



Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**ANÁLISIS DE LOS PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE
CARBONO ORGÁNICO TOTAL DEPOSITADO BAJO LAS
BALSAS JAULAS DEL CENTRO DE CULTIVO BRAZO
MÉRIDA, UTILIZANDO EL MODELO DEPOMOD V2.2**

Sebastián Mauricio Escobar Márquez

Diciembre 2018

ANÁLISIS DE LOS PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE CARBONO ORGÁNICO
TOTAL DEPOSITADO BAJO LAS BALSAS JAULAS DEL CENTRO DE CULTIVO
BRAZO MÉRIDA, UTILIZANDO EL MODELO DEPOMOD V2.2

Sebastián Mauricio Escobar Márquez

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

Mario Cáceres M.

Oceanógrafo
Académico Universidad de Valparaíso
Profesor Guía

Jaime Leyton E.

Ingeniero Civil Oceánico
Académico Universidad de Valparaíso
Revisor

Diego Becerra G.

Ingeniero Civil Oceánico
Funcionario SHOA
Revisor

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

Mario Cáceres M
Profesor Guía

Sebastián Escobar Márquez
Alumno Memorista

AGRADECIMIENTOS

A través del tiempo me he dado cuenta de que el camino para obtener un título profesional de cualquier índole está lleno de dificultades que traen consigo logros y fracasos, lo que además de darte las herramientas para ser un buen profesional te enseña a enfrentar la vida todos los días.

Quiero agradecer, en primer lugar, a mi padre Jorge, que me ha enseñado, que, para poder lograr tus metas, tienes que trabajar duro y sacrificarte sin importar lo difícil que parezca.

A mi madre María por hacer hasta lo imposible para que siempre estuviera tranquilo y enfocado en la universidad con pequeños detalles que en su momento parecían tan sencillos y cotidianos, pero ahora me doy cuenta de que eran un gran apoyo brindado de manera incondicional.

Gracias a mis hermanos por estar siempre conmigo en los momentos más importantes de mi vida.

A Sofia mi pareja, que en este proceso agotador fue mi principal apoyo y a pesar de que la tesis fue fruto de mi esfuerzo, sin ti no lo habría logrado, gracias por entregarme tanto en momentos tan difíciles y sin esperar nada a cambio. Hoy y siempre serás una persona super importante en mi vida y puedes contar conmigo sin importar en qué circunstancias de la vida nos encontremos.

Agradecer al profesor Mario Cáceres, que sin conocerme y solamente comunicándonos por redes sociales y vía telefónica quiso ser mi profesor guía, ayudándome y corrigiendo de manera excelente.

Finalmente quiero dar las gracias a Plancton Andino Spa, en especial a Alejandro Clement, César Fernández y Gustavo Contreras por todo lo que me han enseñado para ser un mejor profesional y darme la oportunidad de crecer con un buen equipo de trabajo.

1 TABLA DE CONTENIDO

2	INTRODUCCIÓN.....	7
3	OBJETIVOS	8
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	8
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
4	ANTECEDENTES GENERALES	9
4.1	UBICACIÓN DEL PROYECTO	9
5	FUNDAMENTO TEÓRICO	10
5.1	CORRIENTES	10
5.1.1	TIPOS DE CORRIENTES.....	10
5.1.2	MEDICIÓN DE CORRIENTES.....	11
5.2	MAREA.....	11
5.2.1	MAREA ASTRONÓMICA	11
5.2.2	MAREA METEOROLÓGICA	11
5.3	MODELO DEPOMOD.....	12
5.3.1	MODULOS DEPOMOD V2.2.....	12
5.3.2	MODELO DE FINDLAY AND WATLING.....	15
6	METODOLOGÍA.....	16
6.1	FACTOR DE CORRECCIÓN NORTE GEOGRÁFICO	16
6.2	ESTUDIO DE VIENTOS	16
6.3	ESTUDIO DE MAREAS.....	19
6.4	ANÁLISIS DE CORRIENTES	21
6.5	MODELACIÓN CON DEPOMOD V2.2	22
6.5.1	PARAMETROS DE ENTRADA DEL MODELO.....	22
6.5.2	GENERACIÓN DE GRILLA	23
6.5.3	TRACK DE PARTICULAS	24
7	ANÁLISIS DE CORRIENTES	25
7.1	CORRIENTES MEDIDAS EN 30 DÍAS.....	26
7.2	CORRIENTES EN CUADRATURA.....	31
7.3	CORRIENTES EN SICIGIA	36
7.4	CORRIENTES EN MAREA LLENANTE	40
7.5	CORRIENTES EN MAREA VACIANTE	45
7.6	CORRIENTES CON RÁFAGAS DE VIENTO	50
7.7	CORRIENTES SIN RÁFAGAS DE VIENTOS.....	55

