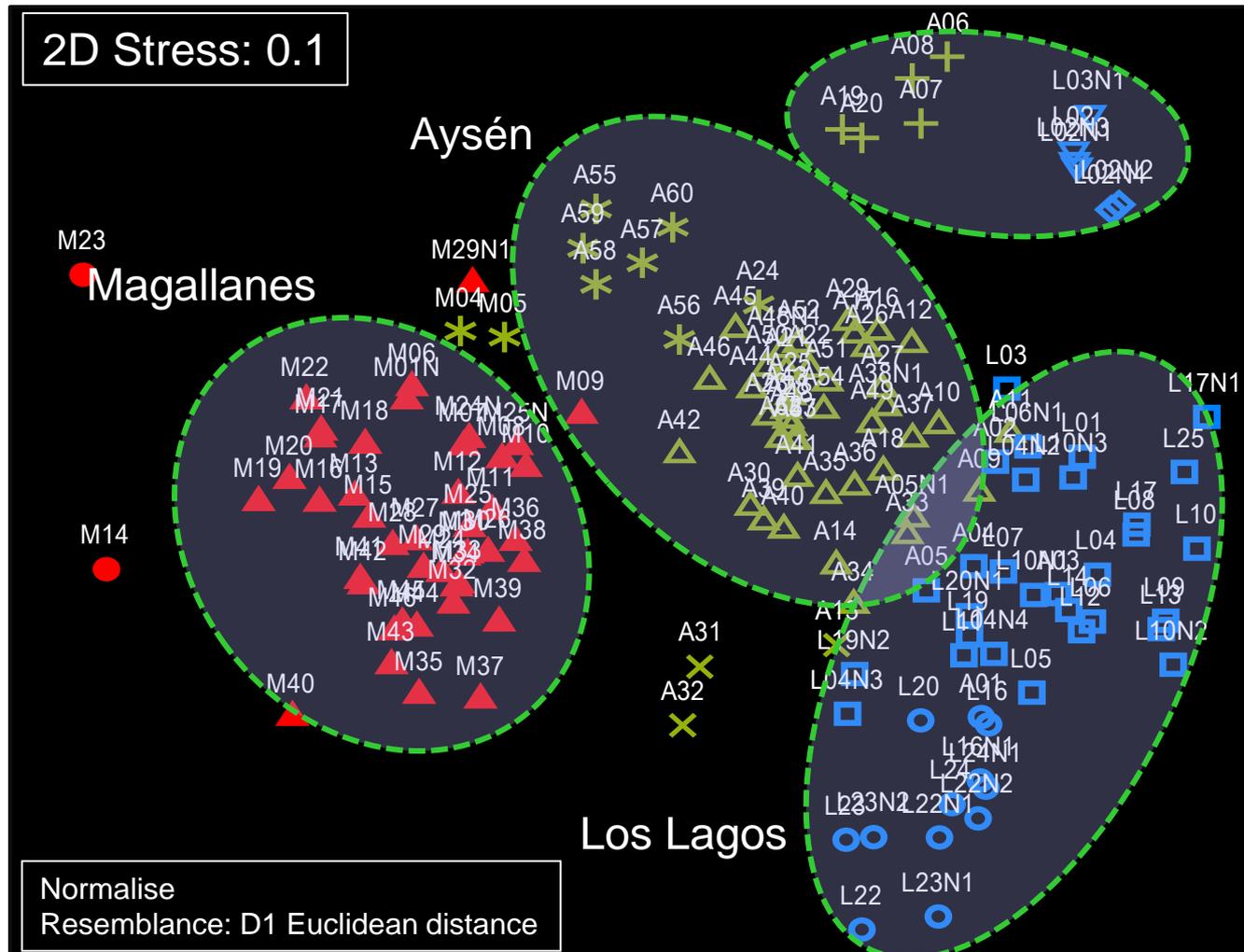
Programa de Manejo y Monitoreo de las Mareas Rojas en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes

230 Estaciones de muestreo

Monitoreo desde 2006

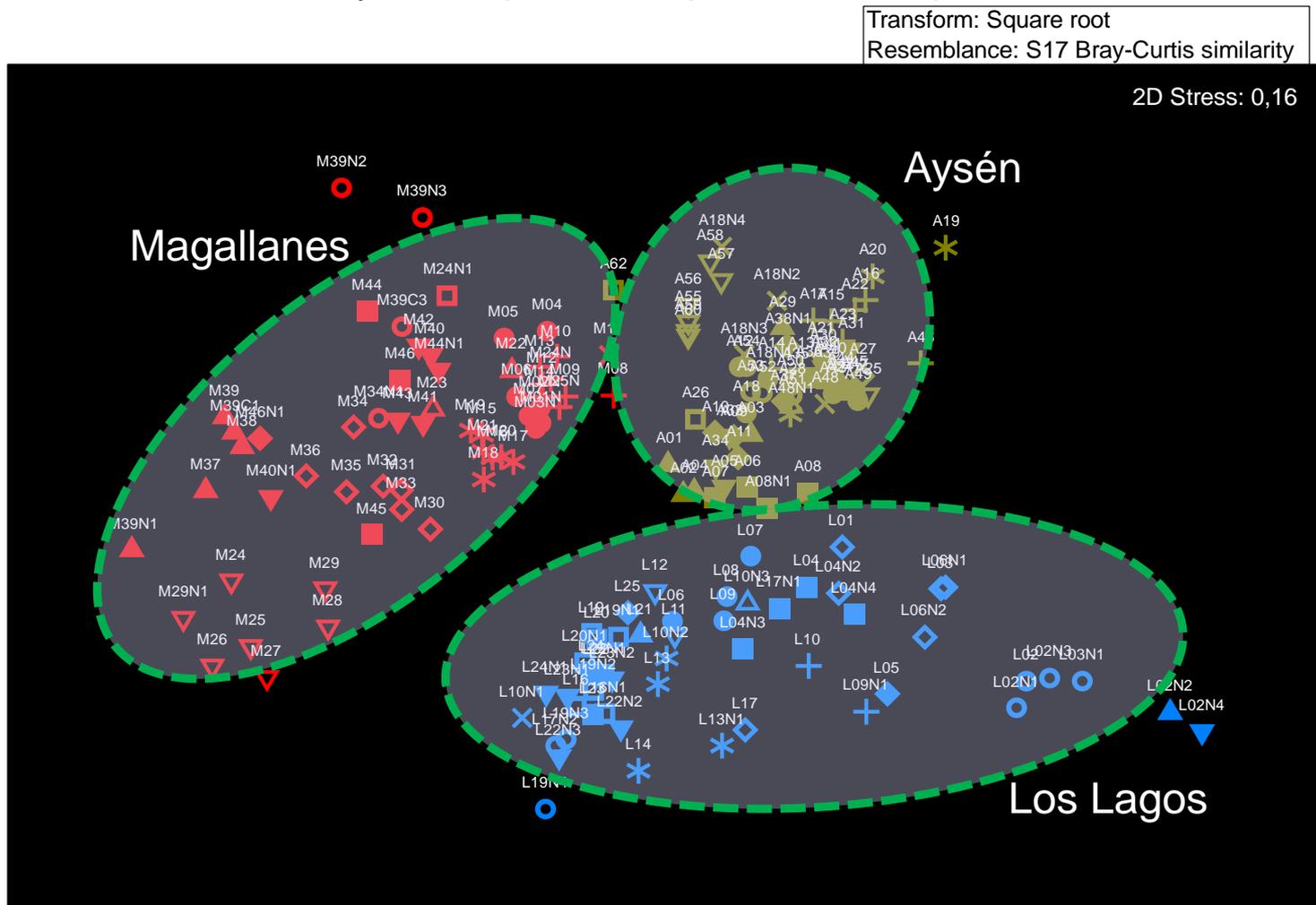
■ Variables oceanográficas y meteorológicas

Ordenación nMDS de las estaciones de muestreo analizadas, obtenidas a partir de la matriz de índices de similitud euclidianas entre las variables ambientales promediadas mensualmente.



Fitoplancton Total

Ordenación nMDS de las estaciones de muestreo analizadas, obtenidas a partir de la matriz de índices de similitud Bray-Curtis para el fitoplancton total promediado mensualmente.



PRIMER CASO

Expansión aparente de la distribución de *Alexandrium catenella*, desde el sur hacia el norte

HIPOTESIS 1:

Si *Alexandrium catenella* ha estado presente en los fiordos y canales en los últimos cientos de años, entonces los sedimentos debieran mantener un registro de los quistes de resistencia de este dinoflagelado, registro que debiera estar presente desde Los Lagos hasta la región de Magallanes

Alexandrium catenella y Toxina Paralizante de los Mariscos (TPM) en aguas chilenas

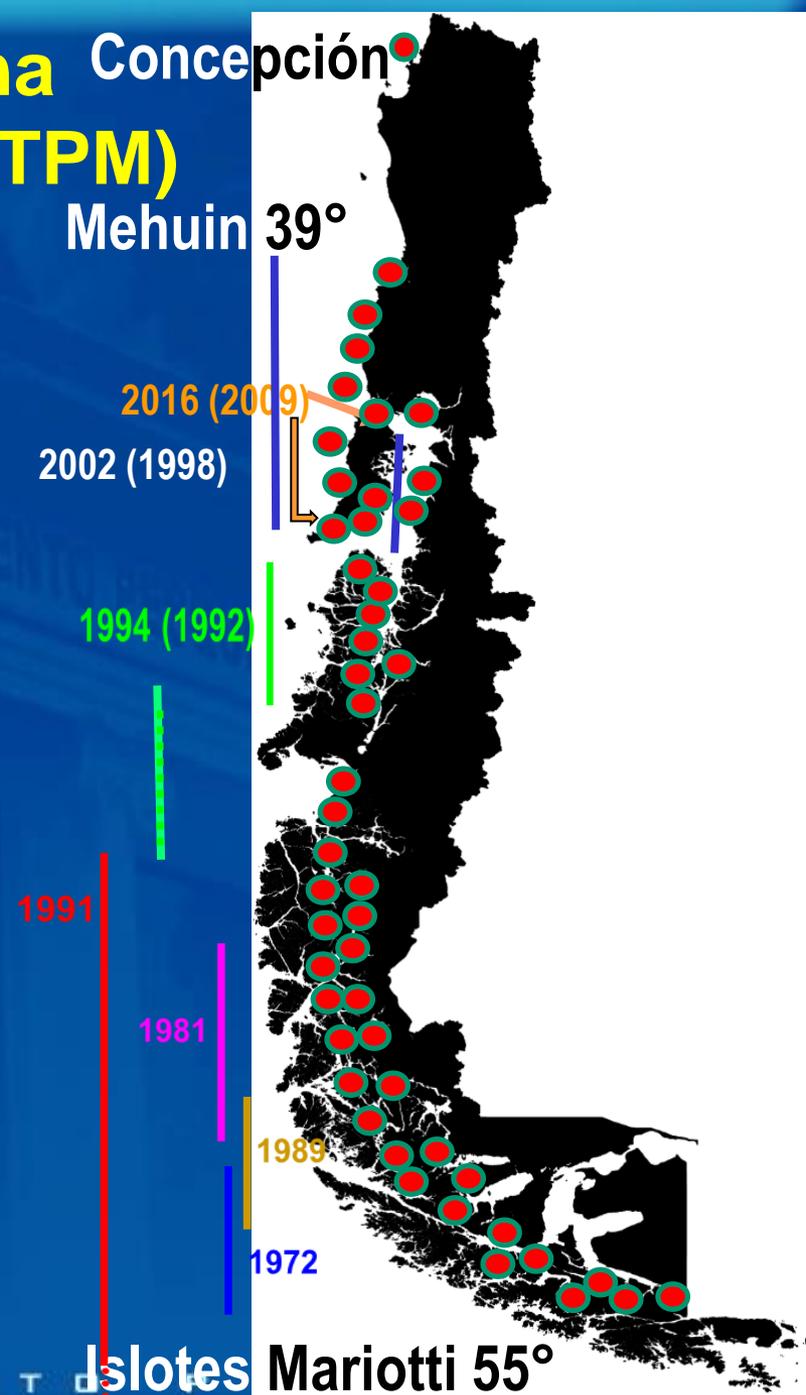
(Modificado de Guzmán et al., 2002)

FRECUENCIA

COBERTURA GEOGRÁFICA

INTENSIDAD

LOS LAGOS	AYSÉN	MAGALLANES
2002	¿?	1972
2006	¿?	1983
2009	1992	1986
2016	1994	1991

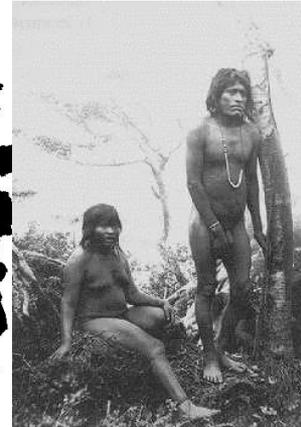


¿Pero *A. catenella* y TPM son recientes en los fjordos chilenos?

