

PROYECTO FIP N° 2014-76

“MODELO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO Y VIGILANCIA DE MAREA ROJA AL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA DE LA SUBSECRETARIA DE PESCA Y ACUICULTURA”

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y establecer un sistema automatizado para la visualización espacio-temporal del seguimiento de Florecimientos de Algas Nocivas (Mareas Rojas), utilizando como fuente principal los datos provenientes del Programa de Manejo y Monitoreo de las Mareas Rojas ejecutado por el IFOP, que sea compatible con el Sistema de Información Geográfica implementado por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1. Diseñar e implementar un modelo de sistematización de información compatible con el Sistema de Información Geográfica implementado en la SUBPESCA, orientado al seguimiento automatizado de ocurrencia de un FAN, considerando los rangos de corte de abundancia relativa establecidos en el REPLA.*
- 2. Diseñar e implementar un modelo metodológico de análisis geoespacial que relacione las variables biológicas, oceanográficas y meteorológicas recogidas por el Programa de Marea Roja que permita prospectar la ocurrencia de FAN y estimar el área de influencia de estos.*
- 3. Complementar y contrarrestar la información de las variables oceanográficas de las estaciones de muestreo a través del uso de imágenes multiespectrales.*
- 4. Proporcionar extensiones compatibles con el actual Sistema de Información Geográfica y otras herramientas tecnológicas para el desarrollo práctico del modelo solicitado.*
- 5. Asesorar en la creación de productos cartográficos relacionados con la temática de estudio para su publicación como servicio de mapa en el Visualizador Institucional.*
- 6. Instalar las capacidades técnicas en los profesionales que serán los responsables de administrar y procesar el sistema de automatización solicitado.*

RESUMEN

Se construyó (conceptual y flujo) un modelo de sistematización de información compatible con el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGIS implementado en la SUBPESCA, orientado al seguimiento automatizado de ocurrencia de FAN, considerando los rangos de corte de abundancia relativa establecidos en el REPLA. Primero, SUBPESCA hizo la entrega de las planillas de datos en formato Excel (*.xls) del Programa de Marea Roja el 29 de Diciembre de 2014, las que corresponden a información biológica y ambiental mensual de 88 estaciones de muestreo de la X y XI Regiones que abarcan el período 2006 al 2013. Las planillas fueron estructuradas y normalizadas y se elaboraron planillas Excel normalizadas para cada una de las variables por crucero. En este informe se entregan en DVD las planillas Excel normalizadas. La abundancia relativa y densidades corresponden a las principales especies más nocivas como *Alexandrium catenella*, *Dinophysis acuminata* y *Dinophysis acuta*. El modelo REPLA es un conjunto de modelos generados para trabajar ciertas variables biológicas y ambientales de interés indicadas por parte de los profesionales de SUBPESCA en las Reuniones de coordinación. Se entrega el modelo conceptual REPLA y los diagramas de flujo de los modelos de las variables de interés. Las variables corresponden a: abundancia relativa para *Alexandrium catenella*, *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis acuta*, temperatura ambiente, temperatura del mar, clorofila, salinidad, viento (dirección y velocidad) y toxinas (VDM, VAM, VPM). El modelo REPLA se desarrolla como un Toolbox del SIG ArcGIS que integra dentro de su estructura los modelos de espacialización de los datos de las diversas variables independientes entre sí. Para esto se considera una estructura propia para las bases de datos de entrada de cada variable y que cada modelo opere sobre la referencia espacial de las estaciones de monitoreo (shape entregado por SUBPESCA) generadas en el proceso de revisión de datos. Se elaboraron los modelos en la plataforma ModelBuilder de ArcGIS. El modelo contempla la entrada de los datos mediante una planilla Excel en formato *.xls los cuales deben ser ingresados de acuerdo a los datos de interés y al modelo específico a trabajar. De este modo, la herramienta dispone de funciones que generan a partir de los datos de las variables dos posibles archivos de salida: vectores o ráster. Las salidas vectoriales se encuentran asociadas a la representación puntual de las variables mientras que las salidas ráster consideran la interpolación de los datos puntuales con técnicas geoestadísticas como el

Ordinary Kriging que utiliza un modelo de semivariograma para la obtención de datos. De esta manera se construyó un modelo conceptual de cómo se integran las bases de datos proporcionadas por el programa y cómo migrar la información desde un archivo Excel a una representación digital y espacial adecuada de las mismas en el SIG ArcGIS compatible con el visualizador institucional. Con las salidas del modelo REPLA se desarrollan productos cartográficos.