7.8	RESUMEN DE RESULTADOS CORRIENTES.....	60
8	RESULTADOS MODELACIÓN DEPOMOD V2.2	61
8.1	DISPERSIÓN DE COT CON REGISTRO COMPLETO	61
8.2	DISPERSIÓN DE COT EN CUADRATURA.....	62
8.3	DISPERSIÓN DE COT EN SICIGIA	63
8.4	DISPERSIÓN DE COT EN LLENANTE	64
8.5	DISPERSIÓN DE COT EN VACIANTE.....	65
8.6	DISPERSIÓN DE COT CON RÁFAGAS DE VIENTO	66
8.7	DISPERSIÓN DE COT SIN RAFAGAS DE VIENTOS.....	67
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
10	BIBLIOGRAFÍA	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación del proyecto.....	9
Figura 2.	Periodos de sicigia y cuadratura en 30 días.....	20
Figura 3.	Ubicación ADCP correspondiente a correntometría de 30 días.....	21
Figura 4.	Malla de 100x100 utilizada en DEPOMOD V2.2.	23
Figura 5.	Módulo Gridgen DEPOMOD V2.2.....	24
Figura 6.	Módulo Partrack DEPOMOD V2.2.	25
Figura 7.	Diagrama de vector progresivo corrientes de 30 días.	29
Figura 8.	Diagrama de velocidades (u,v) corrientes de 30 días.....	30
Figura 9.	Diagrama de vector progresivo corrientes en cuadratura.....	34
Figura 10.	Diagrama de velocidades (u,v) corrientes en cuadratura.	35
Figura 11.	Diagrama de vector progresivo corrientes en sicigia.	38
Figura 12.	Diagrama de velocidades (u,v) corrientes en sicigia.	39
Figura 13.	Diagrama de vector progresivo corrientes en llenante.	43
Figura 14.	Diagrama de velocidades (u,v) corrientes en llenante.....	44
Figura 15.	Diagrama de vector progresivo corrientes en vaciante.....	47
Figura 16.	Diagrama de velocidades (u,v) corrientes en vaciante.....	49
Figura 17.	Diagrama de vector progresivo corrientes en con ráfagas de viento.	53
Figura 18.	Diagrama de velocidades (u,v) corrientes con viento.....	54
Figura 19.	Diagrama de vector progresivo corrientes en sin ráfagas de viento.	58
Figura 20.	Diagrama de velocidades (u,v) corrientes sin viento.....	59
Figura 20.	Dispersión de COT e índice de impacto registro completo.....	61
Figura 21.	Dispersión de COT e índice de impacto en cuadratura.	62
Figura 22.	Dispersión de COT e índice de impacto en sicigia.	63
Figura 23.	Dispersión de COT e índice de impacto en llenante.....	64
Figura 24.	Dispersión de COT e índice de impacto en vaciante.....	65
Figura 25.	Dispersión de COT e índice de impacto con ráfagas de viento.....	66
Figura 26.	Rosa de Vientos, registro de 30 días.	67
Figura 27.	Dispersión de COT e índice de impacto sin ráfagas de viento.	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas vértices concesión DATUM WGS-18S	9
Tabla 2. Coordenadas vértices módulos DATUM WGS-18S.....	9
Tabla 3. Módulos utilizados en modelo DEPOMOD V2.2.....	13
Tabla 4. Clima medio vientos de 30 días.	17
Tabla 5. Análisis diario registro de vientos.	17
Tabla 6. Magnitudes máximas horarias día 23 de diciembre.....	18
Tabla 7. Magnitudes máximas horarias día 24 de diciembre.....	18
Tabla 8. Magnitudes mínimas horarias día 1 de enero.....	19
Tabla 9. Magnitudes mínimas horarias día 2 de enero.....	19
Tabla 10. Factor corrección marea puerto secundario.	20
Tabla 11. Alturas de marea corregidas.	20
Tabla 12. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de velocidad de la corriente del ADCP	22
Tabla 13. Parámetros de entrada de ciclo productivo.	23
Tabla 14. Calibre de alimentos.	23
Tabla 15. Supuestos utilizados en la modelación.....	24
Tabla 16. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes en la capa 5.	26
Tabla 17. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 12.....	27
Tabla 18. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 19.....	27
Tabla 19. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 25.....	27
Tabla 20. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 31.....	28
Tabla 21. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 5 en cuadratura.	31
Tabla 22. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 12 en cuadratura.	32
Tabla 23. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 19 en cuadratura.	32
Tabla 24. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 25 en cuadratura.	32
Tabla 25. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 31 en cuadratura.	33
Tabla 26. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 5 en sicigia.	36
Tabla 27. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 12 en sicigia.	36
Tabla 28. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 19 en sicigia.	37
Tabla 29. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 25 en sicigia.	37
Tabla 30. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 31 en sicigia.	37
Tabla 31. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 5 en llenante.	40

Tabla 32. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 12 en llenante.	40
Tabla 33. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 19 en llenante.	41
Tabla 34. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 25 en llenante.	41
Tabla 35. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 31 en llenante.	42
Tabla 36. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 5 en vaciante.	45
Tabla 37. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 12 en vaciante.	45
Tabla 38. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 19 en vaciante.	46
Tabla 39. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 25 en vaciante.	46
Tabla 40. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 31 en vaciante.	46
Tabla 41. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 5 con vientos.	50
Tabla 42. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 12 con vientos.	51
Tabla 43. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 19 con vientos.	51
Tabla 44. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 25 con vientos.	51
Tabla 45. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 31 con vientos.	52
Tabla 46. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 5 sin ráfagas de viento.	55
Tabla 47. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 12 sin ráfagas de viento.	55
Tabla 48. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 19 sin ráfagas de viento.	56
Tabla 49. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 25 sin ráfagas de viento.	56
Tabla 50. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 31 sin ráfagas de viento.	57
Tabla 51. Información de corrientes capas usadas en los distintos escenarios.	60
Tabla 52. Resultados DEPOMOD registro completo.	61
Tabla 53. Resultados DEPOMOD en cuadratura.	62
Tabla 54. Resultados DEPOMOD en sicigia.	63
Tabla 55. Resultados DEPOMOD en llenante.	64
Tabla 56. Resultados DEPOMOD en vaciante.	65
Tabla 57. Resultados DEPOMOD con ráfagas de viento.	66
Tabla 58. Resultados DEPOMOD sin ráfagas de viento.	68
Tabla 59. