

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**DINÁMICA DE PARTÍCULAS DERIVADAS DE LAS ACTIVIDADES  
ANTRÓPICAS EN LOS FIORDOS DE LA REGIÓN DE AYSÉN, CHILE.**

**JOSÉ JAVIER NAIM ALLEL PASTENE**

Santiago, Chile  
2019

**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**ESCUELA DE PREGRADO**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**DINÁMICA DE PARTÍCULAS DERIVADAS DE LAS ACTIVIDADES  
ANTRÓPICAS EN LOS FIORDOS DE LA REGIÓN DE AYSÉN, CHILE.**

**DYNAMICS OF PARTICLES DERIVED FROM ANTHROPIC ACTIVITIES IN  
THE FJORDS OF THE REGION OF AYSÉN, CHILE.**

**JOSÉ JAVIER NAIM ALLEL PASTENE**

Santiago, Chile  
2020

**UNIVERSIDAD DE CHILE**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

**DINÁMICA DE PARTÍCULAS DERIVADAS DE LAS ACTIVIDADES  
ANTRÓPICAS EN LOS FIORDOS DE LA REGIÓN DE AYSÉN, CHILE.**

Memoria para optar al Título Profesional de:  
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

**JOSÉ JAVIER NAIM ALLEL PASTENE**

**Profesores Guías**

Sr. Cristian Mattar Bader

Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, M.S.c., Ph.D.



5,8

**Profesores Evaluadores**

Sr. Jurij Wacyk G.

Ingeniero Agrónomo M.S.c., Ph.D.



5,5

Sr. Ricardo Pertuzé C.

Ingeniero Agrónomo, Ph. D.

5,6

**Santiago, Chile  
2020**



## AGRADECIMIENTOS

Esta tarea no hubiera sido posible sin mi familia, la cual desde un principio se puso la camiseta para poder ayudarme en lo que ellos pudieran, y no ser un esclavo durante todo el tiempo que pase en mi casa realizando la memoria. Sin ellos no podría estar donde estoy en estos momentos, mis agradecimientos por ellos jamás podrán ser plasmados en palabras, solo ellos saben lo agradecido que estoy de poder pertenecer a este linaje.

Estoy profundamente agradecido de los integrantes del Laboratorio del Análisis de la Biosfera por la oportunidad de poder trabajar en un proyecto como el que se llevo a cabo, con todos los desafíos, exigencias y tiempo que se tenía que dedicar para poder llevar adelante esta memoria. Al director del laboratorio Cristian Mattar por darme la oportunidad de formar parte del equipo, por su paciencia y tiempo que le dedicó para llevar a cabo esta memoria, donde en cada paso que avanzábamos encontrábamos 3 trabas con el trabajo, y aun así se pudo concretar. A Andrés Sepúlveda que me enseñó y me guió a través de los diferentes desafíos que se interponían al avanzar en la memoria, además por facilitarme la información para la elaboración de esta memoria.

A mis amigos que tuvieron la primordial tarea de darme animo día tras día para no darme por vencido. A los Gloriosos que siempre me acompañaron y me acompañarán durante la travesía de esta vida. A los loleros que me entregaron todo su poder para seguir adelante y tomar energía de ellos para poder carrear dentro de esta tarea, especial agradecimiento al Alonso por suportearme en la labor de programación, mis honores hacia ti. A los taki taki y Charles Aránguiz por encaminarme en la realización de esta memoria, además del humor y por sobre todo la odiosidad de estos últimos que me entregaron. Y gracias a ti Fer por apoyarme en todo, por la paciencia que me tuviste, y por sobre todo, el amor que me entregaste, espero devolverte la mano. Gracias por tanto perdón por tan poco.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
Objetivo general .....	5
Objetivos específicos .....	5
MATERIALES Y MÉTODOS .....	6
Área de Estudio.....	6
Materiales.....	7
Métodos.....	9
Objetivo 1: Desarrollar una cartografía de las fuentes de emisión de elementos de partículas flotantes en la Región Aysén.....	9
Objetivo 2: Generar una cartografía con las zonas de acumulación de partículas de los elementos flotantes de la región de Aysén.....	11
RESULTADOS.....	13
Objetivo 1. Desarrollo de cartografías con fuentes de emisión de partículas flotantes. ..	13
Objetivo 2: Generar una cartografía con las zonas de acumulación de partículas de los elementos flotantes de la región de Aysén.....	14
Caracterización de las rutas de los Residuos Antrópicos Marinos ( <i>Hot tracks</i> ).....	17
DISCUSIÓN .....	25
CONCLUSIÓN.....	27
BIBLIOGRAFÍA .....	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio: Fiordos de la Región de Aysén.....	7
Figura 2. Movimiento de partículas de RAM según <i>software OpenDRIFT</i> . ....	11
Figura 3. Escenario de fuentes emisoras de RAM .....	13
Figura 4. Concentración de partículas de RAM varados por comuna. ....	15
Figura 5. Porcentaje de partículas de RAM que varan al séptimo día por comuna. ....	16
Figura 6. Rutas de elementos marinos flotantes de la Región de Aysén para todos los meses del año. ....	22
Figura 7. Rutas de elementos marinos flotantes de la Región de Los Lagos para todos los meses del año. ....	19

## RESUMEN

Los Residuos Antropogénicos Marinos (RAM) son uno de los principales problemas a nivel mundial reconocido en el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Para poder predecir y poder visualizar el movimiento de RAM en el océano, existen diferentes modelos de predicción del movimiento de partículas en el mar, uno de estos modelos es el *Software OpenDRIFT*, el cual puede estimar la deriva de las partículas en el océano. En la presente memoria, se analizó la dinámica de las partículas derivadas de actividades antrópicas en los fiordos de la Región de Aysén, para esto se desarrolló una metodología para poder obtener el desplazamiento de RAM derivados de las concesiones acuícolas de las regiones de Los Lagos y Aysén. Se utilizó un total de 1.414 concesiones para la región de Los Lagos y 256 en Aysén, las cuales representan al total de concesiones activas en el área de estudio para crear el escenario de fuentes emisoras de RAM. Los datos de entradas para alimentar al *software OpenDRIFT* fueron entregados por el proyecto CHONOS. De las simulaciones se obtuvo que la comuna de Maullín posee una mayor concentración de partículas varadas dentro de sus límites, obteniendo un porcentaje de 12,9% del total de los RAM que vararon dentro del área de estudio. Por otra parte, se estableció que es posible caracterizar la ruta de los RAM, dado que cada mes posee un movimiento propio y característico, creando vectores de movimiento denominados *Hot tracks*. Finalmente, se estableció que existen concesiones acuícolas de la región de Los Lagos que derivan RAM hacia la región de Aysén y viceversa. Esta memoria propone una base para poder monitorear el desplazamiento de partículas a través del mar y de esta forma poder encontrar a los emisores que causaron la existencia de playas sumideros.

**Palabras clave:** Residuos Antropogénicos Marinos (RAM), simulación, *OpenDRIFT*, concesiones acuícolas, Los Lagos, Aysén.

## ABSTRACT

Marine Anthropogenic Waste (RAM) is one of the main problems worldwide recognized in the United Nations Environment Program (UNEP). To be able to predict and visualize the movement of RAM in the ocean, there are different models of prediction of the movement of particles in the sea, one of these models is the OpenDRIFT Software, which can estimate the drift of particles in the ocean. In this report, the dynamics of particles derived from anthropogenic activities in the fjords of the Aysén Region were analyzed a methodology was developed to obtain the displacement of RAM derived from aquaculture concessions of Los Lagos and Aysén regions. A total of 1,414 concessions were used for Los Lagos region and 256 for Aysén, which represent the total of active concessions in the study area to create the scenario of RAM emitting sources. The input data of the OpenDRIFT software was delivered by the CHONOS project. From the simulations it was obtained that the commune of Maullín has a greater concentration of stranded particles within its limits, obtaining a percentage of 12.9% of the total of the RAM that stranded within the study area. On the other hand, it was established that it is possible to characterize the RAM route, since each month has its own movement, creating movement vectors called "Hot tracks". Finally, it was established that there are aquaculture concessions in Los Lagos region that derive RAM to Aysén region and vice versa. This report proposes a basis to monitor the movement of particles through the sea and thus be able to find the emitters that caused the existence of sink beaches.

**Keywords:** Marine Anthropogenic Waste (RAM), simulation, OpenDRIFT, aquaculture activities, Los Lagos, Aysén.

## INTRODUCCIÓN

La basura en los océanos es uno de los mayores problemas para el mundo entero en el siglo XXI (PNUMA, 2017). Se producen mundialmente un total de 320 millones de toneladas anuales de plástico, y se estima que entre un 15 y 40% termina en el mar. De este total, un 70% termina en el fondo del océano, un 15% en la superficie del mar, mientras que el 15% restante se acumula en las orillas de las playas (Li et al., 2011; Woodall et al., 2014). Muchos de estos residuos son categorizados como residuos antropogénicos marinos (RAM) definidos como todo objeto derivado de alguna acción realizada por los seres humanos (Bergmann et al., 2017). Los RAM tienen al plástico como el residuo de mayor amenaza hacia el ecosistema, debido a la alta resistencia que posee en el medio marino por su baja o nula degradación en el tiempo (Buschmann, 2001; Elías, 2015).

Los RAM se pueden categorizar dependiendo de la fuente contaminante de la que provenga. Por un lado, están los residuos que fueron generados en el espacio terrestre y arrastrados al mar, como los generados por el turismo, la agricultura y la industria (Pantoja et al., 2014). Por otro lado, están los residuos derivados de actividades económicas que se realizan directamente en el mar, este es el caso de la pesca y la acuicultura en donde se producen residuos tales como: boyas, redes, poliestireno extendido (Pluma Vit), residuos de PVC, fibra de carbono y metales, tomando el nombre de fuente marina de desechos (Jambeck, 2015; Mace, 2012; UNEP, 2009).

De las fuentes marinas de desechos, en particular la acuicultura genera el 20 % del total de los residuos que se encuentran en el océano (Elías, 2015), esto sumado al vertimiento de residuos antropogénicos hacia el océano, ha generado que países como: Canadá, Noruega, Estados Unidos y China, hayan construido modelos, tanto a nivel local como a nivel global, para poder definir la dirección de los objetos marinos flotantes (Global Operational Oceanography System, 2014).

Los modelos se definen como la representación teórica de sucesos o situaciones de común accionar, que son representados mediante un cálculo numérico o diferentes procesos lógicos a seguir (Wadsworth, 1997). Los modelos están categorizados según la función que este cumple, o el fenómeno natural que se está representando (Tume y Marcial, 2013). Es aquí donde aparecen los modelos oceanográficos los cuales son capaces de representar las corrientes marinas y poder simular lo que sucede de forma local y global, para esto se manejan diferentes variables que se pueden obtener para el estudio del océano (Lighezzolo et al., 2016).