Canal Beagle: dos grupos de yámanas murieron a fines del siglo 19 con sintomatología típica de intoxicación con TPM, luego de consumir cholgas (*Aulacomya atra*)

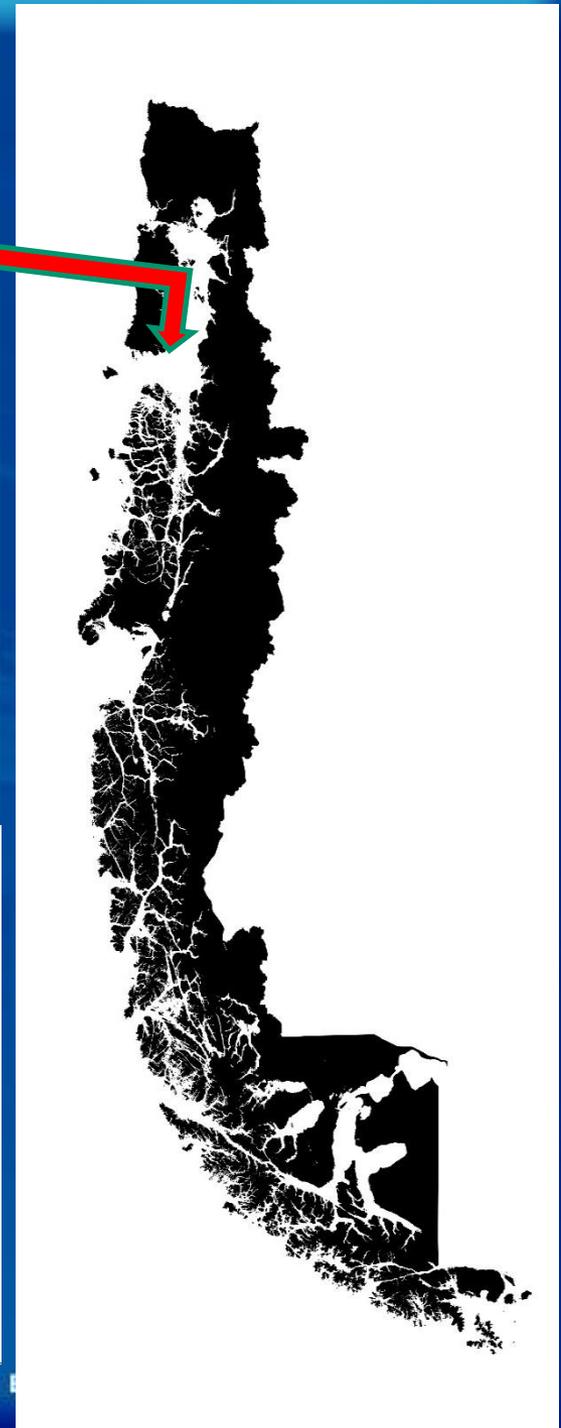
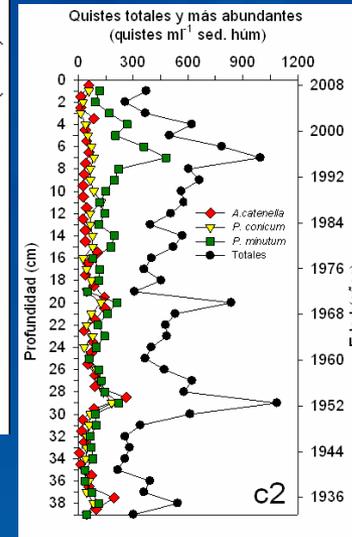
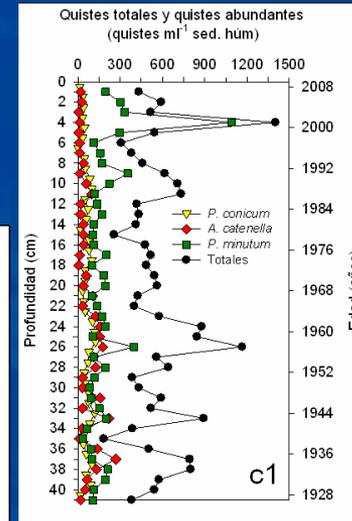
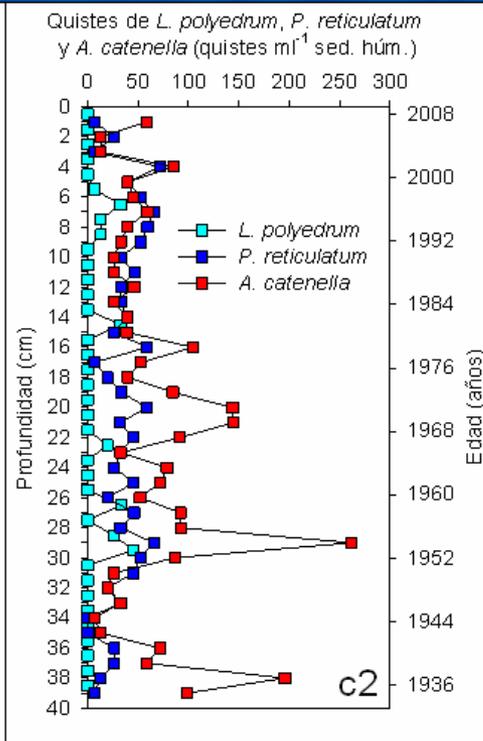
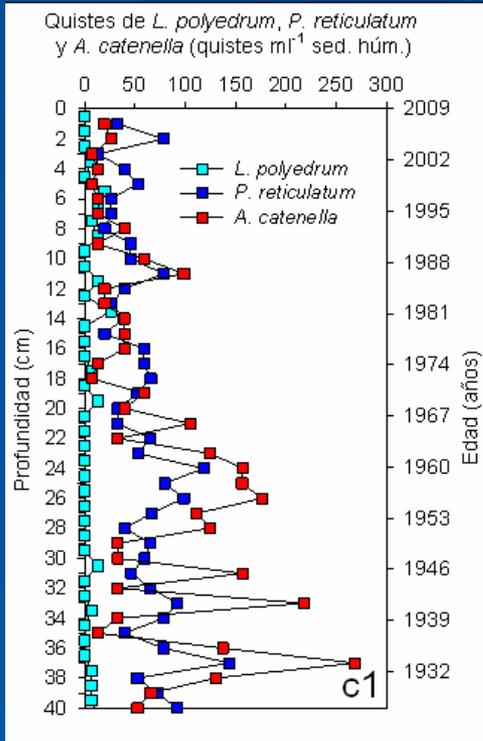


1894 (octubre), 9 casos fatales (Peric, 1984)
1896, 4 casos nuevos (Benavides et al., 1994)



¿Pero *A. catenella* es realmente reciente en los fiordos y canales del sur de Chile?

Sureste de la Isla de Chiloé, los quistes de resistencia de *Alexandrium catenella* han sido datados al menos desde 1930



(tomado de Salgado, 2011)

¿Cuáles son los hechos?



- Expansión aparente sur norte en la distribución geográfica de *Alexandrium catenella* (forma vegetativa), en los últimos 45 años
- Evidencias en el registro sedimentario (quistes) y
- Evidencias históricas (casos fatales y síntomas)



Estamos frente a una colonización o esta microalga ha estado en los fiordos y canales desde hace cientos de años

HIPOTESIS 1:

Si *Alexandrium catenella* ha estado presente en los fiordos y canales en los últimos cientos de años, entonces los sedimentos debieran mantener un registro de los quistes de resistencia de este dinoflagelado, registro que debiera estar presente desde Los Lagos hasta la región de Magallanes (columna de sedimentos)

SEGUNDO CASO

Perfiles de la toxina paralizante según el origen de *Alexandrium catenella*

HIPOTESIS 2:

Los genes responsables de la expresión de los distintos compuestos de la toxina paralizante de *Alexandrium catenella* se manifestarían diferencialmente dependiendo del origen geográfico de los taxones y los perfiles no estarían modulados primariamente por condiciones ambientales, sino por factores endógenos.