Se procesaron las diversas tablas de datos del Programa de Monitoreo de Marea Roja (PMMR) entregadas por SUBPESCA para el período 2006 a 2013, las cuales fueron estructuradas, concatenadas, integradas y depuradas para dejarlas en el formato necesario para hacer los análisis estadísticos y modelos multivariados de relaciones biológicas y ambientales. Estos modelos matemáticos geoespaciales de pronóstico de ocurrencia de FAN, se basan en las relaciones estadísticas entre la abundancia de especies de algas nocivas tóxicas y concentración de toxinas con variables ambientales predictoras como temperatura, salinidad, concentración de clorofila, oxígeno disuelto del agua y velocidad del viento. El modelo se conceptualiza en un diagrama que detalla los mayores factores ambientales que determinan la ocurrencia de FAN y características de las zonas marinas (estuarios, fiordos, canales, islas) de la X-XI Regiones. Se presenta como resultado el enfoque metodológico paso a paso para la modelación multivariada de relaciones con dos enfoques estadísticos innovadores como las redes neuronales artificiales (RNA) para series temporales y modelos generalizados (GAM: generalised additive models, GLM: general linear models) para series espacio-temporales utilizando los datos históricos del PMMR estructurados al formato necesario. Dado que no existen series temporales continuas por estación y éstas presentaron muchos vacíos o baches de información, se identificaron las estaciones más representativas y se agruparon para construir series temporales continuas y robustas. Para identificar estas estaciones, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) de la abundancia relativa de *Alexandrium catenella* de las distintas estaciones de muestreo. El ACP muestra muy bien la separación de las estaciones por región, agrupando las estaciones de Los Lagos en los componentes 1 y 4 y las de Aysén en los componentes 2 y 3. Dado lo anterior se desarrollan 2 modelos RNA de abundancia relativa de *A. catenella*, uno para la Región de Aysén y otro para la Región de Los Lagos. Después de los análisis previos de los datos (correlación bivariada, ACP, correlaciones

cruzadas) se construyeron y validaron los modelos RNA para la Región de Aysén y Los Lagos. Para Aysén se seleccionó el modelo con una arquitectura 4:05:1; es decir, 4 nodos en la capa de entrada, 5 nodos en la capa oculta y 1 nodo en la capa de salida. Las variables predictoras utilizadas para la modelación fueron oxígeno disuelto0-10, temperatura0-10, salinidad0-10, clorofila0-10 y magnitud de vientos. La validación externa entre la abundancia observada y la estimada para Aysén indicaron una relación con un $R^2 = 0.69$. Para Los Lagos se ajustó un modelo RNA con un diseño 5:03:1, utilizando las mismas variables predictoras y logrando una relación entre el observado y el valor pronosticado igual a R^2 de 0.55. Se desarrolló una semiautomatización de los modelo RNA indicando el paso a paso y utilizando como plan piloto las series temporales ambientales y de abundancia hasta Octubre 2013 con el fin de pronosticar la abundancia para Noviembre 2013 (Mes "0"). Al comparar lo pronosticado con lo observado en noviembre 2013 se pudo observar bajas diferencias demostrando una buena respuesta del modelo.

Utilizando las series espacio-temporales del PMMR se desarrollaron 4 modelos generalizados, uno para abundancia absoluta de *A. catenella* y 3 de abundancia relativa (*A. catenella*, *D. acuminata* y *D. acuta*). Los datos ambientales incluyeron mes, latitud, longitud, oxígeno disuelto0-10, temperatura0-10, salinidad0-10, clorofila0-10 y magnitud de vientos. En la primera fase de la modelación multivariada de series espacio-temporales realizadas en este proyecto o plan piloto, se usaron los modelos GAM como herramienta exploratoria para identificar las relaciones funcionales entre abundancia y ambiente. Estas relaciones fueron parametrizadas usando GLM para proveer de una herramienta robusta de predicción. Con este enfoque de modelación, las variables ambientales explicaron el 37.4% de la variación de la abundancia absoluta de *A. catenella*, 30.6% de la abundancia relativa de *A. catenella*, 35.8% de la abundancia relativa de *D. acuminata* y 49.6% de la abundancia relativa de *D. acuta*. Los modelos consideran como inputs la información temporal (mes), geográfica o espacial (latitud, longitud) y las salidas de variables interpoladas del modelo REPLA como clorofila a 0-10 m, temperatura 0-10 m, salinidad 0-10 m, oxígeno disuelto 0-10 m y la magnitud del viento. La automatización de los modelos se basó en la elaboración de 3 herramientas o Toolbox (Pred_AR_catenella.tbx, Pred_AR_acuminata.tbx y Pred_AR_acuta.tbx) en ArcGIS, que

integran dentro de su estructura los modelos y ecuaciones de predicción de abundancia relativa de *A. catenella*, *D. acuminata* y *D. acuta* en función de variables predictoras.