Para determinar la deriva de los residuos antrópicos es necesario realizar un modelo dinámico oceanográfico, el cual consiste en manejar las diferentes variables en el océano, tales como: las corrientes, salinidad, temperatura, la entrada de diferentes cuerpos de agua y nivel del mar, y las variables atmosféricas, vientos, radiación solar, temperatura de la atmósfera,

aportes fluviales y balance neto entre precipitación y evaporación (Mace, 2012). Esto permitirá entregar un resultado de seguimiento de las partículas que se desplazan en el tiempo y determinar un sumidero (Sundberg, 2010).

Las experiencias internacionales para poder predecir el movimiento de partículas libres en el océano han sido de gran utilidad para poder determinar el movimiento de diferentes contaminantes dentro de dominios específicos, tal es el caso de *NorKyst-800 software* desarrollado por Noruega, el cual posee una resolución de 4 km que utiliza de base ROMS (Dagestad & Röhrs, 2019). Este programa de predicción de deriva de partículas flotantes ha sido utilizado principalmente en el estudio de dispersión de derrames de petróleo dentro de la costa (Berry et al., 2012). Además, se ha utilizado para poder corregir y validar los diferentes modelos que se han tratado de incorporar en Noruega (Sandik et al., 2016).

A nivel nacional se han hecho dos trabajos para poder predecir el movimiento de las partículas dentro del mar, tanto en la Región de Coquimbo como en la zona sur del país, a través los programas “Sistema de Monitoreo y Pronóstico de las Condiciones Oceanográficas para la Gestión Productiva y Pública del Océano Costero” y “Manejo integral de la salmonicultura a través de un enfoque ecosistémico” respectivamente (Salmon Chile, 2006; Gobierno Regional de Coquimbo, 2014). En la actualidad existe el modelo MOSA (Modelo Operación Sur Austral) que forma parte del proyecto CHONOS, lanzado por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) en conjunto con la Subsecretaria de pesca y acuicultura (IFOP, 2017).

El modelo MOSA entrega proyecciones de partículas flotantes hasta 72 horas con un porcentaje de acierto de un 90% (Pinilla, 2016). Este modelo se basa en el *Regional Ocean Modeling System* (ROMS) con la extensión AGRIF. Este *software* permite hacer modelos anidados a escala mundial resolviendo cálculos en simultáneo gracias al procesamiento de computadoras de alto rendimiento (Aguirre et., al 2014). La extensión AGRIF posee la cualidad de disminuir la escala de funcionamiento y entregar una malla más fina de información, haciendo más específica las condiciones climatológicas iniciales, las cuales, están sujetas a variables o condiciones de borde que ejecutan el dinamismo dentro del modelo (Correa et al., 2008).

El *software* ROMS actúa como motor principal para la resolución de modelos predictivos de dispersión de partículas a la deriva en el mar (Elias et al., 2016). Dentro de la operación de MOSA está el modelo *OpenDRIFT* el cual modela el comportamiento de la marea al interactuar con la orilla de la playa, pudiendo posicionar objetos varados en ellas (Dagestad et al., 2018). Todo el proceso de modelamiento oceánico proporcionado por los *software* *OpenDrift* y AGRIF. se da para posteriormente entregar los vectores de movimientos de las partículas (Elias et al., 2016).

El *software* *OpenDRIFT* ha tenido diferentes experiencias, como la utilizada por Gutow et al. 2018, el cual utilizo el *software* para poder predecir y visualizar el movimiento de basura a nivel bentónico donde pudo predecir de donde viene y hacia donde se moverá la basura. También se encuentra la experiencia realizada por Dagestad y Röhrs, 2019, donde hicieron

una comparación de la modelación de la superficie marina entre el uso de imágenes satelitales y el *software OpenDRIFT*.

Las simulaciones a partir de este modelo MOSA se realizan para el área que comprende las zonas de Reloncaví, Chiloé y Aysén (41- 47°S) (Pinilla, 2016), zonas en donde se practica extensivamente la acuicultura en el país, con un aproximado de 1.500 centros de cultivo, generando un aproximado de un millón de toneladas de cosecha anual (INE, 2015).

La cantidad de concesiones presentes en los Fiordos de la Región de Aysén estarían dadas por sus condiciones climáticas, tales como: oxígeno disuelto en el agua, PH, temperatura, dureza del agua y baja presencia de metales, y también por sus condiciones geográficas (Salmon Chile, 2016). En la actualidad, la sobre saturación de cultivos de salmones en los fiordos ha traído consigo diversos daños al ecosistema marino en el que se encuentran, como aumento de sedimentos en el fondo del mar, disminución del oxígeno disponible en el agua (hipoxia), sobre saturación de material particulado y contaminación de las playas (Kiessling, 2017; Montero et al., 2017; Sepúlveda et al., 2011).

Estas concesiones acuícolas se pueden diferenciar a partir de la actividad que poseen en el interior de sus jaulas, siendo activas las que poseen actividad en su interior, mientras que las que no poseen actividad se denominan concesiones pasivas (SERNAPESCA, 2013). Esta diferencia, se debe a la rotación de jaulas que existe por parte de cada concesionario, debido a que existen diferentes etapas de crecimiento para cada uno de los cultivos que se realizan en su interior, disminuyendo la posibilidad de enfermedades, generando esta rotación de concesiones (PROSPECTUS, 2016).

Sin embargo, se desconoce si la cantidad de partículas en suspensión derivados de esta industria provienen de las concesiones ubicadas en la Región de Aysén o si son derivadas de actividades en zonas productivas ubicadas en la Región de Los Lagos. Por lo tanto, una de las respuestas al deterioro de esta zona debido a la intensificación de la acuicultura y, por ende, el aumento de RAM puede ser monitoreado la deriva de estos mediante el modelo MOSA. El objetivo de esta memoria es analizar la dispersión de RAM en la Región de Aysén y la contribución antropogénica hacia la identificación de zonas de sumidero mediante el análisis de las rutas de la deriva de partículas.

### **Objetivo general**

- Analizar la dinámica de las partículas derivadas de las actividades antrópicas en los fiordos de la Región Aysén.

### **Objetivos específicos**

- Desarrollar una cartografía de las fuentes de emisión de elementos de partículas flotantes en la Región Aysén.
- Generar una cartografía con las zonas de acumulación de partículas de los elementos flotantes de la Región de Aysén.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

En la Figura 1 se muestra el área de estudio correspondiente a la Región de Aysén y la Región de Los Lagos, allí se ubican los fiordos de la Región de Aysén y la parte sur de la isla de Chiloé. Esta zona se caracteriza por poseer un canal principal que se ubica en la parte norte de los fiordos, el canal de Moraleda, mientras que las principales entradas de agua desde el sector continental se realizan por el canal de Puyuhuapi y el río Aysén. Por otro lado, la principal entrada de aguas oceánicas es por el paso del Guafo, luego llegando al Golfo del elefante para continuar el recorrido al canal principal, el canal de Moraleda (Gonzales et al., 2010; Bilbao et al., 2008).

Dentro del área de estudio se encuentran masas de aguas marinas las cuales son: masas de agua Subantártica (0-800 m), remanentes de agua Ecuatorial Subsuperficial (150-300 m) y Agua intermedia Antártica bajo los 300 metros de profundidad (Sievers y Silva, 2006). En la Región de Aysén se ubica la reserva nacional Las Guaitecas en el sector de los Fiordos, abarcando 1.097.975 ha (CONAF, 2016).

Esta zona se caracteriza económicamente por la industria acuícola, correspondiente al principal ingreso económico de esta Región. Dentro de los fiordos se encuentran un total de 256 concesiones acuícolas, mientras que en el sector de la Región de los lagos las concesiones superan las mil (INE, 2017)

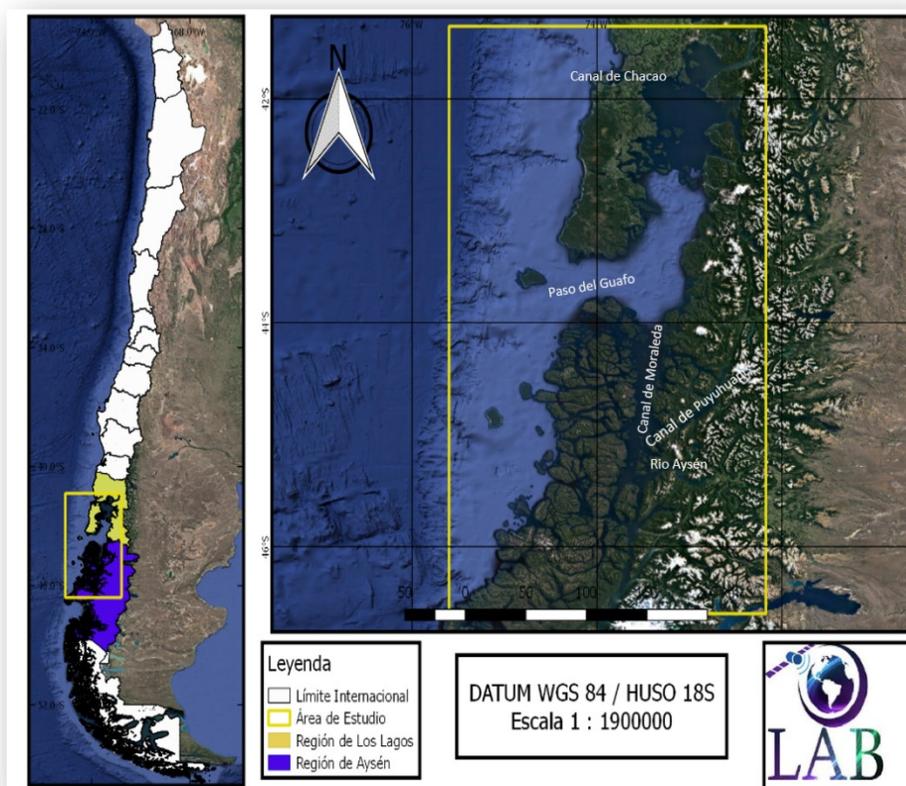


Figura 1. Área de estudio: Fiordos de la Región de Aysén.

## Materiales

Para la obtención de las fuentes de emisores de elementos de particulados flotantes en la Región de Aysén, se necesita el catastro de concesiones de actividad acuícola de la zona, proporcionado por la Subsecretaría de Pesca y acuicultura (SUBPESCA). Con esta información es posible establecer sitios en donde se produce el cultivo de peces y, por ende, las fuentes de emisiones de RAM asociadas a la acuicultura. El catastro de concesiones acuícolas de las Regiones de Los Lagos y de Aysén, quedaron constituidas por un número total de 2.093 y 723 respectivamente. Además, se utilizarán el porcentaje de concesiones activas en la zona del servicio nacional de pesca para dar el escenario de concesiones acuícolas en el área de estudio. En el Cuadro 1, se compila la información de la Región de Aysén y de la Región de Los Lagos.