LOCALIDAD

L22N2 BAHÍA INÍO / CHILOÉ SUR

L24N1 I. GUAPIQUILÁN / CHILOÉ SUR

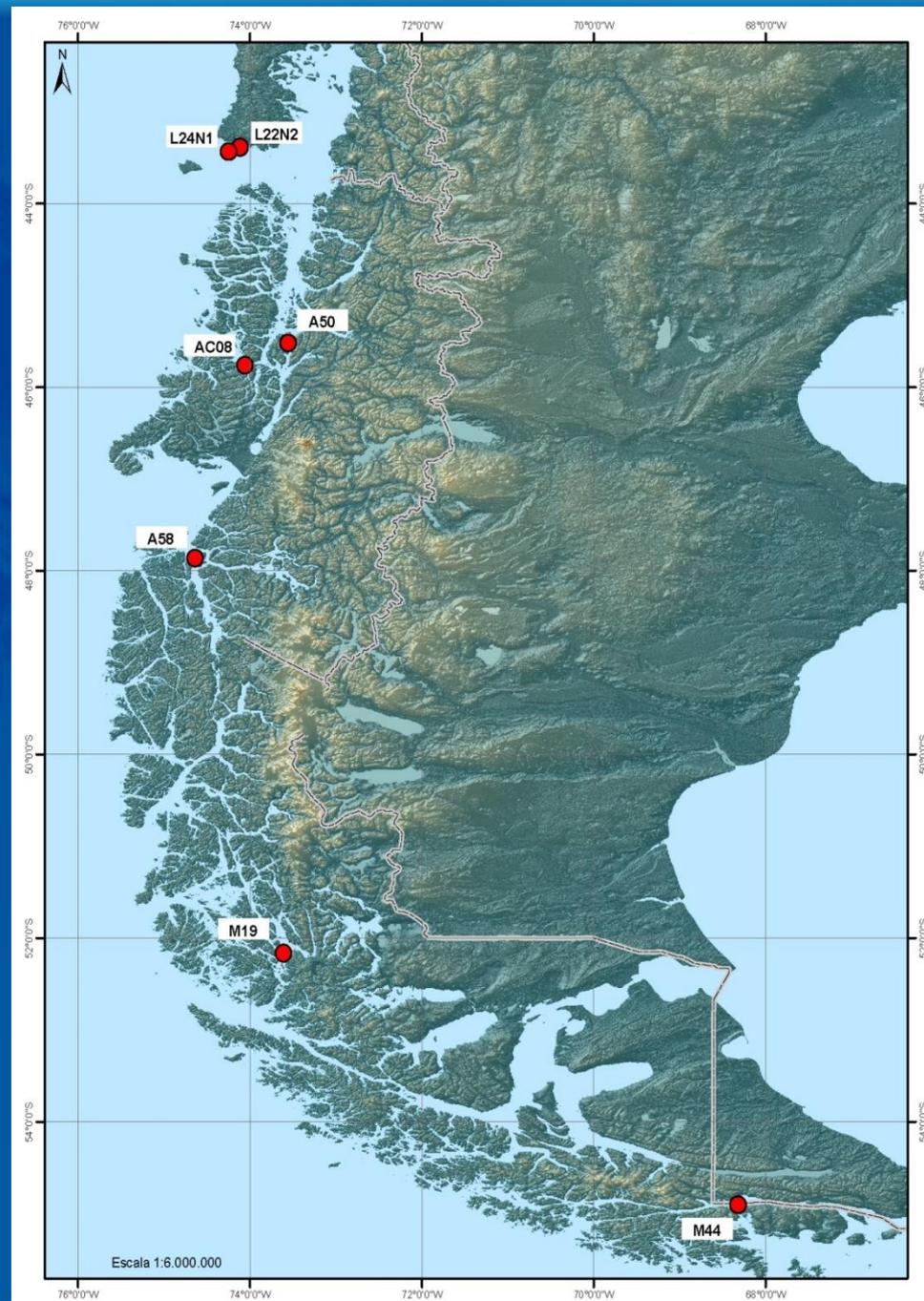
A50 TRONADOR / AYSÉN SUR

A08 I. FITZ ROY / AYSÉN SUR

A58 I. PORCIA / TORTEL

M19 BA. ISTHMUS / MAGALLANES NORTE

M44 PTO. NAVARINO / MAGALLANES SUR



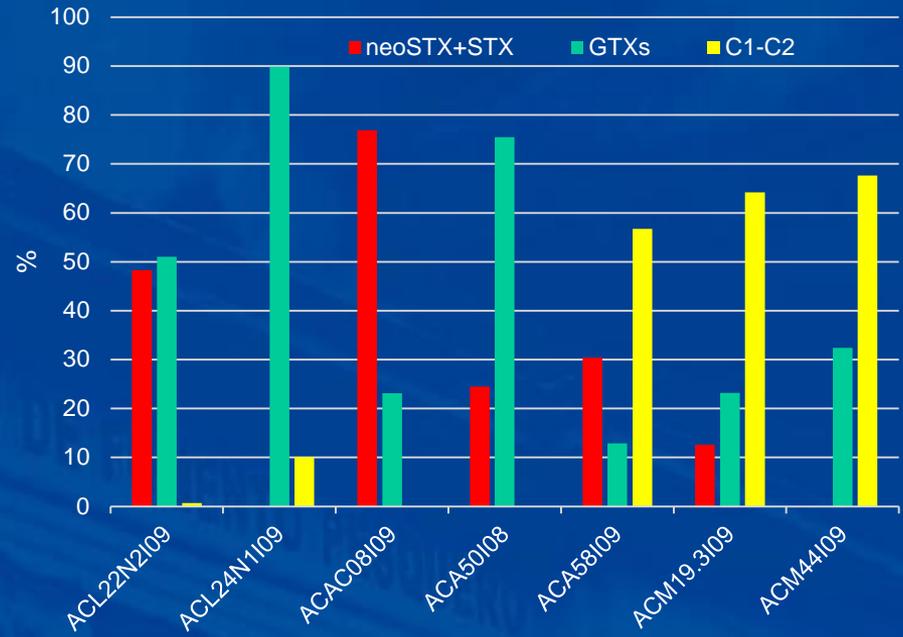
Composición porcentual del contenido de toxinas durante la fase exponencial en los clones estudiados (ordenados de norte a sur).

Toxinas	ACL22N2I09	ACL24N1I09	ACAC08I09	ACA50I08	ACA58I09	ACM19.3I09	ACM44I09
Neo STX	29,2	0,0	40,8	11,1	0,0	0,0	0,0
STX	19,2	0,0	36,1	13,4	30,4	12,6	0,0
GTX4	19,6	35,0	6,4	25,9	3,7	10,8	16,6
GTX1	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0
GTX3	25,9	42,6	12,8	41,2	6,6	10,3	13,6
GTX2	5,5	12,3	3,8	6,6	2,7	2,1	2,2
C1	0,0	0,0	0,0	0,0	17,9	11,3	11,3
C2	0,7	10,1	0,0	0,0	38,8	52,9	56,3
Total	100	100	100	100	100	100	100
neoSTX+STX	48,3	0,0	76,9	24,5	30,4	12,6	0,0
GTXs	51,0	89,9	23,1	75,5	12,9	23,2	32,4
C1-C2	0,7	10,1	0,0	0,0	56,7	64,2	67,6
fmol cél ⁻¹	51	31	34	86	60	63	69

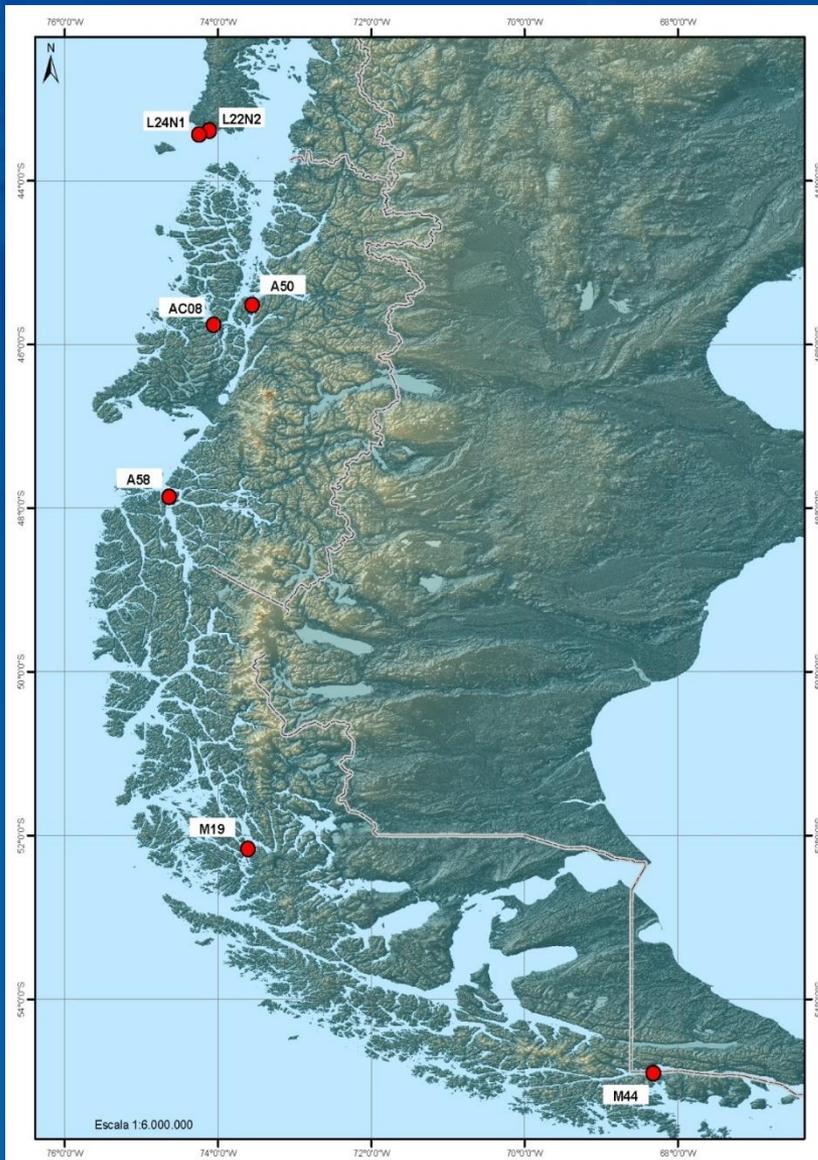
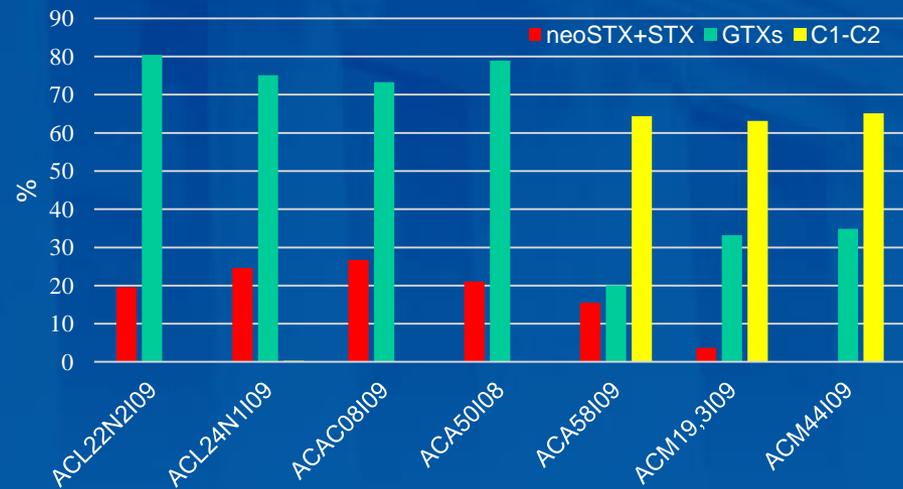
Composición porcentual del contenido de toxinas durante la fase estacionaria en los clones estudiados (ordenados de norte a sur).

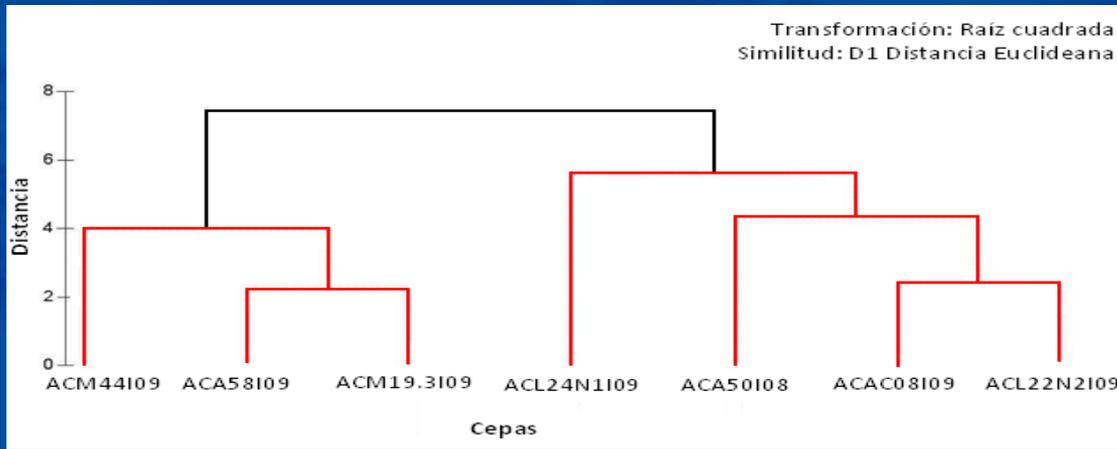
Toxinas	ACL22N2I09	ACL24N1I09	ACAC08I09	ACA50I08	ACA58I09	ACM19,3I09	ACM44I09
Neo STX	11,3	16,8	13,4	13,4	0,0	0,0	0,0
STX	8,4	7,8	13,3	7,6	15,5	3,7	0,0
GTX4	31,1	34,9	20,1	28,3	6,4	14,6	14,8
GTX1	0,0	6,0	5,3	6,6	0,0	3,4	4,7
GTX3	39,9	28,1	37,4	34,7	10,9	12,1	11,8
GTX2	9,4	6,0	10,5	9,4	2,7	3,1	3,6
C1	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3	6,5	6,9
C2	0,0	0,3	0,0	0,0	51,1	56,6	58,2
Total	100	100	100	100	100	100	100
neoSTX+STX	19,6	24,6	26,7	21,1	15,5	3,7	0,0
GTXs	80,4	75,1	73,3	78,9	20,1	33,2	34,9
C1-C2	0,0	0,3	0,0	0,0	64,4	63,1	65,1
fmol cél ⁻¹	61	30	47	58	51	59	55

Fase exponencial



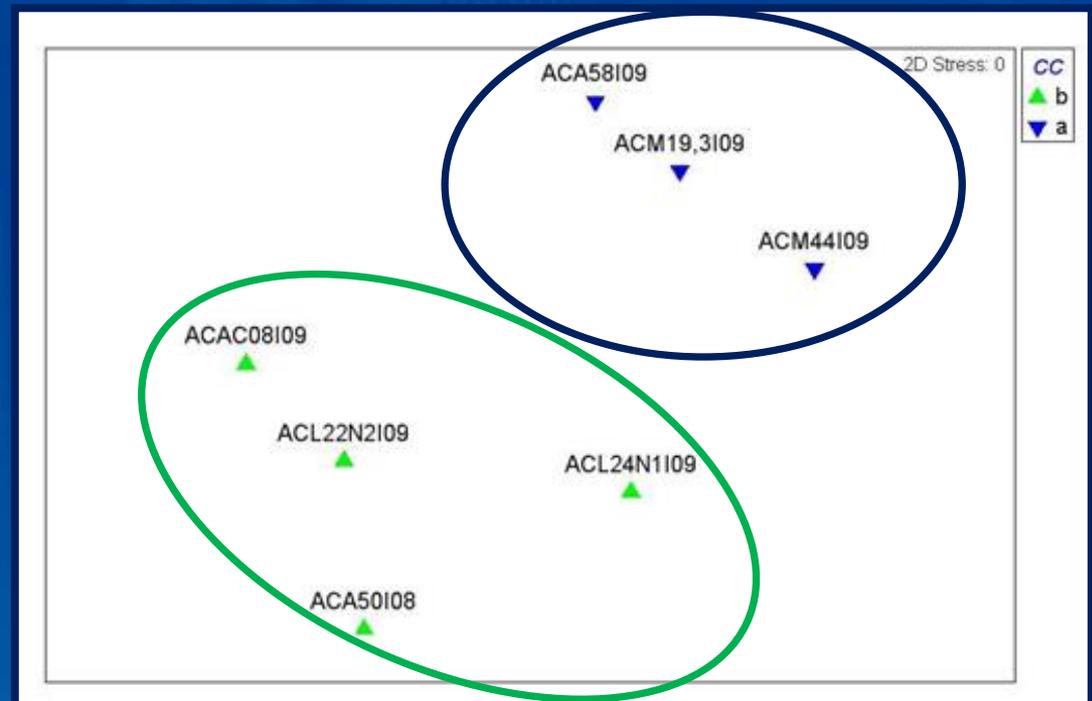
Fase estacionaria





Hay diferencias entre clones de acuerdo a su composición y contenidos en toxinas: según Análisis de conglomerados y escalamiento multidimensional

Esta ordenación geográfica de los clones, derivada de la composición y contenidos en toxinas, es aún más manifiesta al representar mediante escalamiento multidimensional (MDS), que muestra una bondad de ajuste ideal ya que la estimación del estrés = 0



¿Cuáles son los hechos?

- No se aprecian diferencias significativas en el contenido de toxinas estimado por clon entre ambas fases de crecimiento (Wilcoxon, $P > 0,05$).
- La composición porcentual de STX+NeoSTX, GTXs y C1+C2 por clon, muestra diferencias entre las fases exponencial y estacionaria, y según el origen geográfico de los clones.
- El contenido de toxinas tiene una cierta relevancia, pero el tipo de toxinas es el que define la toxicidad de cada clon.
- La toxicidad por clon no estuvo en función de la latitud como ocurre con la composición y contenidos de toxinas, sino que dependiente del perfil y contenido de toxinas.
- Las dos cepas de Los Lagos presentaron una baja concentración de toxinas, entre 39 y 47 fmol cél⁻¹, en tanto que aquellas de Magallanes mostraron un contenido medio entre 73 y 85 fmol cél⁻¹.

Estamos frente a una microalga que presenta perfiles toxicológicos diferentes y distintas cantidades de toxinas dependiendo de su origen geográfico. El Golfo de Penas parece ser un hito geográfico

HIPOTESIS 2:

Los genes responsables de la expresión de los distintos compuestos de la toxina paralizante de *Alexandrium catenella* se manifestarían diferencialmente dependiendo del origen geográfico de los taxones y los perfiles no estarían modulados primariamente por condiciones ambientales, sino por factores endógenos.

TERCER CASO

El Niño – La Niña, abundancia del fitoplancton total, abundancia de *A. catenella* y niveles de toxina paralizante en los mariscos:

Dos situaciones distintas:

- a) Situación en el extremo sur de los fiordos (área norte de la Magallanes): efectos por teleconexión (El Niño 1997-98) y**
- b) Situación en el extremo norte de los fiordos (región de Los Lagos, Isla de Chiloé): efectos directos (El Niño 2015-16)**

Efectos por teleconexión (El Niño 1997-98): región de Magallanes

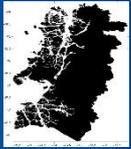
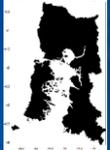
HIPOTESIS 3a:

- En el área norte de Magallanes, durante El Niño intensos (e.g. 1997-98) la abundancia del fitoplancton y de *A. catenella*, incrementaría, por aumento de la precipitación y de la T° del aire (y del agua superficial), determinando una mayor fusión de glaciares y un mayor aporte de nutrientes al medio marino. Ello estaría determinado por teleconexión de tipo atmosférica (climática).