Se presenta como resultado el enfoque metodológico paso a paso necesario para la adquisición, procesamiento y generación de productos ambientales de imágenes MODIS, VIIRS y LANDSAT8. Se procesaron con los softwares SEADAS 7.1 y ENVI 5.2 un total de 305 imágenes MODIS, 88 VIIRS y 13 LANDSAT8. Se realizó un análisis comparativo entre las imágenes de clorofila MODIS/VIIRS de 2012 con la información de los muestreos del PMMR aplicando la extensión Spatial Analyst de ArcGIS 10.2. El análisis comparativo de clorofila *a* para el año 2012 demostró que los valores de clorofila satelital son mayores a los observados por los cruceros del PMMR. Sin embargo, al considerar sólo los valores menores a 10 mg/m^3 se rescatan 66 datos obteniéndose el mejor ajuste ($R^2 = 78.8\%$) entre la clorofila satelital MODIS/VIIRS y la clorofila *in situ* promedio entre 0 y 10 m. Se explora la estimación de parámetros ambientales de imágenes LANDSAT8 OLI/TIRS, obteniéndose buenos ajustes (R^2) en las simulaciones de productos como batimetría, clorofila y temperatura superficial del mar. Se realizó un análisis comparativo entre las imágenes LANDSAT 8 y las imágenes MODIS/VIIRS. El análisis comparativo de temperatura superficial del mar para el 2012 demostró que los valores LANDSAT8 son mayores a los registrados por MODIS. Los datos extraídos se ordenaron y se eliminaron los registros anómalos que están asociados a nubosidad (considerando una máscara). Con los datos filtrados se obtuvo un buen ajuste ($R^2 = 0.79$) entre la temperatura del sensor MODIS AQUA L2 y el sensor LANDSAT 8 OLI.

El 15 de enero se adquieren a ESRI Chile las extensiones ArcGIS: Spatial Analyst, Geostatistical y Tracking Analyst. El 23 de enero se reciben las extensiones y se envían y reciben en la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Adicionalmente, el 10 de marzo se adquieren a ESRI Chile la licencia del software ENVI 5. El 13 de marzo se recibe el software y se envía y recibe en la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

El Modelo REPLA en el cual se generan los productos de información en formato vectorial (puntos) y ráster (Raster dataset), tienen como salida los distintos productos cartográficos que se integran a la Geodatabase de la Unidad de Acuicultura de SUBPESCA, específicamente

la Unidad de Ordenamiento Territorial. Así mismo, en las distintas reuniones de coordinación que se desarrollaron en la ejecución de este proyecto se estipularon los formatos de salida de la cartografía del REPLA (en especial los ráster). Se desarrollaron e implementaron productos cartográficos para el visualizador WMS institucional, actualmente vía Intranet debido a que la visualización vía Internet está en etapa de desarrollo por una consultora externa. Además, se desarrollaron e implementaron productos cartográficos en ArcMap para una visualización e impresión vía desktop, para ello se acordaron los estándares respecto de la representación cartográfica de las distintas variables. Finalmente y debido a la falta de licencia para la subida de archivos ráster al visualizador institucional, se desarrollaron e implementaron productos cartográficos ráster en una plataforma o aplicación Web generada a partir de ArcGis Online.

El curso de capacitación "Análisis espacial de datos geográficos para el monitoreo de recursos naturales del medio ambiente marino" se diseñó y coordinó en conjunto con la Unidad de Ordenamiento Territorial de la División de Acuicultura de SUBPESCA. Para tal efecto, se realizaron dos reuniones, una de presentación y coordinación del proyecto y otra donde se presentó y consensuó el programa final del curso. El curso impartido contempló 50 horas presenciales, 10 alumnos y contiene 6 unidades temáticas (expositiva y de laboratorios computacionales) repartidas en 13 semanas con clases los días miércoles o viernes en la mañana, partiendo el viernes 13 de marzo y terminando el 5 de junio. La capacitación fue realizada en forma exitosa durante las 13 jornadas contando con el soporte del Aula Virtual de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (<http://fc.aulavirtualpucv.cl/>), lo que permitió potenciar las prácticas educativas y los procesos de enseñanza y aprendizaje con el uso de tecnologías TICs con el objetivo de incorporar espacios virtuales como apoyo al curso y como una garantía de soporte por 3 meses después de terminado el proyecto. Se elaboró en formato PDF el Manual de Capacitación. El curso fue certificado y se entregaron los certificados a los alumnos aprobados (de los 10 alumnos 8 aprobaron el curso).