El material que se utilizará para determinar los vectores de movimientos de los RAM y zonas de acumulación de basura corresponde al *software OpenDRIFT*, el cual posee un modelo de

predicción operacional basado en datos de tiempo real para poder simular el vector de comportamiento de una partícula en el tiempo en las regiones de estudio. Este programa computacional se configura bajo el lenguaje Python para poder programar las repeticiones que se necesiten.

Para los datos de entrada del modelo se utilizarán los datos ocupados en el proyecto CHONOS, el cual posee datos para las regiones de estudio, con información para cada hora de cada una de las variables que se utilizarán para poder predecir el movimiento de las partículas de la zona. Específicamente se utilizarán los datos para poder predecir el movimiento superficial, estimado por las corrientes superficiales de los vectores de movimiento en  $\vec{u}$  y  $\vec{v}$ , que entregan la velocidad de las corrientes de norte a sur y de este a oeste, estas se visualizan en el Cuadro 1.

Cuadro1. Información de datos utilizados.

Datos	Fuente	Cantidad o unidad de medida
Concesiones acuícolas Los Lagos	SUBPESCA	2.093
Concesiones acuícolas Aysén	SUBPESCA	723
Porcentaje de concesiones activa en Los Lagos	SERNAPESCA	70%
Porcentaje de concesiones activa en Aysén	SERNAPESCA	36%
Velocidad en $\vec{u}$	IFOP (Proyecto Chonos)	$m * s^{-1}$
Velocidad en $\vec{v}$	IFOP (Proyecto Chonos)	$m * s^{-1}$
Magnitud de la velocidad	IFOP (Proyecto Chonos)	Sin unidad

## Métodos

### Objetivo 1: Desarrollar una cartografía de las fuentes de emisión de elementos de partículas flotantes en la Región Aysén.

Para la construcción de las fuentes de emisión de elementos de partículas flotantes, se utilizó las bases de datos de las concesiones acuícolas existentes a la fecha, proporcionadas por la SUBPESCA para digitalizar estos puntos y realizar una cartografía de estas fuentes de emisiones. Además, se obtuvo el porcentaje de concesiones acuícolas que se encontraban activas para generar un escenario que refleja la dispersión de RAM de concesiones acuícolas en la actualidad en el área de estudio.

Para la simulación de las rutas y vectores de los elementos flotantes se utilizaron las salidas del modelo regional MOSA, parte del proyecto CHONOS, en donde se utilizaron las condiciones de entrada del programa, las cuales son variables oceanográficas y atmosféricas (IFOP, 2018). Las primeras están definidas por el nivel del mar, temperatura del mar, salinidad y corriente, mientras que, dentro de las variables atmosféricas se encuentran radiación, evaporación y precipitación (Pinilla, 2016).

El modelo regional MOSA es una herramienta de predicción oceánica operacional usada para describir la circulación oceánica en el mar interior de Chile (41-47 °S) con una resolución espacial de 1,2 km y un rango operacional de +168 h. MOSA está basada en el código numérico ROMS AGRIF 3.1.1 (Schepetkin y McWilliams 2005; Debreu et al., 2012). El sistema de operación MOSA usa como condiciones de borde el modelo de pronóstico global MERCATOR (Drévillon et al., 2008) y usa como forzamiento atmosférico el pronóstico operacional de la Dirección Meteorológica de Chile para la región efectuado con el modelo atmosférico WRF (Pinilla, 2016).

Las salidas diarias de MOSA fueron usadas como base del código Python para el análisis lagrangiano de deriva de partículas en el *software OpenDRIFT* (Dagestad et al., 2018), que permitió representar tanto a los objetos que, al tocar tierra se queda varados, como aquellos que vuelven a derivar con el cambio de la marea. Las simulaciones realizadas se encontraron bajo el dominio de las ecuaciones de movimiento que se obtuvieron en coordenadas cartesianas descritas por la ecuación 1 y 2, para finalmente cumplir con la ecuación 3 (Correa et al., 2008).

$$\frac{\partial \mu}{\partial \tau} + \vec{v} * \frac{\partial u}{\partial t} + \vec{v} * \nabla u - fv = \frac{\partial \phi}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial z} \left( \overline{v'w'} - v \frac{\partial u}{\partial z} \right) + Fu + Du$$

Ecuación 1

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{v} * \frac{\partial u}{\partial t} + \vec{v} * \nabla u + fv = \frac{\partial \phi}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial z} \left( \overline{v'w'} - v \frac{\partial v}{\partial z} \right) + Fv + Dv$$

Ecuación 2

Donde:

u, v, w= Componentes del vector velocidad de los puntos (x, y, z)

t= Tiempo.

Fu, Fv = Condiciones forzantes.

Du, Dv= Condiciones difusivas.

 $\phi$  = Presión dinámica.

X, Y= Coordenadas horizontales.

Z= Coordenada vertical

Finalmente se obtiene la ecuación final de continuidad para un fluido incompresible en la Ecuación 3.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Ecuación 3

Los datos para alimentar las variables del modelo MOSA quedan dividida en 3 partes. Las condiciones de borde del modelo oceanográfico y condiciones iniciales oceanograficas fueron proporcionadas por el modelo MERCATOR, en el cual se obtuvieron las variables de temperatura del mar, salinidad, corrientes marinas y la batimetría. Las variables atmosféricas se obtuvieron de los datos de la Dirección Meteorológica de Chile el cual ocupa el modelo WRF, proporcionando las variables de dirección de viento, magnitud de viento, temperatura del aire, radiación solar y precipitación. La última parte, es la entrada de agua dulce al sistema para lo cual se tomaron datos de la Dirección General de Aguas, que entregó los caudales históricos de cada uno de los ríos del área de estudio. Todas estas variables entraron en el modelo con datos históricos para cada uno de los días del año, y así forzar el dinamismo del modelo MOSA.

El movimiento de las partículas de RAM establecidas por el *Software OpenDRIFT* quedan determinadas bajo la Figura 2, donde la partícula sigue el trazado que se establece en el segundo delta tiempo de simulación, debido a que se procesan los siguientes 3 delta tiempo de cada uno de los RAM dentro de la simulación, permitiendo que la partícula se establezca según el segundo delta de tiempo dentro del programa. La Figura 2 muestra como una partícula de RAM va obteniendo su ruta de simulación en el *software* a lo largo de los días según el segundo delta de tiempo establecido.

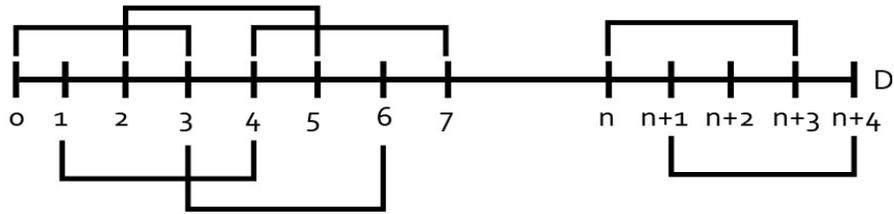


Figura 2. Movimiento de partículas de RAM según *software OpenDRIFT*.

Este procedimiento se realizó para los primeros 7 días de cada mes en cada uno de los puntos emisores de RAM dentro del escenario generado previamente, debido a limitaciones de *hardware*, logrando las simulaciones necesarias para poder obtener un número representativo de vectores de movimiento de los diferentes puntos emisores de RAM en el área de estudio. Esto se realizó mediante la programación en lenguaje Python, donde se compilaban los puntos emisores de RAM y los diferentes datos de entrada de las variables, y de este modo ejecutar el Software *OpenDRIFT*.

Posteriormente, se procedió a configurar las características de emisión de partículas desde los puntos emisores de RAM. La simulación constó de la emanación de una partícula cada dos horas durante los primeros 7 días del mes para cada uno de los meses del año, generando 84 descargas de RAM mensual y un total de 1.008 partículas liberadas de RAM en cada una de las concesiones acuícolas en el año. Mientras que, el movimiento de cada partícula quedó establecido en un límite de 7 días de simulación, lo cual dejó como resultado dos opciones, elementos varados en playa o elementos que al séptimo día seguían en el mar a la deriva. Los emisores de RAM estuvieron ubicados con el sistema de coordenadas de latitud y longitud, en formato *csv*.

Para la configuración de las simulaciones, se utilizaron las variables del movimiento superficial del mar, el cual posee un único valor para cada hora del año, este se divide en el movimiento de  $\vec{v}$  y en  $\vec{u}$  del año 2018, expresados en metros por segundo elevado a  $-1$ , el cual posee un píxel de 1,2 km, dentro de las regiones de Aysén y Los Lagos. Además, se utilizó la cartografía de mayor resolución que la que trae consigo el *software OpenDRIFT*, aumentando la precisión del modelo que aumenta la exactitud del dominio terrestre como la del dominio marítimo.

**Objetivo 2: Generar una cartografía con las zonas de acumulación de partículas de los elementos flotantes de la Región de Aysén**

La generación de las cartografías se realizó con los vectores de movimientos obtenidos de las simulaciones para cada uno de los puntos emisores de RAM del escenario construido del objetivo anterior, para poder determinar las rutas más representativas y los posibles puntos de sumideros que se pudieron encontrar en el área de estudio. Para esto se generaron tres cartografías, la primera de rutas más comunes en la Región de Los Lagos, una segunda cartografía para la Región de Aysén, y la tercera cartografía que constó con la acumulación de partículas por comuna en el área de estudio.

Cartografía de acumulación de partículas: se agruparon todos los RAM emitidos que han varado durante los 7 días de simulación, para poder estimar los sectores donde se depositan con mayor frecuencia y donde es más posible que se acumulen los RAM. Para esto se agruparon las simulaciones de todos los meses para posteriormente cuantificar la cantidad de elementos flotantes que llegaron a cada una de las comunas que estaban dentro del área de estudio y finalmente clasificar las comunas según diversos criterios de concentración. Estos criterios de concentración son muy baja concentración, baja concentración, media concentración, alta concentración o muy alta concentración de partículas en sus playas, como se muestra en el Cuadro 2, mediante la suma del total de partículas que se quedarán varadas en las playas del área de estudio. Finalmente, se estimó el porcentaje de RAM de cada comuna, en relación al total de partículas de RAM varadas, para de esta forma poder categorizar el porcentaje de RAM que queda sobre la superficie de la comuna.

Cuadro 2. Categorías de concentración de partículas de RAM.

Categoría de concentración	Porcentaje
Muy baja	< 3%
Baja	3% - 5 %
Media	5% - 7.5%
Alta	7,5% - 10 %
Muy alta	>10%

Cartografía mensual: a partir de las simulaciones de los primeros 7 días de cada mes se realizó un mapa de rutas con la totalidad de las simulaciones para analizar el comportamiento mensual, generando una cartografía para cada uno de los meses y separadas por región. De esta manera se analizó y describió el comportamiento de las rutas trazadas por los RAM en cada mes de simulación bajo las condiciones particulares de cada mes.

## RESULTADOS

### Objetivo 1. Desarrollo de cartografías con fuentes de emisión de partículas flotantes.

En la Figura 3 se muestra el escenario donde se obtuvieron todas las concesiones acuícolas presentes en el área de estudio según en el Servicio Nacional de Pesca a la fecha de diciembre de 2018. Además, se obtuvieron los porcentajes de centros acuícolas que registran actividad, dentro las regiones de Los Lagos y Aysén, siendo un 70% y 36% respectivamente. De esta manera se obtuvo la cantidad de concesiones activas en cada región y se generó el escenario de las fuentes emisoras de RAM.

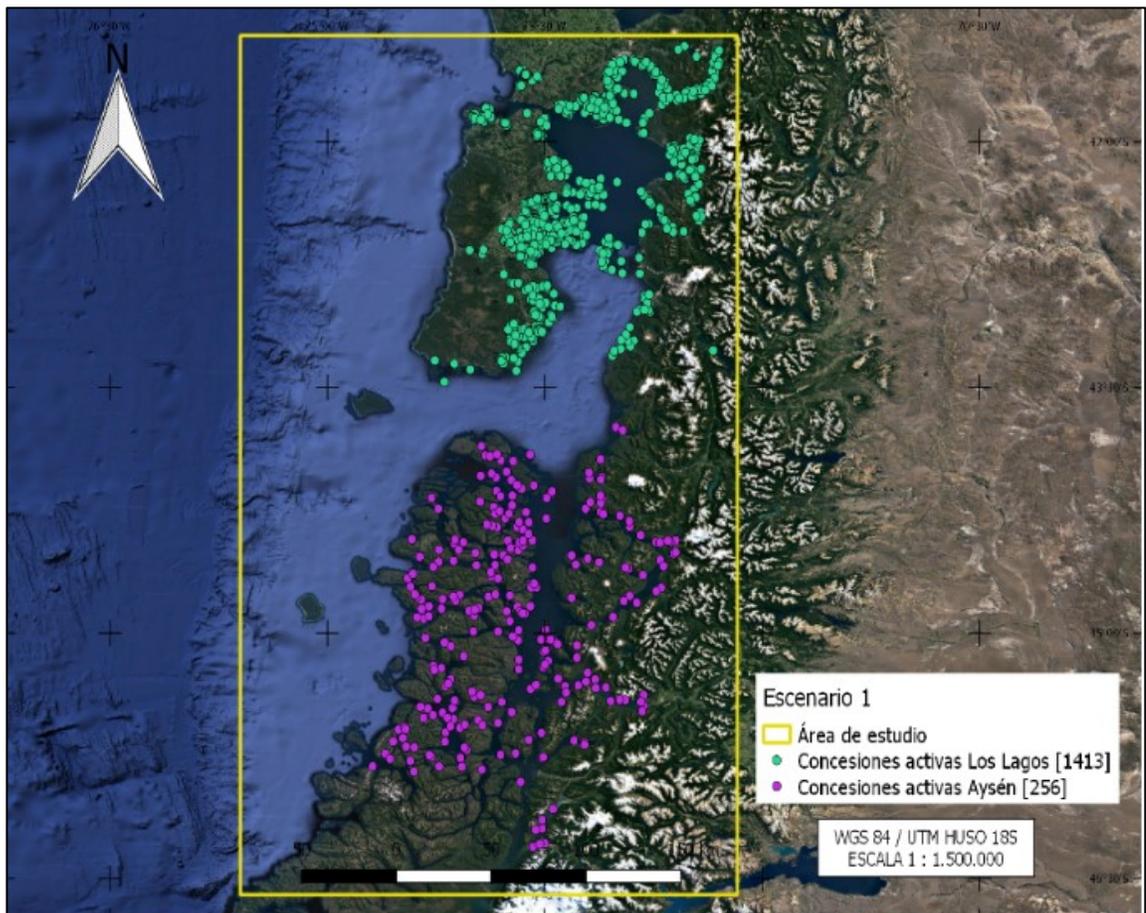


Figura 3. Escenario de fuentes emisoras de RAM

Según información del informe “Registro Nacional de Acuicultura” de SERNAPESCA del año 2013, la Región de Aysén posee un 36% de sus concesiones acuícolas activas a lo largo

del año, mientras que la Región de Los Lagos llega a un 70% de concesiones acuícolas activas. Esto se traduce en 256 concesiones activas de un total de 723 en la Región de Aysén, mientras que la Región de Los Lagos tiene un total de 1.413 concesiones activas de 2.093 concesiones aprobadas, quedando con un total de 680 concesiones pasivas en el área de estudio.

De las 1.413 concesiones activas en la Región de Los Lagos, 715 concesiones pertenecen al grupo de especies de Moluscos, 322 a los grupos de Salmones, 310 a grupo de Algas y 66 concesiones pertenecen al grupo de especie de Abalones o Equinodermos. Por su parte, la Región de Aysén posee dos concesiones para el cultivo de Moluscos y 254 para el cultivo de salmones.

Las concesiones activas de la Región de Los Lagos se concentran principalmente en la Isla de Chiloé con un aproximado del 67% del total de concesiones activas, un 25% en la provincia de Llanquihue, mientras que el 8% restante se ubica en el sector sur oriente de la Región. De las concesiones activas de la Región de Aysén, aproximadamente el 65% de estas se ubican en el lado oeste del Canal de Moraleda, y el 35 % restante se ubica mayormente en las principales desembocaduras de los ríos de la Región.

Las concesiones acuícolas activas se concentran en 20 comunas, 17 para la Región de Los Lagos y 3 para la Región de Aysén. Las comunas con mayor número de concesiones son: Maullín con 214 concesiones, Calbuco con 168 y Quellón con 150, las cuales pertenecen a la Región de Los Lagos. Mientras que, en la Región de Aysén, la comuna con mayor concentración de concesiones acuícolas activas es Cisnes con un numero de 127 concesiones en total, seguido de Aysén con 111 concesiones y la comuna de las Guaitecas con 18 concesiones en total.

## **Objetivo 2: Generar una cartografía con las zonas de acumulación de partículas de los elementos flotantes de la Región de Aysén**

La generación de cartografías con zonas de acumulación de partículas de elementos flotantes marinos para las regiones, tanto de Aysén y Los Lagos, se generó con el total de simulaciones realizadas para cada uno de los meses del año, haciendo una suma con todos los puntos varados dentro del área de estudio. Los niveles de acumulación de basura quedan definidos según la cantidad de partículas que varan en las costas de la comuna, teniendo en cuenta la Región de Los Lagos como la Región de Aysén, donde se dividió en 5 partes iguales según el máximo de partículas varadas, donde la comuna Maullín se ubicó como la comuna de mayor concentración de partículas con un total de 214.022 partículas. La categorización de cada una de las comunas se dio por el porcentaje de partículas que habían varado dentro de sus límites comunales, en el Cuadro 2 se muestran los rangos obtenidos para poder clasificar a una comuna dentro de las cinco categorías formadas.

A continuación, se muestra en la Figura 4 la cartografía de la acumulación total de RAM en cada una de las comunas. La comuna de Maullín es la única de las 21 comunas categorizada con una concentración muy alta de partículas. Contrario es el caso de la comuna de Chaitén la cual posee un mayor litoral para poder acaparar una mayor cantidad de RAM, pero está categorizada con una concentración media de partículas varadas.

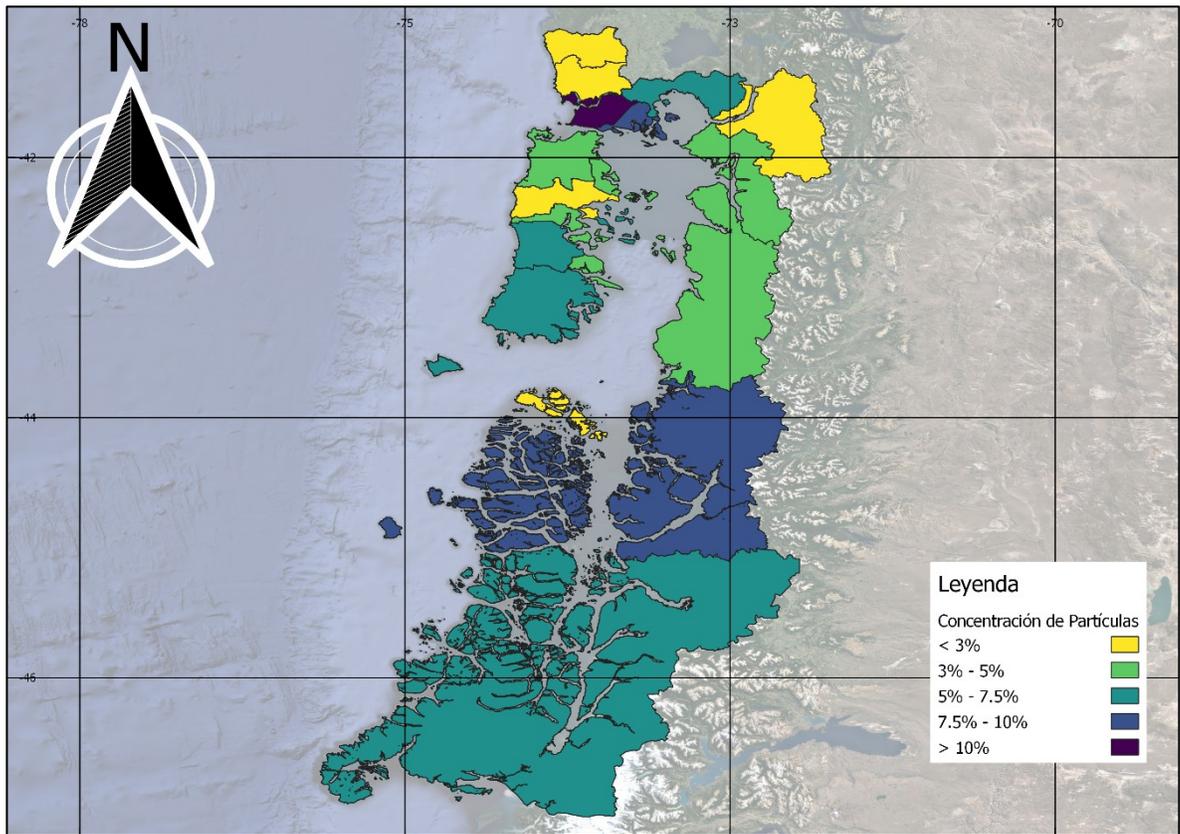


Figura 4. Concentración de partículas de RAM varados por comuna.