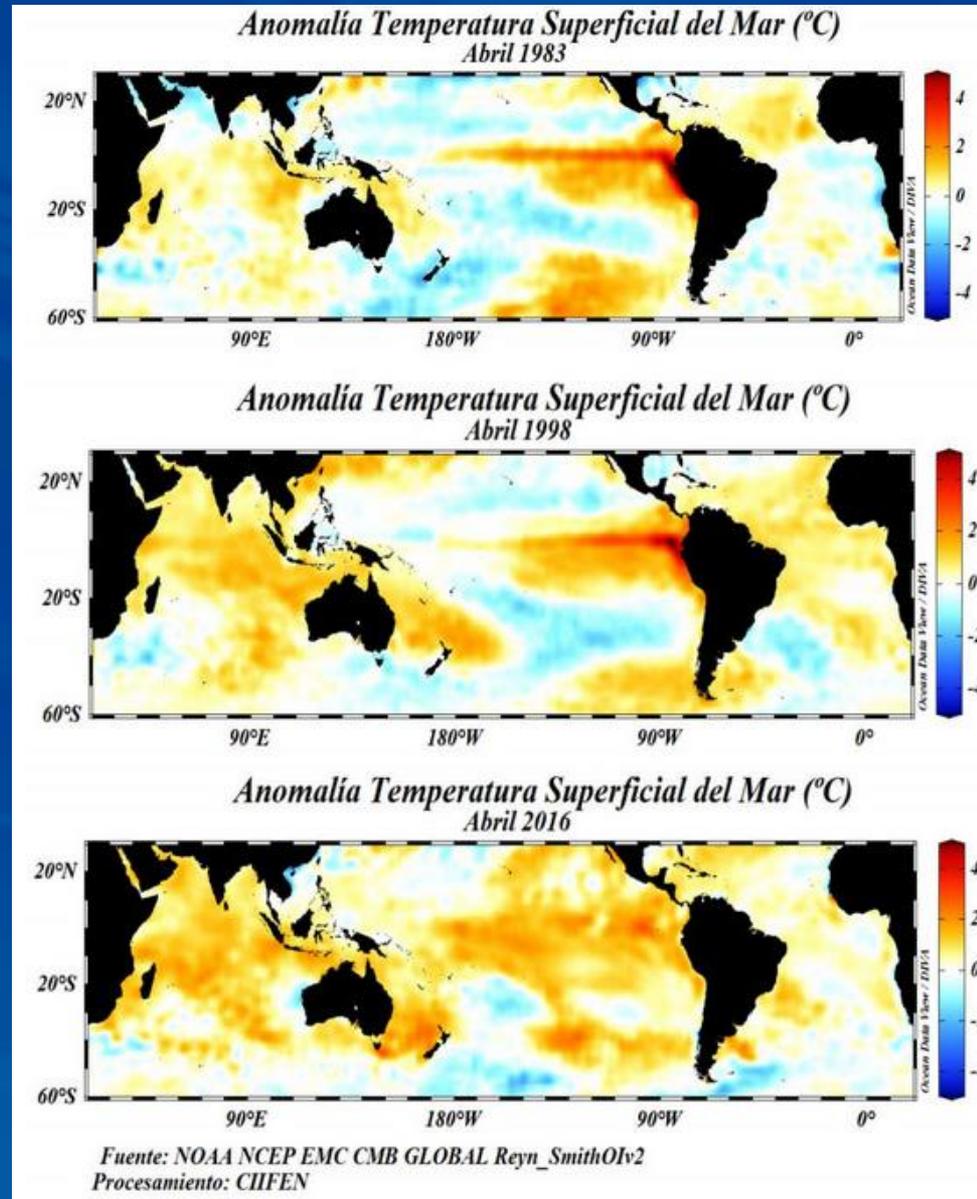
ENGRANAJES INTERCONECTADOS

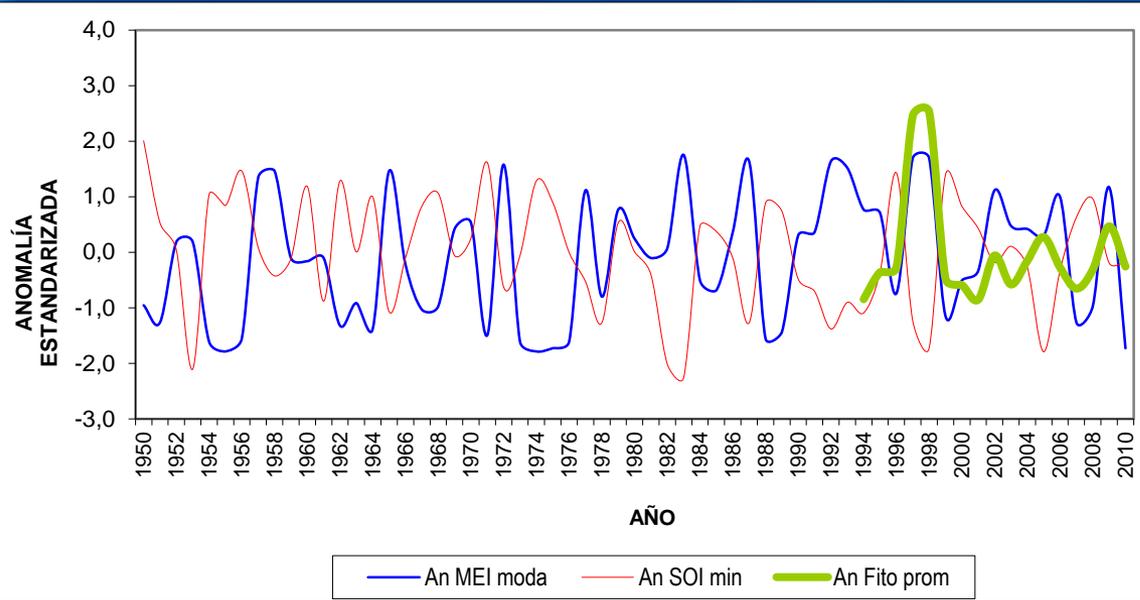


TELECONEXIONES



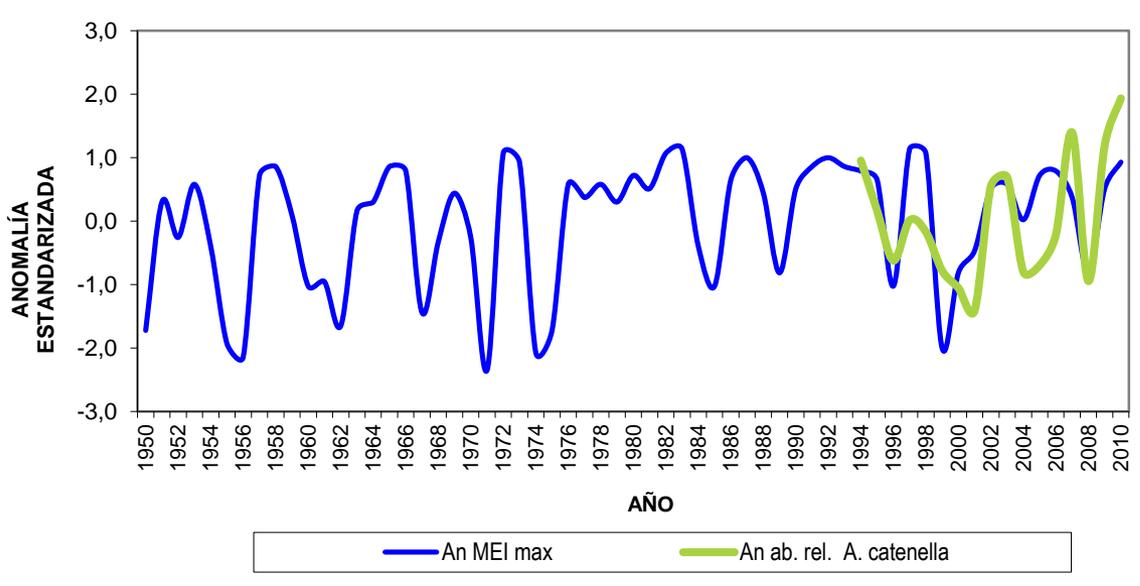
El clima, oceanografía y El Niño



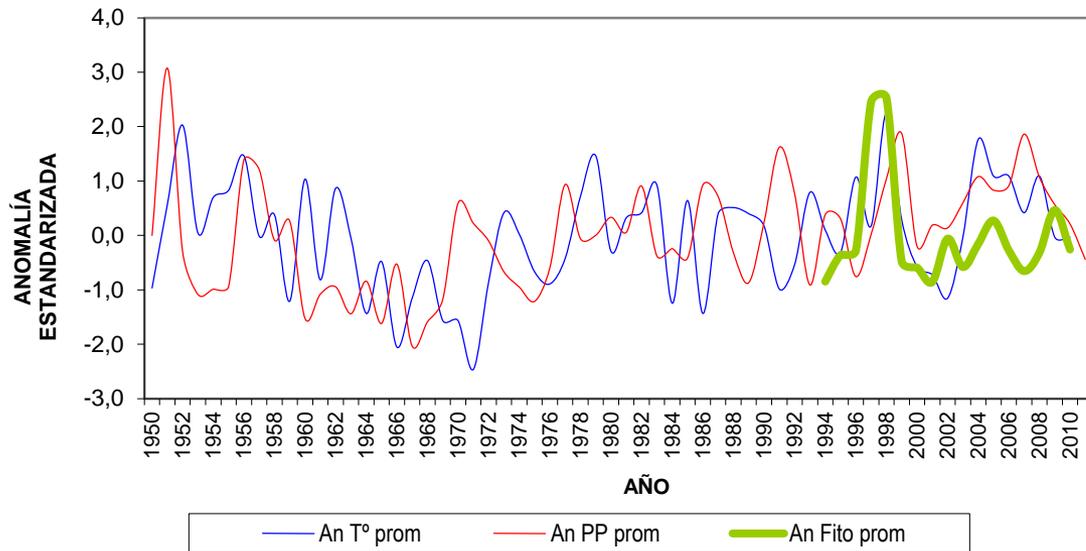


$$R_s \text{ MEI moda-Fito} = 0.60; \\ p = 0.007$$

$$R_s \text{ SOI min-Fito} = -0.28; \\ \text{NS}$$

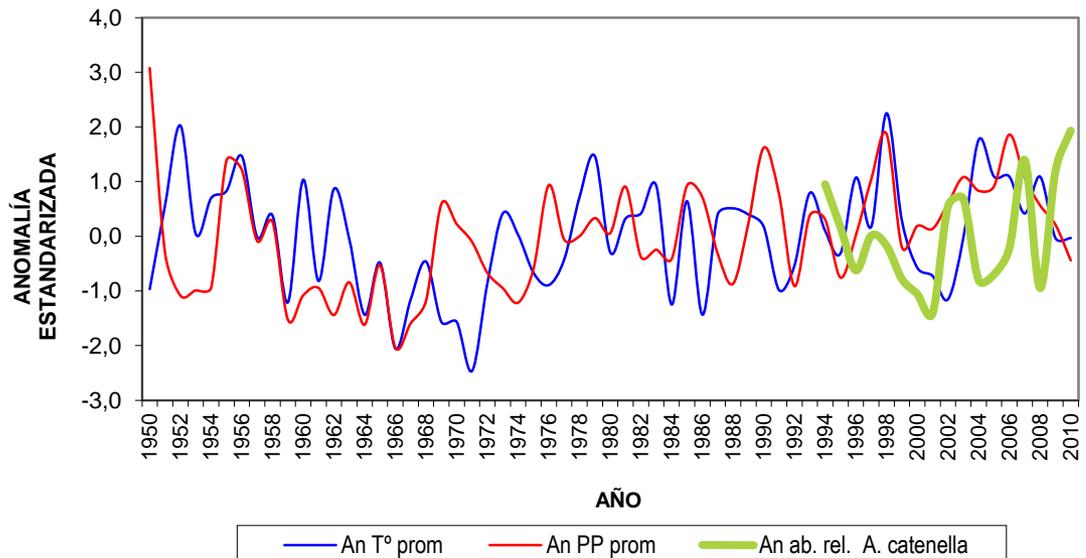


$$R_s \text{ MEI max- ab. Rel. A. catenella} = \\ 0.61; p = 0.007$$



$$R_{S \text{ pp prom-Fito}} = 0.43, p = 0.007$$

$$R_{S \text{ Taire } ^\circ\text{C prom-Fito}} = 0.48; p = 0.044$$



$$R_{\text{pp prom- ar } A. \text{catenella}} = 0.24, \text{ NS}$$

$$R_{\text{Taire } ^\circ\text{C prom -ar } A. \text{catenella}} = 0.001, \text{ NS}$$

¿Cuáles son los hechos?

- En el área norte de la región de Magallanes se aprecian correlaciones positivas entre las anomalías estandarizadas del índice MEI con la abundancia del fitoplancton ($P < 0.05$) y con la abundancia de *Alexandrium catenella* ($P < 0.05$).
- Las anomalías estandarizadas del nivel de precipitación registrado en Punta Arenas y el promedio de la abundancia del fitoplancton presentan una correlación significativa ($P < 0.05$), no así con la abundancia de *A. catenella* ($P > 0.05$).
- Las anomalías estandarizadas muestran que la T° del aire durante 1997-98 en Punta Arenas fue 1° más alta, y en bahía Pecket, Estrecho de Magallanes fue $0,9^{\circ}$ más alta.

HIPOTESIS 3a:

- En el área norte de Magallanes, durante El Niño intensos (e.g. 1997-98) la abundancia del fitoplancton y de *A. catenella*, incrementaría, por aumento de la precipitación y de la T° del aire (y del agua superficial), determinando una mayor fusión de glaciares y un mayor aporte de nutrientes al medio marino. Ello estaría determinado por teleconexión de tipo atmosférica (climática).

El Niño – La Niña, abundancia del fitoplancton total, abundancia de *A. catenella* y niveles de toxina paralizante en los mariscos:

Dos situaciones distintas:

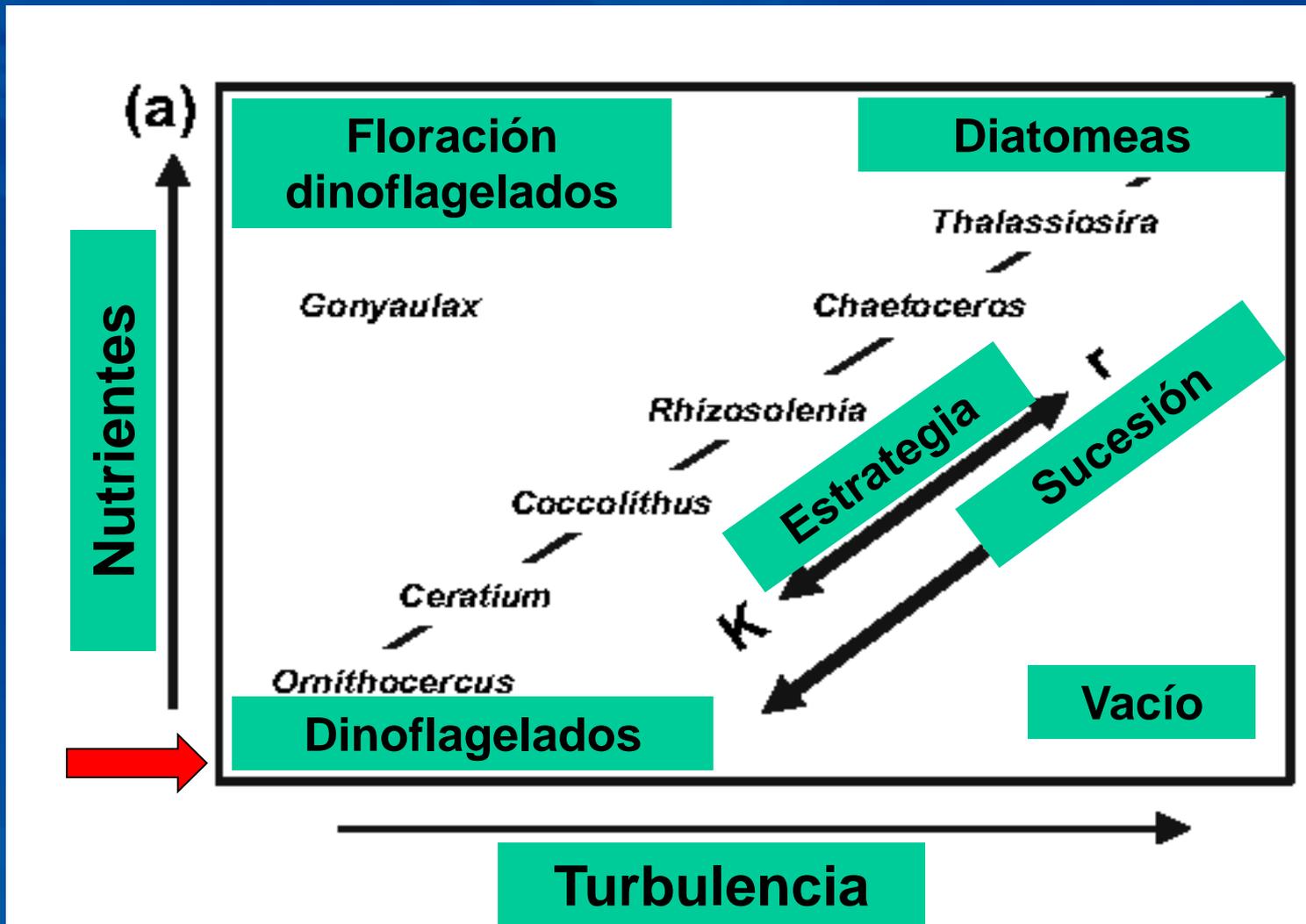
- a) Situación en el extremo sur de los fiordos (área norte de la Magallanes): efectos por teleconexión (El Niño 1997-98) y**
- b) Situación en el extremo norte de los fiordos (región de Los Lagos, Isla de Chiloé): efectos directos (El Niño 2015-16)**

HIPOTESIS 3b: floración de *Alexandrium catenella* 2016 por la costa expuesta al océano Pacífico

- 2015-16 El Niño (fase final)
- Centro Anticiclónico de Altas Presiones (desplazamiento hacia el sur)
- Inhibición del ingreso de frentes de mal tiempo, un verano benigno, alta irradiación, temperaturas más altas, periodo de calma, estabilidad de la columna de agua.
- Una mayor proporción de vientos del sur
- Surgencia costera, enfriamiento de aguas superficiales
- Enriquecimiento con nutrientes de las aguas costeras
- Alta productividad (Intensa floración de diatomeas)
- Relajación de la surgencia
- Sucesión fitoplanctónica
- Floración de *Alexandrium catenella* en la costa expuesta al océano Pacífico, ingreso desde el norte de Aysén y sur de Chiloé
- Transporte hacia el norte de *A. catenella* por procesos advectivos

MANDALA OF MARGALEF

MANDALA DE MARGALEF



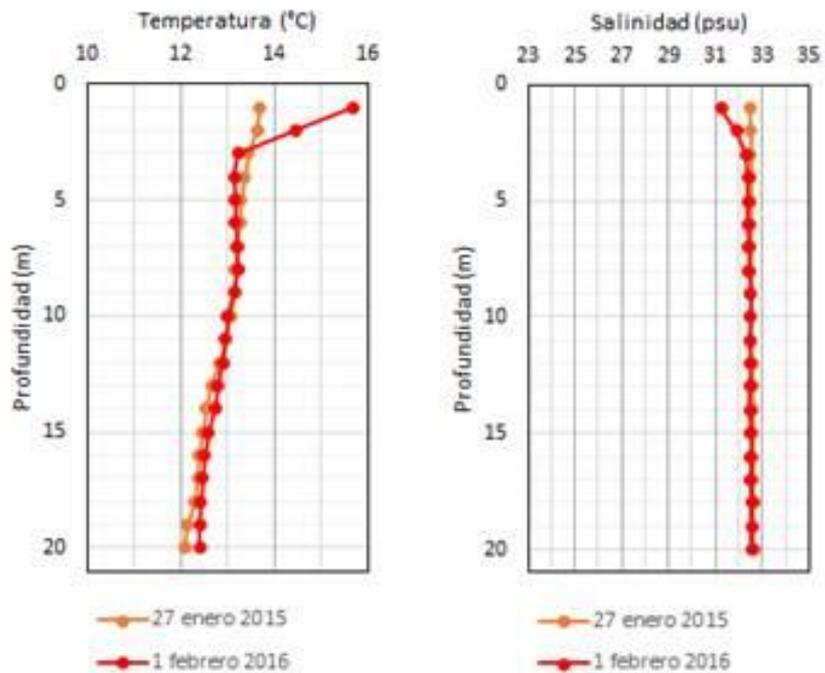
CENTRO ANTICICLÓNICO DE ALTAS PRESIONES

ENOS: EL NIÑO OSCILACIÓN DEL SUR

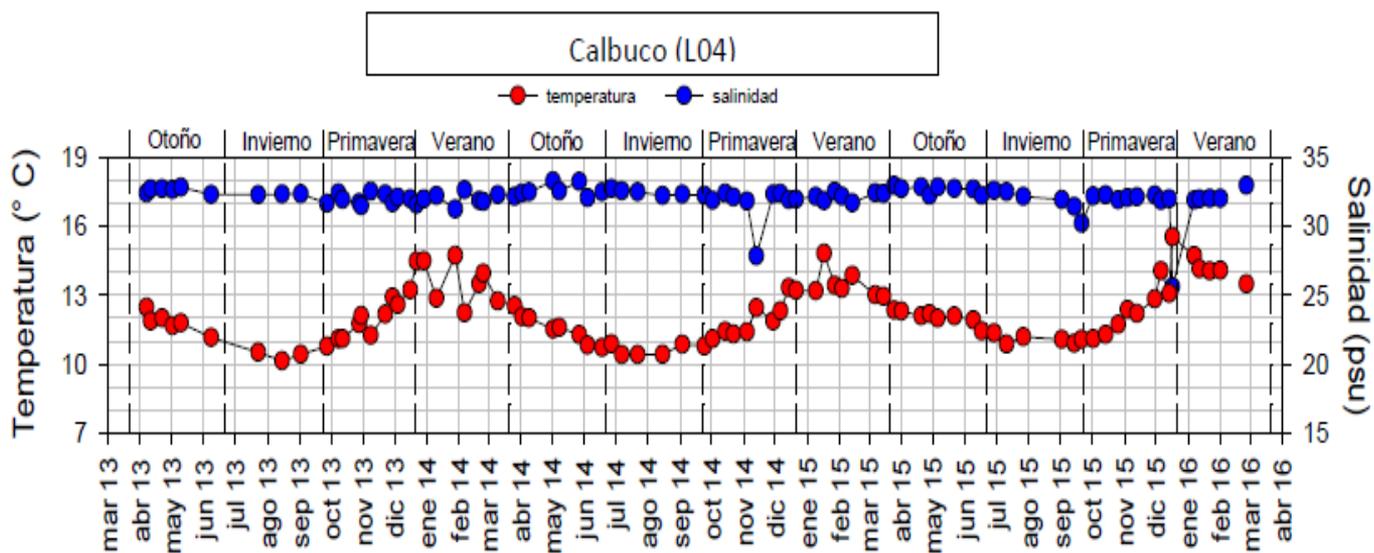
PERÍODOS NO ENOS

ENOS 2015-16

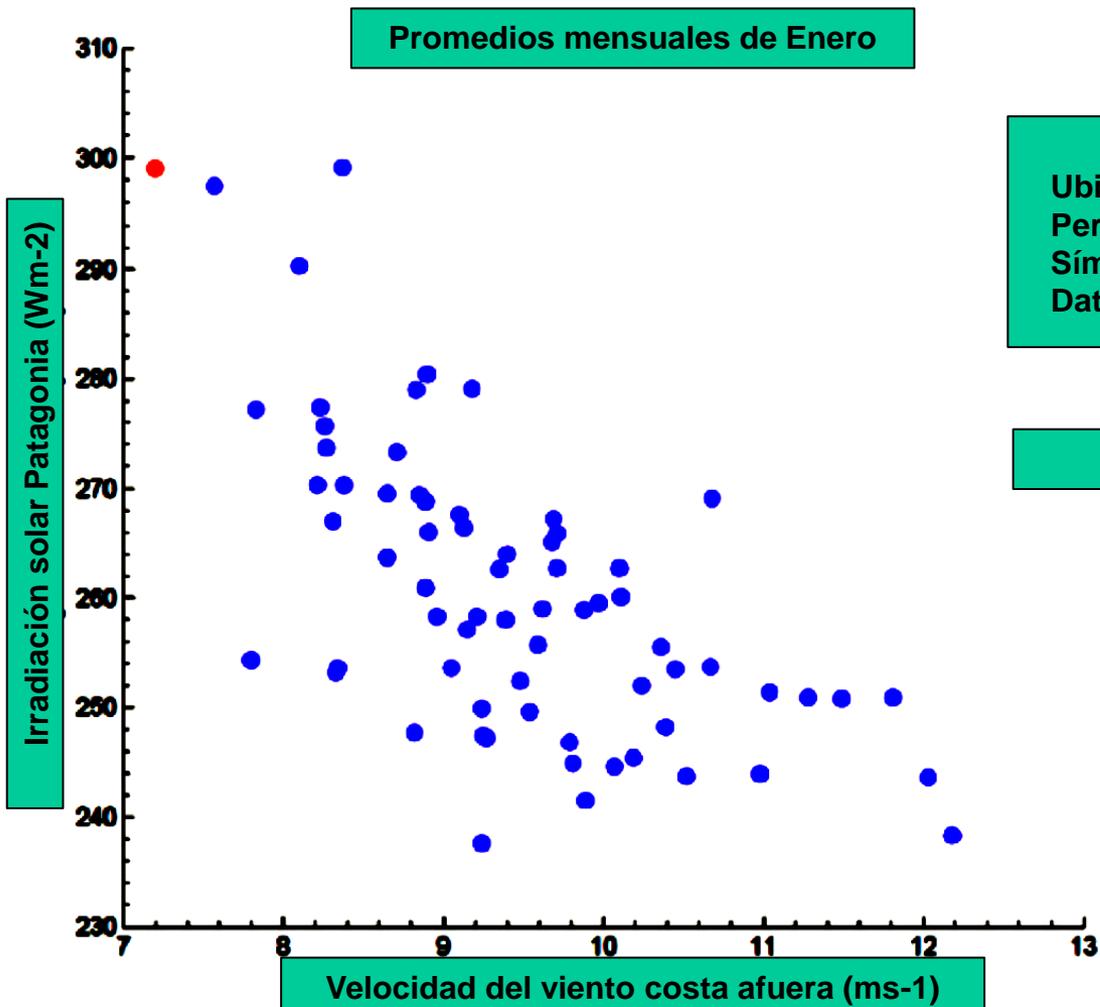




CALBUCO

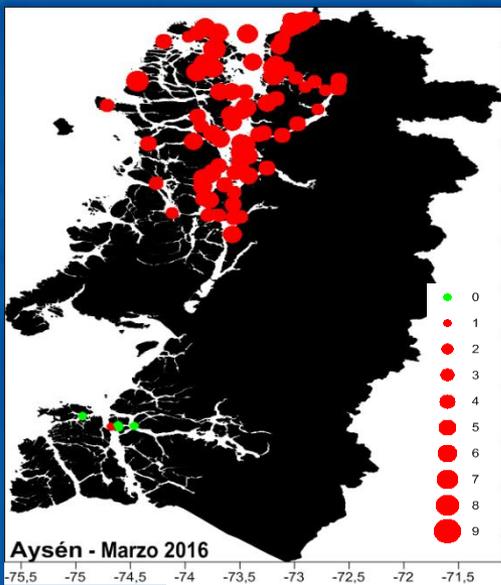


Intensidad del viento e irradiación solar

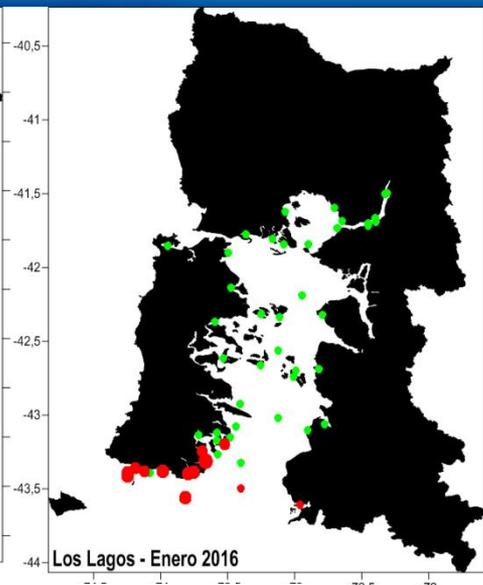


Ubicación -45°S -75° W
Período 1948-2016
Símbolo rojo es Enero de 2016
Datos: re-análisis NCEP-NCAR