En la Figura 5 se muestran los porcentajes de partículas de RAM que vararon en cada una de las comunas de la Región de Los Lagos y Aysén, donde el porcentaje máximo encontrado es de 12,97% de partículas varadas en la comuna de Maullín. Por otra parte, la comuna con menor porcentaje de partículas varadas dentro de sus playas es Fresia, con una concentración menor al 1% debido a la inexistencia de concesiones acuícolas simuladas en su comuna.

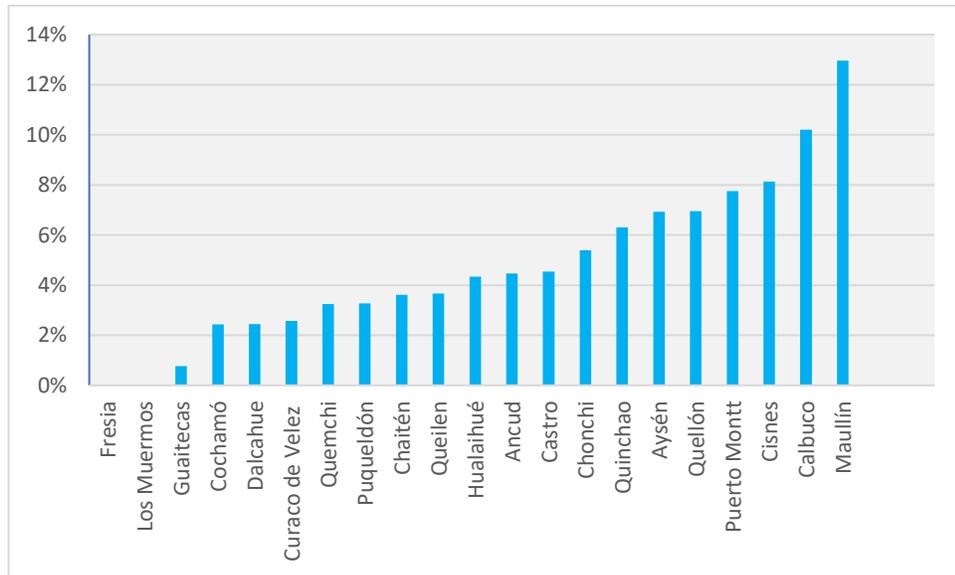


Figura 5. Porcentaje de partículas de RAM que varan al séptimo día por comuna.

La segunda comuna con mayor concentración de RAM es la comuna de Calbuco con una concentración de partículas de 10,2%, cabe destacar que esta comuna junto a la comuna de Maullín, pertenecen a la Región de Los Lagos. En tercer lugar, se ubica la comuna de Cisnes de la Región de Aysén, con una concentración de 8,1% del total, siendo la comuna de esta región con la mayor concentración de partículas. Estas tres comunas, Maullín, Calbuco y Cisnes son categorizadas con una muy alta y alta concentración de partículas.

En la Región de Los Lagos, el número de concentración de partículas por comuna concuerda con los números de concesiones acuícolas que poseían estas comunas, debido a que, Maullín y Calbuco son las que poseen un mayor número de concesiones acuícolas en el área de estudio con 214 y 168 respectivamente. Por otro lado, en la Región de Aysén esto no concuerda, ya que la comuna de Cisnes posee una mayor concentración de partículas que otras comunas que poseen una mayor cantidad de concesiones, como es el caso de la comuna de Quellón que posee 150 concesiones y presenta el 6,95% de la concentración de partículas, siendo categorizada con una media concentración de partículas mientras que Cisnes posee 127 concesiones y se ubica como la tercera comuna con mayor concentración de partículas.

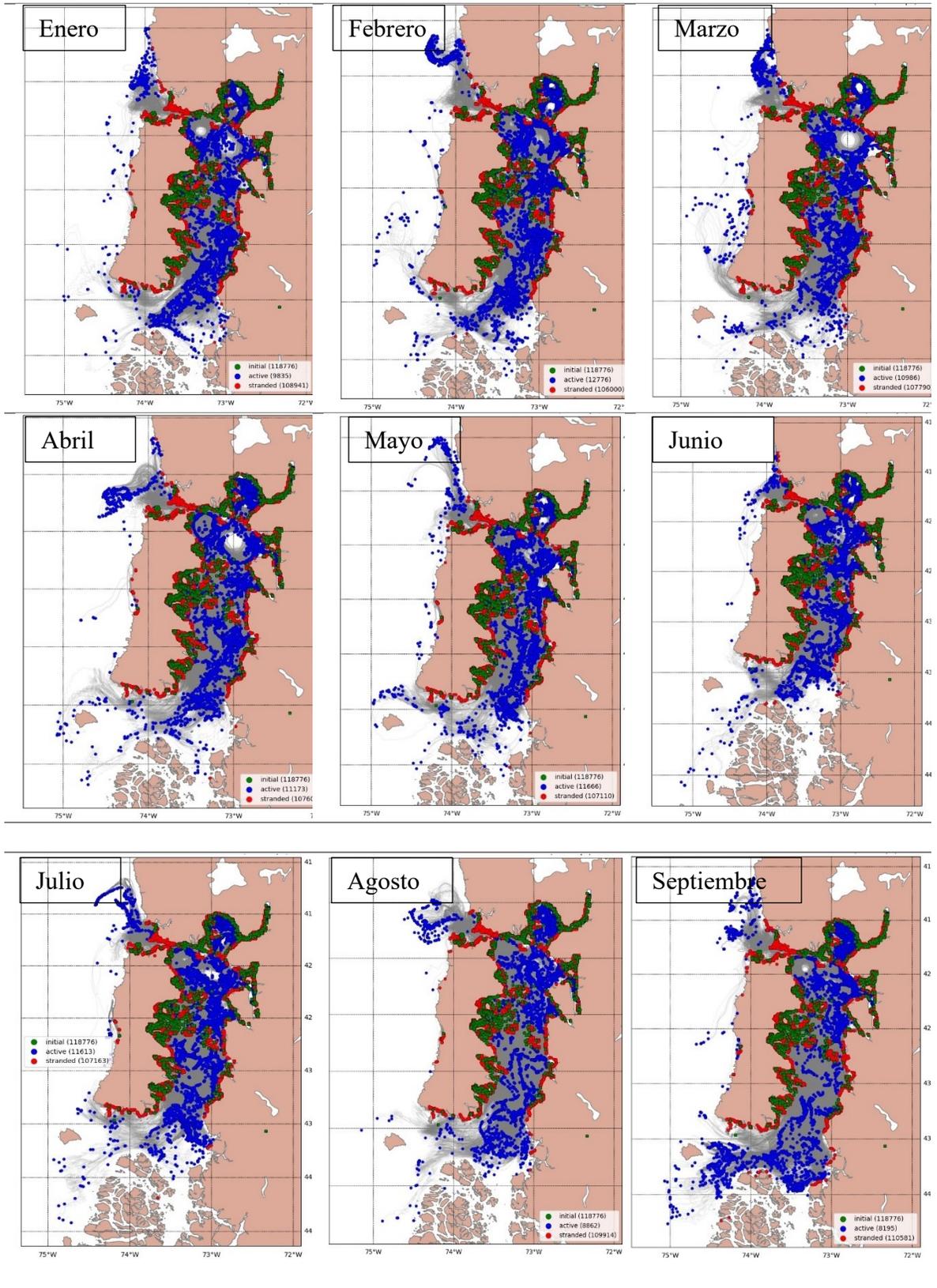
A continuación, se muestra en el Cuadro 3 la categoría para cada una de las comunas ubicadas en el área de estudio según su concentración de RAM.

Cuadro 3. Categorías de Concentración de RAM según comuna.

Región	Comuna	Categoría
Región de Los Lagos	Fresia	Muy Baja Concentración
	Los muermos	
	Cochamó	
	Dalcahue	
	Curaco de Vélez	
Región de Aysén	Guaitecas	
Región de Los Lagos	Ancud	Baja Concentración
	Quemchi	
	Castro	
	Puqueldón	
	Queilén	
	Chaitén	
	Huailaihué	
Región de Los Lagos	Puerto Montt	Media Concentración
	Quinchao	
	Chonchi	
	Quellón	
Región de Aysén	Aysén	

### Caracterización de las rutas de los Residuos Antrópicos Marinos (*Hot tracks*)

La caracterización de las rutas de los RAM se estableció mediante el análisis en conjunto del total de simulaciones obtenidas para cada región por separado, una para cada mes, obteniendo una caracterización para la Región de los Lagos y otra para la Región de Aysén. Se analizó el recorrido que las partículas adquirirían a lo largo del transcurso de los 7 días que permanecían a la deriva. Para el análisis se consideraron solo las partículas que no llegaron a varar, como se muestra en las Figuras 6 y 8, estas corresponden a las partículas de color azul que generan la línea de color gris que representa la trayectoria efectuada en la simulación. La Figura 6 corresponde a los 12 meses de simulación para la Región de Los Lagos, mientras que, la Figura 7 son las simulaciones obtenidas de la Región de Aysén.



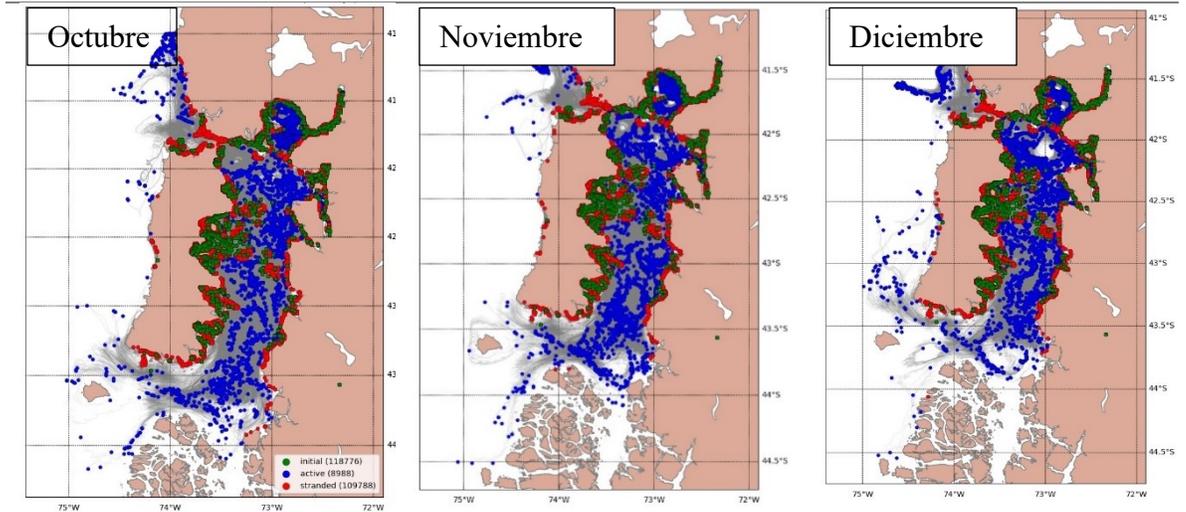


Figura 6. Rutas de elementos marinos flotantes de la Región de Aysén para todos los meses del año. Azul: partículas de RAM que siguen a la deriva al término de la simulación, Rojo: partículas que han quedado varadas durante la simulación, Verde: concesiones acuícolas activas y Gris: el recorrido realizado por las RAM.