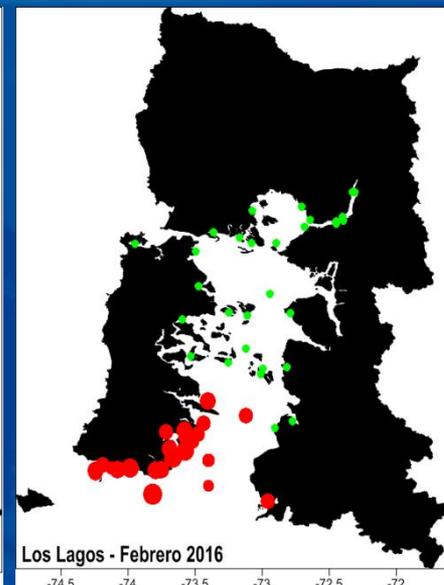
Figura de R. Garreaud



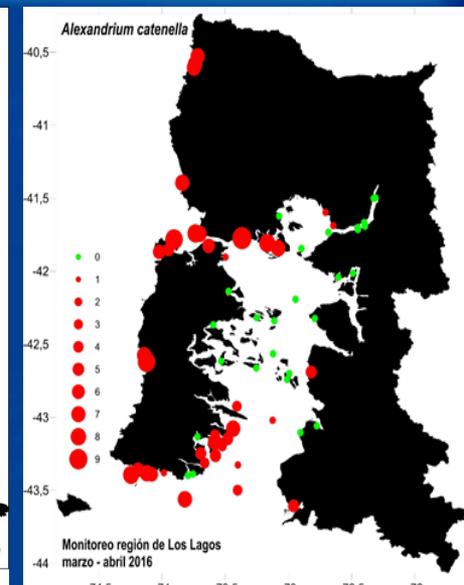
Aysén - Marzo 2016



Los Lagos - Enero 2016

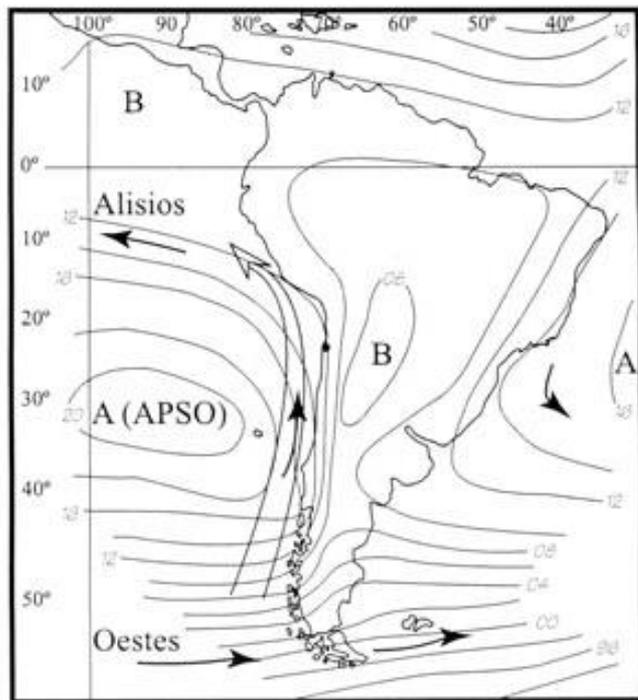


Los Lagos - Febrero 2016

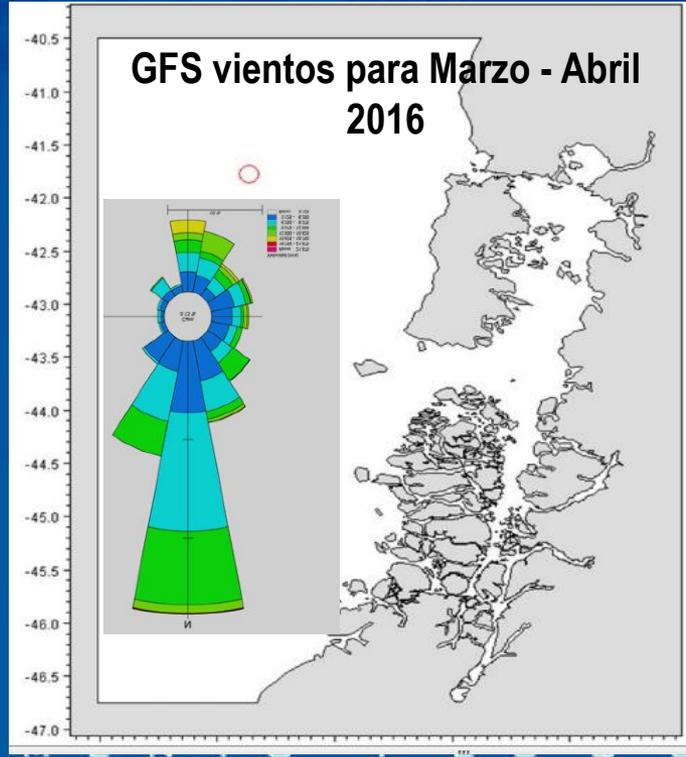


Alexandrium catenella

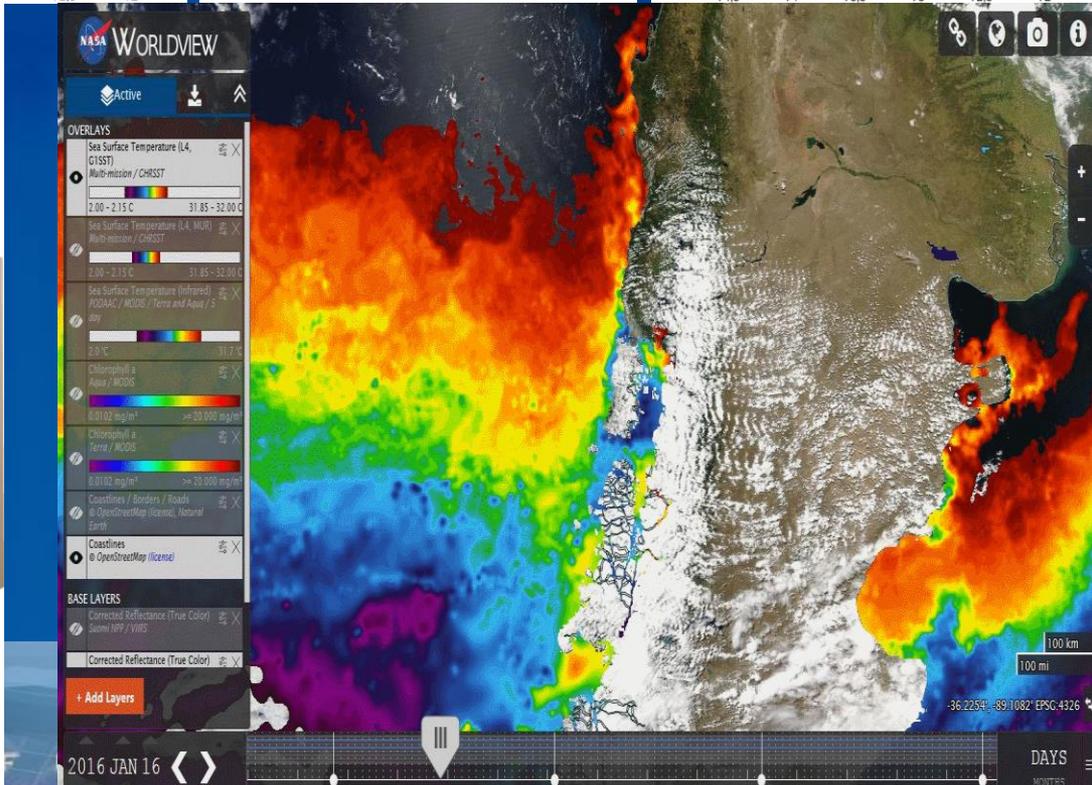
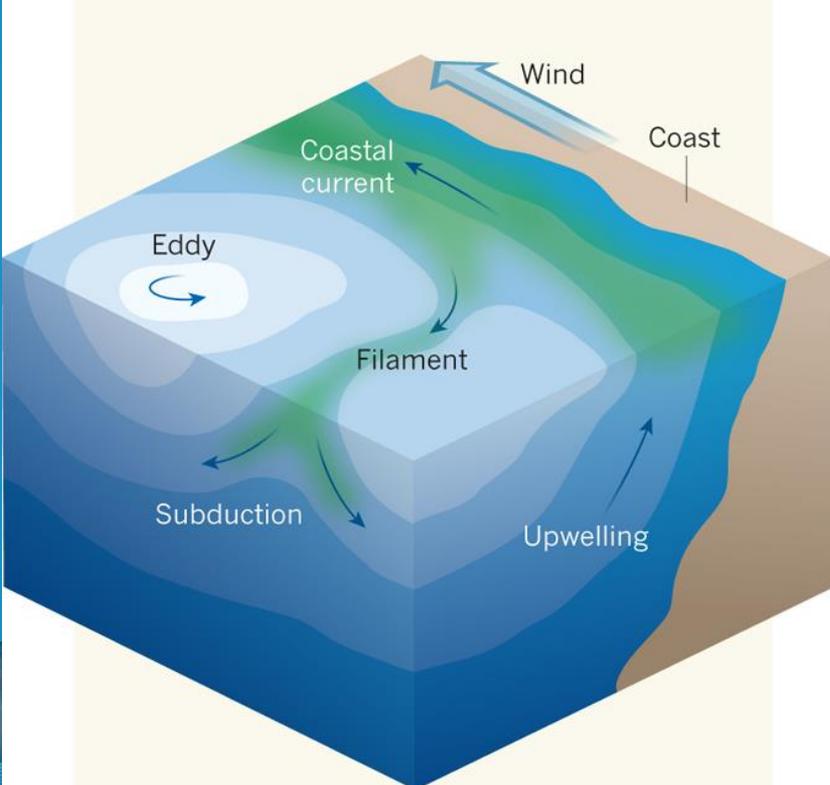
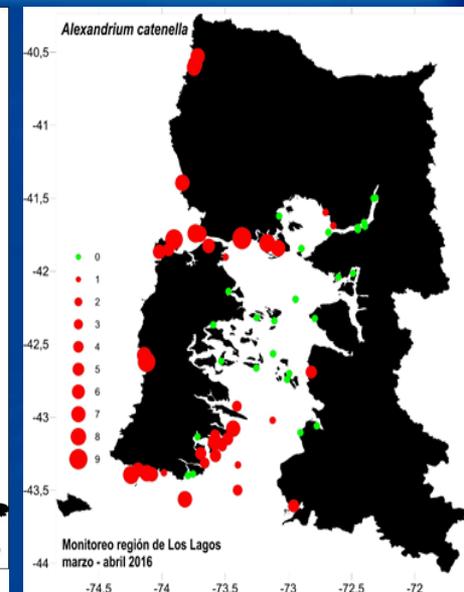
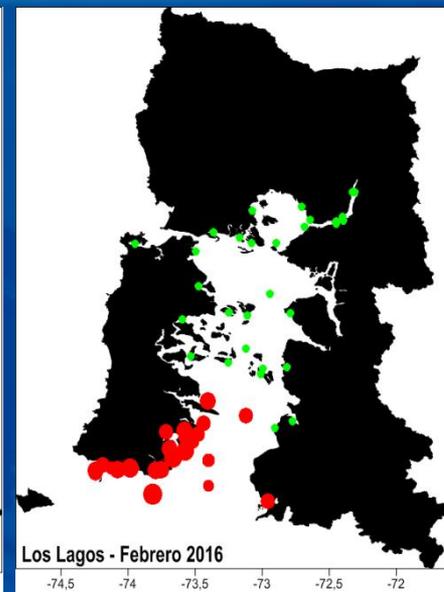
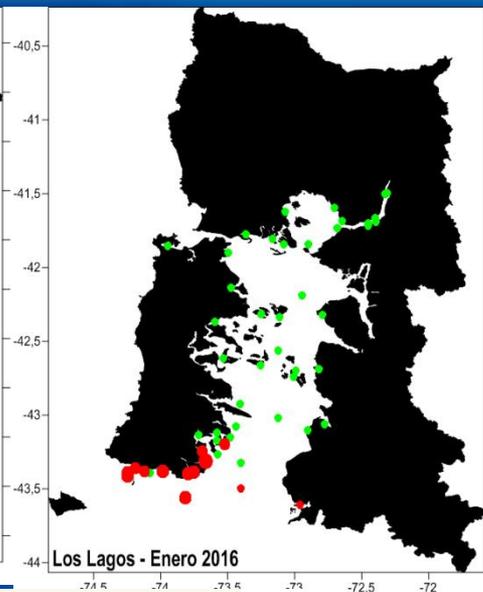
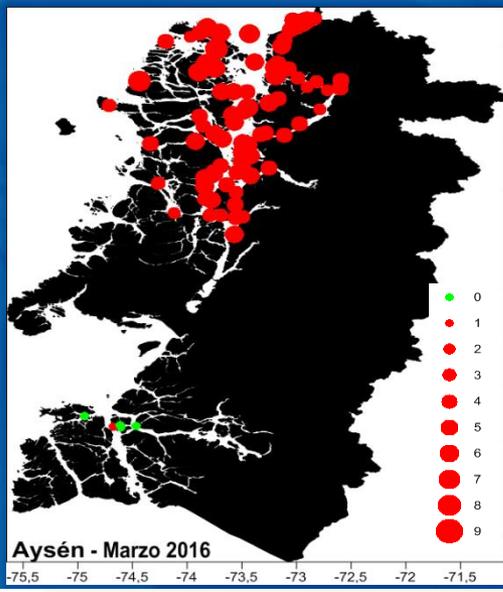
Monitoreo región de Los Lagos marzo - abril 2016



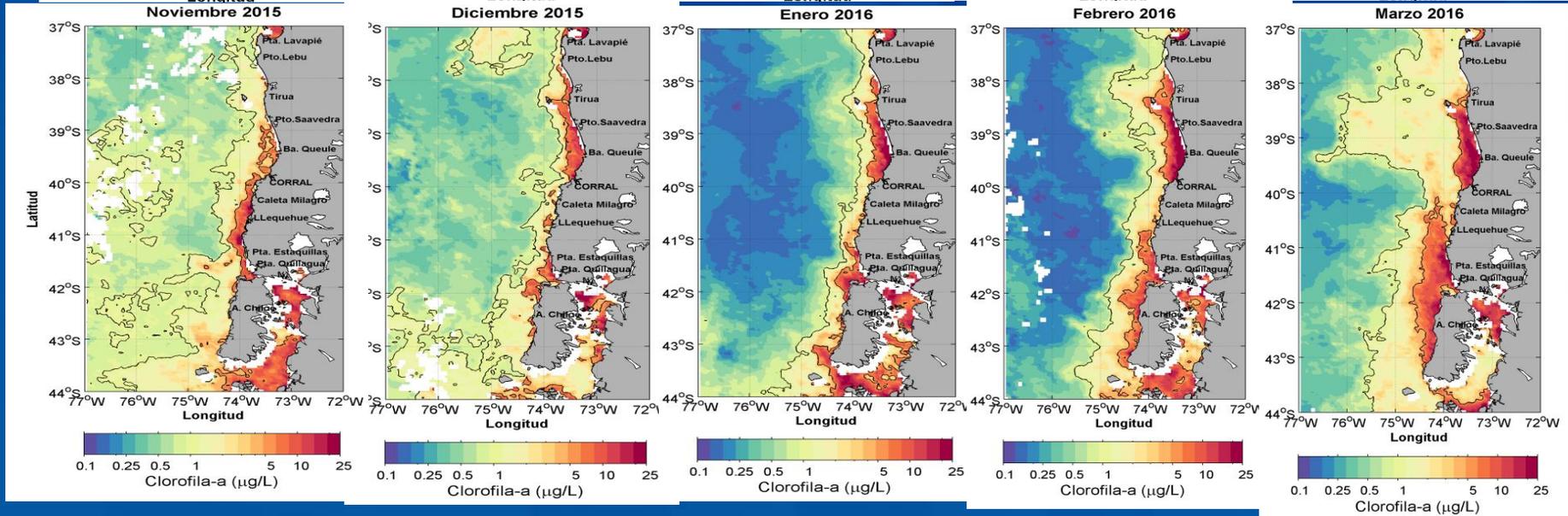
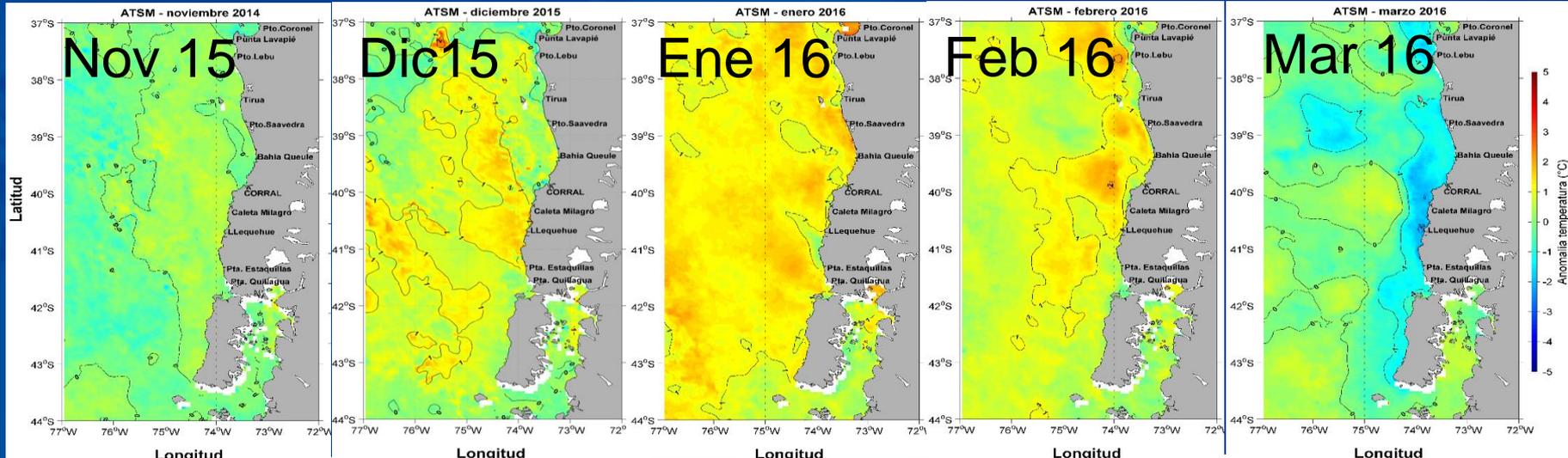
b: Verano