El análisis del movimiento de partículas flotantes marinas para la Región de Los Lagos se realizó mediante las cartografías generadas para cada uno de los meses del año. De las cartografías se obtiene que un 91,25% de las partículas emitidas a lo largo del año varan en tierra antes del séptimo día de simulación, y solo un 8,75% siguen a la deriva durante el tiempo de simulación. El mes de febrero es el que posee el mayor número de partículas de RAM en movimiento al séptimo día de simulación, con un total de 12.776 partículas en suspensión, mientras que, septiembre es el mes que posee el menor número de partículas a la deriva con un total de 8.195. El análisis de la simulación movimiento de RAM emitidos por las concesiones acuícolas de la Región de Los Lagos da a conocer que en todos los meses del año migran a la Región de Aysén, varando principalmente en las cercanías de la Isla grande de las Guaitecas, y en la zona norte de la Región de Aysén, además, se aprecia la existencia de partículas que al séptimo día de simulación se encuentran en territorio marítimo de la Región de Aysén.

Para poder caracterizar las rutas más frecuentes de los RAM la región se dividió en dos zonas, la primera es la parte norte de la isla Grande de Chiloé en la zona del canal de Chacao, y la segunda zona es el sector sur de la isla grande por el sector del Golfo del Corcovado como se muestra en la Figura 7. Esta división se da por la existencia de rutas marcadas a lo largo de los meses en donde se puede describir el comportamiento de los RAM, modelar y entender la trayectoria generada por las partículas emitidas de las concesiones acuícolas activas de la Región de Los Lagos

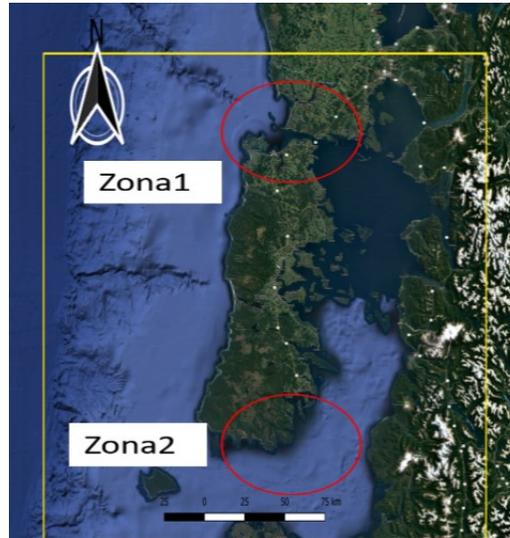
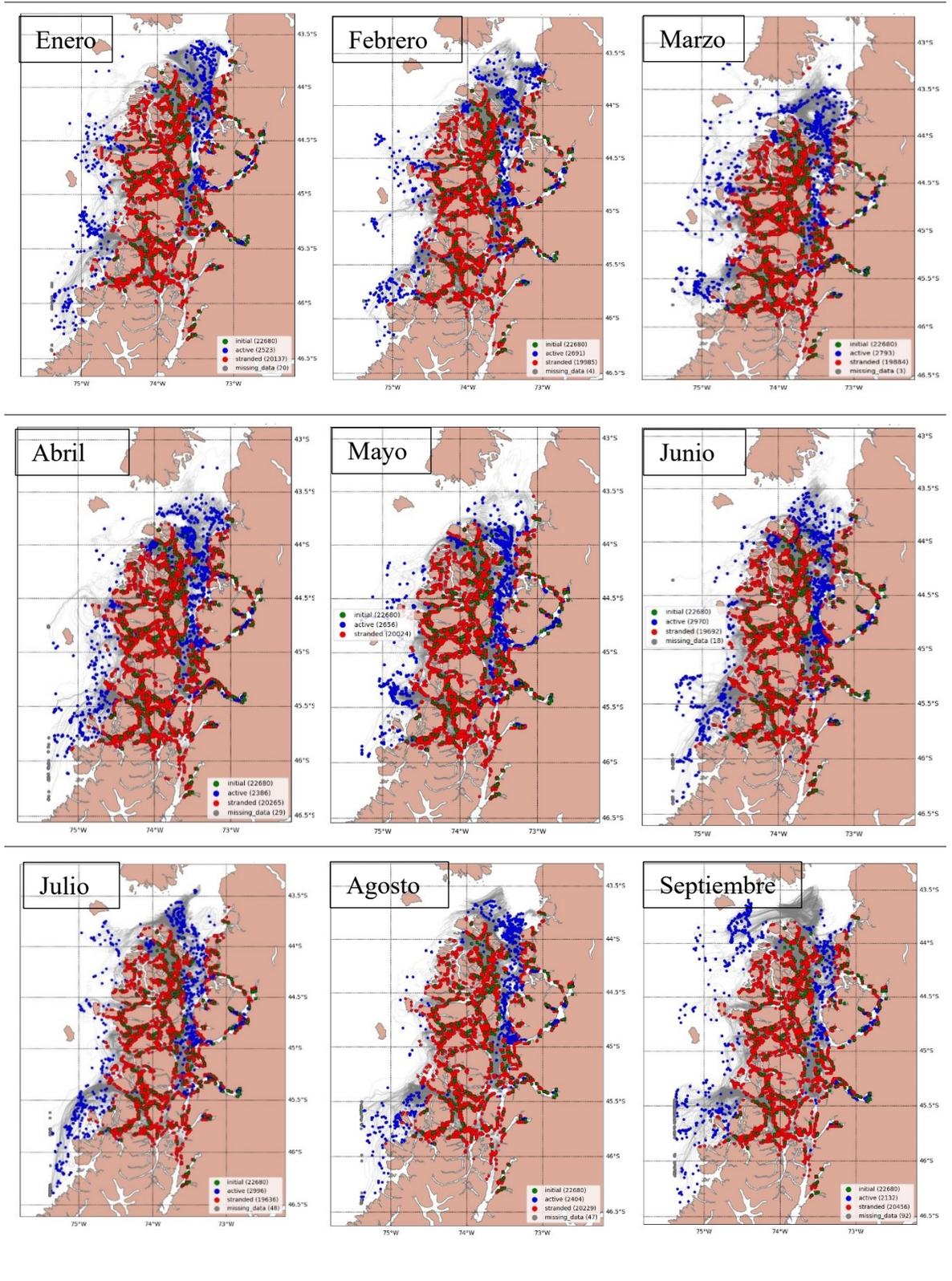


Figura 7. Zonas de caracterización del movimiento de partículas en la Región de Los Lagos.

En la zona del canal de Chacao la rutas de los RAM quedaron definidas por dos trayectorias que toman a lo largo del año. La primera es el trayecto que se generó atravesando el canal de Chacao hacia mar adentro, y que luego toma dirección norte generando partículas que llegan hasta el paralelo 41°S. Este movimiento se presenta en los meses de enero, febrero, marzo, mayo, julio, septiembre y octubre, mientras que para los meses de abril, junio, agosto, noviembre y diciembre las partículas poseen una dirección oeste hacia mar adentro.

En el sector sur de la isla grande de Chiloé, se establecen diferentes recorridos de RAM para cada uno de los meses. Existen meses donde las partículas al ir a mar adentro se van desplazando hacia diferentes direcciones, tanto hacia el norte como en dirección sur, este último desplazamiento queda establecido en el mes de junio, donde el total de las partículas se va en dirección sur al entrar en mar adentro.

En las simulaciones generadas se observa que, para los meses de enero, marzo, abril y diciembre, se genera un efecto en la parte noreste de la isla de Chiloé, donde se aprecia la generación de espacios en blanco por donde no transitaban en los 14 días de simulación los RAM, este efecto se denomina remolinos, el cual generó zonas donde los elementos toman una clara trayectoria circular dentro del mar.



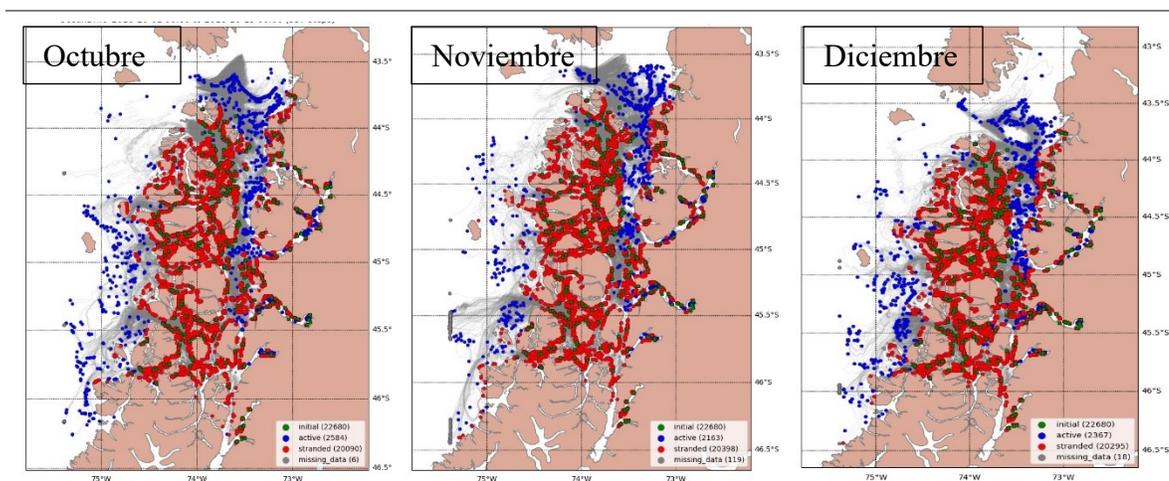


Figura 8. Rutas de elementos marinos flotantes de la Región de Aysén para todos los meses del año. Azul: partículas de RAM que siguen a la deriva al término de la simulación, Rojo: partículas que han quedado varadas durante la simulación, Verde: concesiones acuícolas activas y Gris: el recorrido realizado por las RAM.

El análisis del movimiento de las partículas emitidas a lo largo del año muestra que un 89,74% de los RAM simulados se encuentra en tierra al séptimo día, y el 11,26% restante sigue a la deriva. El mes de septiembre posee la menor cantidad de partículas a la deriva al séptimo día con un total de 2.132 partículas, mientras que junio es el mes que posee una mayor cantidad de partículas a la deriva con 2.970. Además, se observa que en 4 meses la deriva de RAM de la Región de Aysén tiene como destino la Región de Los Lagos.

Los RAM derivados en la Región de Aysén se dividieron en tres sectores que poseen diferentes patrones según el mes de simulado. Estos sectores son: el norte del canal de Moraleda en el sector de la comuna de las Guaitecas, la zona que comprende desde la Isla Benjamín hasta la isla James, y el sector más austral que comprende entre la Isla Rivero y la Isla Isquilac, las cuales se presentan a continuación en la Figura 9.

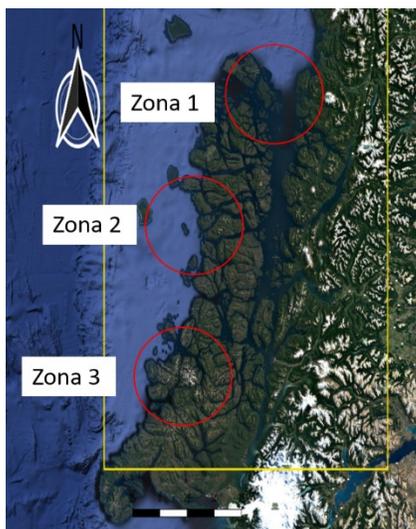


Figura 9. Zonas de caracterización del movimiento de partículas en la Región de Aysén.

En las cartografías resultantes para cada mes de la Región de Aysén, se obtuvo que el desplazamiento de elementos flotantes marinos emitidos desde esta región sí llegan a la Región de Los Lagos, donde en el mes de marzo, diferentes RAM tuvieron como destino a la isla Laitec y a la zona sur de la Isla grande de Chiloé en la Región de Los Lagos. Mientras que, en los meses de febrero, junio y diciembre, se encontraron partículas a la deriva de la Región de Aysén ubicadas en el sector de marítimo de la Región de Los Lagos.

La dispersión de partículas por el norte del canal de Moraleda muestra una dispersión similar para 8 los meses del año enero, febrero, abril, mayo, junio, agosto, octubre y noviembre donde las trayectorias se mantienen en la Región de Aysén y no siguen hacia el norte, estas partículas se quedan a la deriva en el golfo del Guafo a lo largo de los días de simulación. Este comportamiento se ve alterado en los meses de marzo, julio, septiembre y diciembre, en donde los RAM poseen una mayor trayectoria en el transcurso de los días de simulación, llegando a bordear la isla grande de Chiloé y también a la isla Guafo, además en cada uno de estos meses se observa que la dispersión de partículas posee un movimiento uniforme siguiendo rutas que se diferencian en cada uno de estos meses. En el mes de marzo los RAM poseen una dirección norte, mientras que en julio las partículas de RAM poseen una dirección suroeste, bordeando la isla grande de Guaitecas. En el mes de septiembre las partículas se desplazan con una ruta marcada en dirección oeste hacia la isla del Guafo llegando a las cercanías de esta, y en el mes de diciembre las partículas se van en dirección norte hacia la Región de los Lagos aproximándose a la isla grande de Chiloé.

En la zona comprendida entre la isla Benjamín y la isla James, la cual se ubica al este del Parque Nacional Isla Guamblín, las partículas a la deriva en los meses de febrero, marzo, septiembre y diciembre poseen un comportamiento anormal en comparación con el resto de los meses. En febrero las partículas se dirigen al sur del P.N. isla Guamblín tomando una dirección sur oeste, alejándose del archipiélago de los Chonos, en marzo los RAM siguen una ruta donde bordean al P.N. Isla Guamblín. Para el mes de septiembre se marca una trayectoria hacia el norte cercana a la costa, para posteriormente acercarse al P.N. Isla Guamblín, y en el mes de diciembre las partículas divergen, donde un grupo posee una trayectoria sur y otro grupo una trayectoria hacia el norte bordeando el P.N. Isla Guamblín. De los 12 meses simulados, solo el mes de noviembre posee elementos flotantes que llegaron al Parque Nacional Isla Guamblín. Para el resto de los meses las trayectorias no siguen algún parámetro para poder distinguir una ruta en común, estas partículas están a la deriva sin dirección aparente para el resto de los meses del año.

Para la zona más austral de las rutas definidas comprendidas entre la Isla Rivero y la Isla Isquilac, posee dos meses, mayo y marzo, que tienen un comportamiento similar, donde las partículas se quedan cercanas al archipiélago de los Chonos, sin llegar mar adentro y sin partículas que hayan varado en la península del Taitao. Contrario con lo que pasa en los demás meses del año, debido a que las partículas adquieren una ruta que posee un comportamiento de dirección sur, bordeando al archipiélago y depositando RAM en la

península del Taitao a excepción del mes de julio donde las partículas no se depositan en la península a pesar de poseer la isma trayectoria.

## DISCUSIÓN

En la presente memoria se abarcó la totalidad de concesiones acuícolas de las regiones de Los Lagos y Aysén, donde se obtuvo el porcentaje de concesiones activas en el año, obteniendo así el panorama actual, siguiendo valores de actividad del año 2013, de concesiones acuícolas que pueden emitir residuos antropogénicos marinos (RAM) al mar. La obtención de estos datos permite cuantificar el número de concesiones por comuna, sin embargo, la distribución geográfica aleatoria que proporciona el porcentaje de concesiones activas, puede reflejar un escenario diferente al que se plasmó en la memoria, pudiendo así, obtener un número incorrecto de concesiones dentro de una comuna y esta no presentar tal cantidad de concesiones, lo cual puede alterar el flujo de las rutas que se obtuvieron, ya que, el porcentaje de actividad se relaciona a la región. Sin embargo, con la metodología de simulación establecida en esta memoria se podría establecer de manera el movimiento de RAM en la actualidad con las concesiones activas reales para cada una de las comunas con el *Software OpenDRIFT*.

La conformación de un escenario que tuviera la totalidad de las concesiones activas del área de estudio fue efectuada con un total de 1.690 puntos emisores de RAM. Para poder simular una mayor cantidad de puntos emisores de RAM y un mayor nivel de simulaciones esta se vio limitada debido a un alto requerimiento de *hardware* para poder realizar simulaciones que podrían ser más detalladas a estas concesiones, agregando diversas variables al modelo que se utilizó. Las simulaciones presentadas dentro de esta memoria quedaron bajo los supuestos de que son partículas flotantes, sin la posibilidad de hundirse en el transcurso de la simulación, donde solo afectan las velocidades superficiales del océano en estas partículas.

Para poder aumentar el nivel de certeza de movimiento superficial de RAM en el mar, es necesaria la inclusión dentro del escenario de otras fuentes emisoras de RAM. Este es el caso de las fuentes de emisoras de partículas en movimiento, las cuales son barcos que se movilizan por estas regiones permitiendo la posibilidad de emitir RAM en diferentes partes del mar, aumentando la probabilidad de obtener diferentes zonas de acumulación de partículas y de diferentes rutas que estas puedan tomar a lo largo de la deriva.

La acumulación de partículas dentro del área de estudio tiene un grado de similitud con el estudio realizado por Hinojosa et al. El año 2013, debido a que mencionan que la mayor cantidad de RAM se ubican al norte de la Región de Los Lagos, precisamente en la zona norte del canal del Chacao, lo cual coincide con el estudio realizado en esta memoria. Además, en el estudio realizado por Hinojosa et al. Del 2013 delimitan las zonas características de la Región de Aysén, de la misma forma como se caracterizo el movimiento de las partículas al interior de esta región en el presente estudio.

Los mapas resultantes de esta memoria ofrecen una validación teórica del *software OpenDRIFT*, sin embargo, la validación empírica de la deriva de partículas en esta zona es inexistente, salvo por el estudio realizado en 2013 por Hinojosa donde caracteriza los RAM según la densidad que existen dentro de una zona en las regiones de Aysén y Los Lagos. Este proceso es fundamental para poder corroborar los resultados obtenidos y de esta forma validarlos. Por esto, en un futuro trabajo cabe la necesidad de realizar una validación empírica del movimiento de partículas en el área de estudio, mediante derivadores de partículas que son capaces de seguir de manera precisa el recorrido de un RAM, para tener un mayor grado de precisión en el modelo utilizado. Siendo necesario lo anterior, se podría afirmar a cabalidad que existen concesiones acuícolas que generan RAM que pueden traspasar regiones, desde la Región de Los Lagos hacia Aysén y viceversa.

La metodología de simulación utilizada en esta memoria muestra que es posible la caracterización del movimiento de elementos flotantes dentro del área de estudio. Si bien existieron limitantes en el estudio, da cuenta de que se podría simular del seguimiento de partículas dentro del mar, identificando los emisores que crean a las diferentes playas sumideros.

## CONCLUSIÓN

En esta memoria de título se realizó la simulación del movimiento Residuos Antropogénicos Marinos, derivados de la acción de actividad acuícola de las regiones de Los Lagos y Aysén. Se pudo obtener las rutas más características con las cuales las partículas se desplazaban para cada uno de los meses del año, además se obtuvo que las comunas de Maullín y Calbuco, ubicadas al norte del canal de Chacao, son las que poseen una mayor concentración de partículas varadas en sus costas.

Estos resultados fueron obtenidos debido al funcionamiento del *software OpenDRIFT* el cual tuvo el poder de computo para poder derivar las 141.456 partículas por mes de las 19 comunas de estudio para las 1.690 concesiones que se simularon. Esto se debe al alcance de las variables oceanográficas obtenidas del proyecto MOSA, el cual solo obtiene información a diario del área de estudio utilizado.

Las simulaciones de derivada oceánica de RAM de la Región de Aysén como de la Región de Los Lagos, mediante el *software OpenDRIFT*, obtuvieron partículas que migraban a las costas de la otra región. Estableciendo un escenario donde además de que las concesiones derivan partículas en sus cercanías, tendrían la posibilidad de poder llegar a las costas de otras regiones.

Esta memoria presenta un modelo de simulación de partículas a la deriva que puede ser utilizado para monitorear la dispersión de RAM desde diferentes puntos de emisión. Por esto, es de gran utilidad poder saber el rango de desplazamiento que pueden llegar a tener los RAM, y de esta forma poder dimensionar el real alcance de esta problemática. Esta información obtenida ayudaría a la ejecución de planes y actividades relacionadas con la limpieza de playas.

## BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, C.; R. Garreaud and J. Rutllant. 2014. Surface ocean response to synoptic-scale variability in wind stress and heat fluxes off south-central Chile. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 65: 64-85.