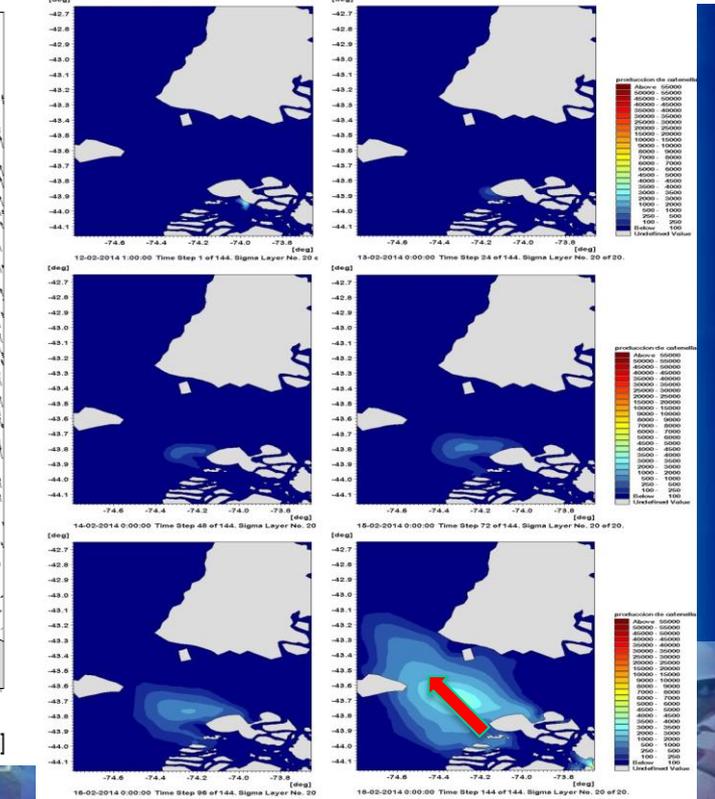
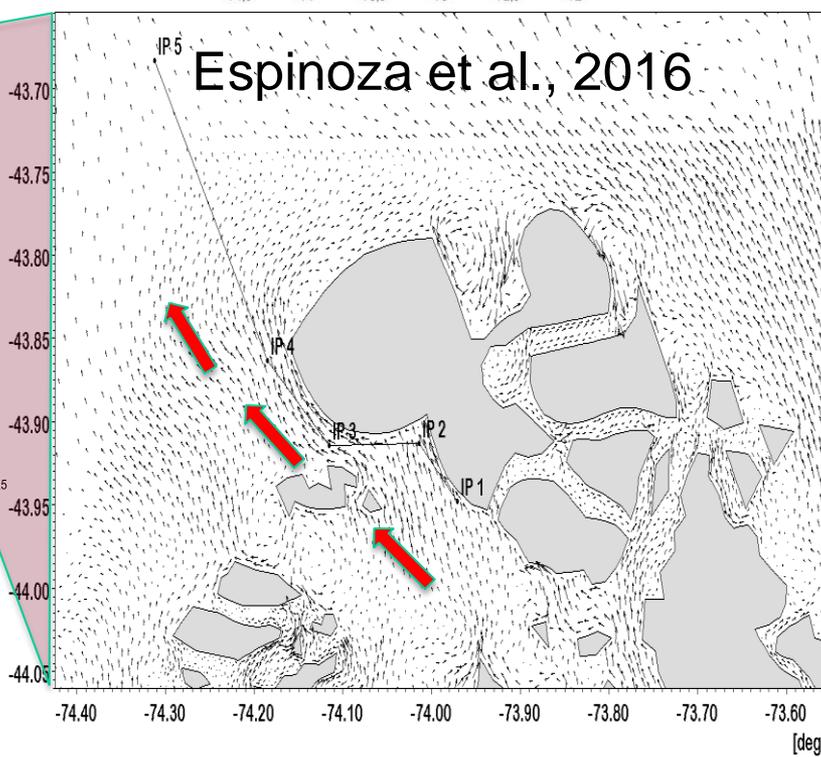
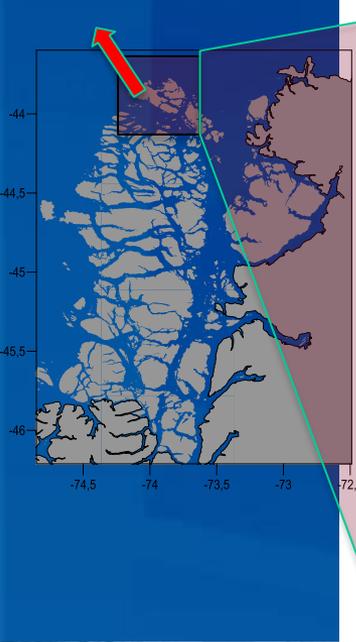
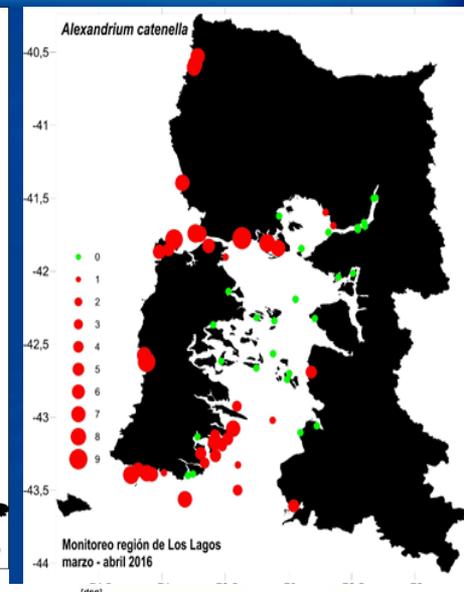
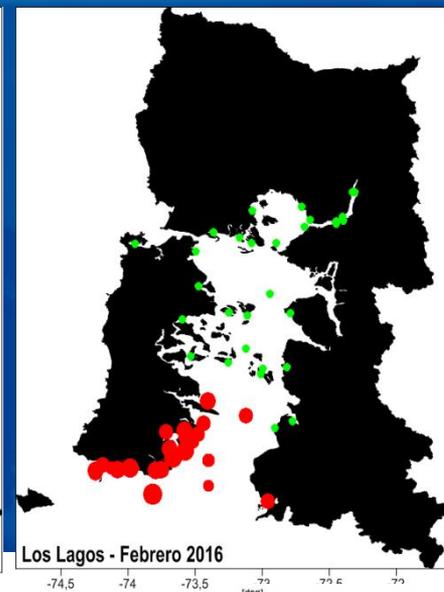
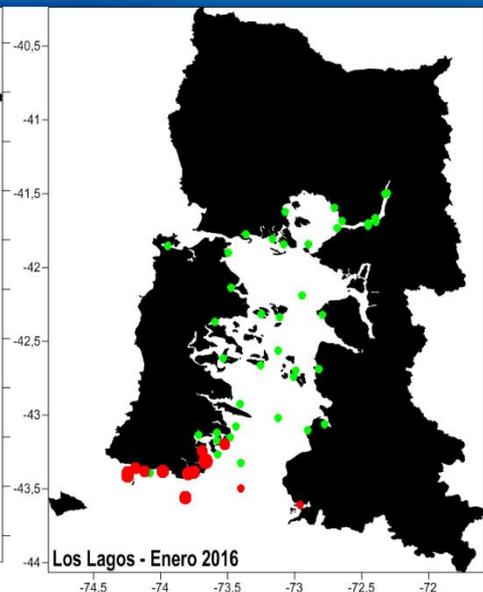
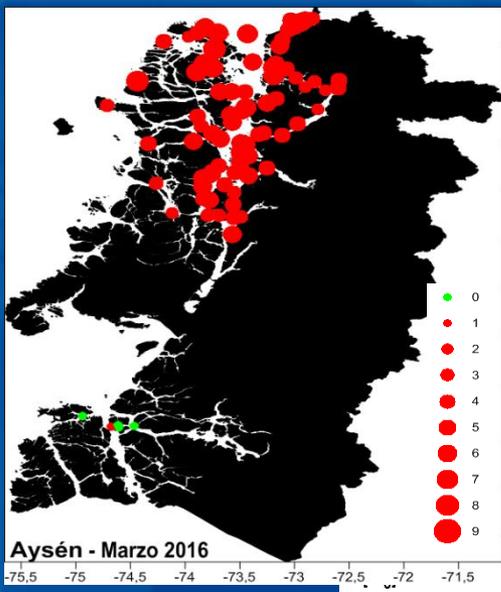
GFS vientos para Marzo - Abril 2016



EVIDENCIAS AMBIENTALES QUE GATILLAN FAN



Anomalías positivas de TSM generadas por El Niño durante el verano, evidencian mayor radiación solar, menor precipitación, estabilidad en la columna de agua. A partir de marzo la surgencia costera mantiene la alta productividad. Se generan condiciones favorables para una floración nociva.



ENOS 2015-16 (El Niño)

CENTRO ANTICICLÓNICO DE ALTAS PRESIONES
(desplazamiento hacia el sur)

INHIBICIÓN DEL INGRESO DE FRENTES DE MAL TIEMPO
(un verano benigno: alta irradiación, temperaturas más altas, estabilidad de la columna de agua, vientos menos intensos, pero aumenta proporción de vientos del sur)

SURGENCIA COSTERA
(Enfriamiento de las aguas de las capas superficiales, Enriquecimiento con nutrientes de las aguas costeras)

ALTA PRODUCTIVIDAD
(Intensa floración de diatomeas, alta producción actual)

RELAJACIÓN DE LA SURGENCIA

SUCESIÓN FITOPLANCTÓNICA

En la fase final de la sucesión

FLORACIÓN DE *A. catenella* EN LA COSTA EXPUESTA AL OCÉANO PACÍFICO
(y luego, la microalga es transportada hacia el norte por procesos advectivos)

HIPÓTESIS FLORACIÓN 2016

MANDALA OF MARGALEF



Leonardo Guzmán Méndez
Oscar Espinoza González
Pamela Carbonell Arias
Rodrigo Martínez González
Valentina Besoain Meneses
Jorge Mardones Sánchez
Gemita Pizarro Nova
Elías Pinilla Matamala
Ximena Vivanco Tapia
María José Calderón Nash
Loreto López Rivera
Luis Iriarte Bustamante
Verónica Muñoz Ojeda
Hernán Pacheco Valle
Cesar Alarcón Zapata
Carolina Toro Ruiz
María Fernanda Cornejo Acevedo
Julia Cáceres Chamizo
Gissela Labra Holzapfel
Mauricio Palma Alarcón
Héctor Tardón Sepúlveda
Lorena Ramirez Epple
Karen Correa Sepúlveda

MUCHAS GRACIAS

Nicole Pesse Lastra

Roberto Raimapo Raimapo
Adán Navarro Vera
Pedro Calabrano Miranda
Raúl Hernández Torres
Jorge Toro Mancilla
Manuel Moya Vega
César Loncón Lemus
Patricio Salas Salas
Sergio Martínez Sistac
José Ojeda Millaldeo

MUCHAS GRACIAS