Bergmann, M.; M. B. Tekman and L. Gutow. 2017, Apr. Marine litter: Sea change for plastic pollution. [en línea]. *Nature*. 544(7650): 297. Recuperado en: < [https://www.nature.com/articles/544297a.epdf?shared\\_access\\_token=sk-NqZWsrVxlChci0B-dRgN0jAjWel9jnR3ZoTv0Mp31uwdehnXBHEJHWTMyhlp-NBSL-guJG5g8Ez9kXDdRDYq6UU3vVWkDff2--fprzIB9YKDr8yYsoMhXk6ffXay](https://www.nature.com/articles/544297a.epdf?shared_access_token=sk-NqZWsrVxlChci0B-dRgN0jAjWel9jnR3ZoTv0Mp31uwdehnXBHEJHWTMyhlp-NBSL-guJG5g8Ez9kXDdRDYq6UU3vVWkDff2--fprzIB9YKDr8yYsoMhXk6ffXay)> Consultado el: 29de junio de 2018.

Berry, A.; T. Dabrowsky and K. Lyons.2012. The oil spill model OILTRANS and its application to the Celtic Sea. *El Sevier*, 64: 2489-2501.

Bilbao, M.; S. Palma and N. Rozbaczylo. 2008. First records of pelagic polychaetes in southern Chile. *LatinAmerican Journal of Aquatic Research*, 36(1): 129-135.

Buschmann, A. 2001, diciembre. Impacto Ambiental de la acuicultura el estado de la investigación en Chile y el mundo. *Terram*, 1: 1-67.

CONAF. 2016. Rerva las Guaitecas. [en línea]. CONAF. Recuperado en : < <http://www.conaf.cl/parques/reserva-nacional-las-guaitecas/>> Consultado el: 22 de mayo de 2018.

Correa, D.; J. Tam; J. Pasapera; M. Saavedra y A. Ingunza. 2008, jul-sept. Modelo de la circulación marina y descargas hipotéticas en la bahía de Callao, Perú. *Instituto del Mar de Perú*, 35(3): 181- 192.

Dagestad, K and F. Rörhs. 2019, enero. Prediction of ocean surface trajectories using satellite derived vs. modeled ocean currents. *Remote Sensing of Environment*, 223: 130- 142.

Dagestad, K; F. Röhrs, J. Breivik, Ø. and Ådlandsvik, B. 2018, febrero: *OpenDRIFT v1.0: a generic framework for trajectory modelling*, *Geoscientific Model Development*, 11: 1405-1420.

Debreu, L.; P. Marchesiello; P. Penven and G. Cambon, 2012, marzo: Two-way nesting in split-explicit ocean models: algorithms, implementation and validation. *Ocean Modelling*, 49(50): 1-21.

Dréville, M.; R. Bourdallé-Badie; C. Derval; J.M. Lellouche; E. Rémy; B. Tranchant; M. Benkiran; E. Greiner; S. Guinehut; N. Verbrugge and G. Garric. 2008. The GODAE/Mercator-Ocean global ocean forecasting system: results, applications and prospects. *Operational Oceanography*, 1(1):51-57.

Elías, R. 2015. Mar de plástico: una revisión del plástico en el mar. *Investigación de Desarrollo Pesquero*, 27(1): 83-105

GORE Coquimbo (Gobierno Regional Región de Coquimbo). 2014, noviembre. INFORME FINAL: Implementación de una red de monitoreo meteorológico como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en el ámbito agrícola y acuícola de la región de Coquimbo. Gobierno Regional de Coquimbo. [en línea]. Coquimbo, Chile. 96p. Recuperado en: <[https://www.gorecoquimbo.cl/gorecoquimbo/site/artic/20160425/asocfile/20160425151318/2014\\_11\\_24\\_informe\\_final\\_fic\\_met.pdf](https://www.gorecoquimbo.cl/gorecoquimbo/site/artic/20160425/asocfile/20160425151318/2014_11_24_informe_final_fic_met.pdf)> Consultado el: 28 de julio de 2018.

González, H; L. Castro; G. Daneri; J. Iriarte; N. Silva; C. Vargas; R. Gieasecke and N. Sánchez. 2010. Seasonal plankton variability in Chilean Patagonia fjords: Carbon flowthrough the pelagic food web of Aysen Fjord and plankton dynamics in the Moraleda Channel basin. *El Sevier*. 31: 225–243.

Gutow, L; M. Ricker; J. Holstein; J. Dannheim; E. Stanev and J. Wolff. 2018. Distribution and trajectories of floating and benthic marine macrolitter in the south-eastern North Sea. Elsevier. 131: 763-772.

IFOP (Instituto de Fomento Pesquero). 2018. IFOP y Subpesca lanzan sitio CHONOS que entrega información oceanográfica. [en línea]. Chile. Recuperado en: <<https://www.ifop.cl/ifop-y-subpesca-lanzan-sitio-chonos-que-entrega-informacion-oceanografica/>> Consultado el: 28 de mayo de 2018.

Instituto Nacional de Estadísticas. 2015. [en línea]. Santiago, Chile: Pesca y Acuicultura. Recuperado en: <https://www.ine.cl/resultado-de-busqueda?indexCatalogue=todo-el-contenido-de-ine&searchQuery=Cap%C3%ADtulo%20Pesca%20y%20Acuicultura&wordsMode=AllWords>. Consultado el: 22 de mayo de 2018.

Instituto Nacional de Estadísticas. 2017. [en línea]. Santiago, Chile: Censo 2017. Recuperado en: <http://www.censo2017.cl/mapa-resultados-comunas/> Consultado el: 21 de mayo de 2018.

Jambeck, J.; R. Geyer; C. Wilcox; R. Siegler; M. Perryman; A. Andrady; R. Narayan and K. Law. 2015, febrero. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347 (6223): 768-771.

Kiessling, T.; S. Salas; K. Mutafoğlu and M. Thiel. 2017. Who cares about dirty beaches? Evaluating environmental awareness and action on coastal litter in Chile. *Ocean Coastal Management*, 137: 141–181.

Li, C.; L. Xu; Y. Xu and X. Kang. 2011, febrero. Simulation and prediction of pacific *plastic*. *Pollution. Applied Mechanics and Materials*, 50(51): 890-895

Lighezzolo, A.; E. Nievas; G. Zigarán; O. Asinari; I. Montamat; A. Martina; J. Saffe; A. Pérez-Hortal; M. Scavuzzo y A. Rodríguez. 2017. Implementación Operativa de un Pronóstico Numérico de Alta Resolución del Laboratorio de Hidráulica (pp 302-321). En: Congreso Nacional del Agua (26°, septiembre de 2017, Córdoba, Argentina). Córdoba, Argentina: CONAGUA. 19p

Mace, T. 2012. At-sea detection of marine debris: overview of technologies, processes, issues, and options. *Marine Pollution Bulletin*, 65 (1), 23–27

Montero P.; I. Pérez-Santos; G. Daneri; M.H. Gutiérrez; G. Igor; R. Seguel; D. Purdie and D.W. Crawford. 2017. A winter dinoflagellate bloom drives high rates of primary production in a Patagonian fjord ecosystem. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 199:105–116.

Pantoja, J.; I. Hinojosa; L. Miranda; M. Rivadeneira; N. Vásquez y M. Thiel 2012. basura marina antropogénica en ambientes costeros: una comparación interanual entre playas locales y aguas costeras. En: Congreso de Ciencias del Mar (Conference: XXII, octubre 2012). Punta Arenas, Chile: Universidad Católica del Norte. 4p.

Pinilla, E.; C. Ruiz y M. Salas. 2016, junio. Desarrollo de sistema de predicción sinóptico de circulación marina, II Etapa. (Doc. Tec.), Instituto de Fomento Pesquero, Subsecretaría de Economía y empresas de Menor Tamaño. IFOP. 201 p.

Proceedings of the Seventh EuroGOOS International Conference. (7°, 28 al 30 octubre de 2014, Lisboa, Portugal). Operational Oceanography for Sustainable Blue Growth. E. Buch, D. Eparkhina y G. Nolan (Eds.). Bruselas, Bélgica: EuroGOOS. 618p.

Prospectus Consulting. 2016, mayo. La Salmonicultura en Chile: Situación Actual y Estrategia de Desarrollo al 2030. Programa Estratégico Salmón Sustentable. [en línea]. Chile. 27p. Recuperado en: <<http://www.chiletransforma.agenciabigblue.com/wp-content/uploads/2017/08/Resumen-ejecutivo-Hoja-de-Ruta-PEM-SS-Version-final.pdf>> Consultado el: 25 de abril de 2019.

PNUMA (Program de las Naciones Unidas para el Medio AMbiente). 2017. Hacia un planeta sin contaminación. Nairobi, 29p

Salmon Chile. 2016. Segundo Informe de Sustentabilidad Industria del Salmón 2016 [en línea]. Chile. recuperado en: < [http://www.salmonchile.cl/es/sustentabilidad\\_2016.php](http://www.salmonchile.cl/es/sustentabilidad_2016.php)> Consultado el: 3 de junio de 2018.

Schepetkin, A. and J.C. McWilliams, 2005. The Regional Oceanic Modeling System: A split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate ocean model. *Ocean Modelling*, 9: 347-404

Sepúlveda, J.; S. Pantoja and K.A Huguen. 2011 Sources and distribution of organic matter in northern Patagonia fjords, Chile (44–46S): a multi-tracer approach for carbon cycling assessment. *Continental Shelf Research*, 31: 315–329

Sievers, H. y N. Silva. 2006. Masas de agua y circulación en los canales y fiordos australes. *Comité Oceanográfico Nacional*, 1: 53-58.

Sundberg, M. 2010. The Dynamics of Coordinated Comparisons: How Simulationists in Astrophysics, Oceanography and Meteorology Create Standards for Results. *Social Studies of Science*, 41(1): 107-125.

Tume, J y R. Marcial. 2013. SIG, Teledetección y modelos basados en variables oceanográficas aplicados a la pesquería de la Pota (*Dosidicus gigas*) en Paita, 2010 – 2011. *Ciencia y Desarrollo*. 2(16): 25-39

UNEP, 2009. Marine Litter: A Global Challenge. UNEP, Nairobi. 234p.

Wadsworth, J. 1997. Capítulo 1: Modelos y su uso. En: Análisis de Sistemas de Producción Animal - Tomo 2: las Herramientas Básicas. (Estudio FAO Producción y Sanidad Animal 140/2) [en línea]. Roma, Italia: FAO. Recuperado en: <<http://www.fao.org/3/w7452s/w7452s01.htm>> Consultado el: 22 de marzo de 2019

Woodall, L; A. Sanchez; M. Canals; G. Paterson; R. Coppock; V. Sleight; A. Calafat; A. Rogers; B. Narayanaswamy and R. Thompson. 2014, noviembre. The Deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society Open Science*, 1: 140317.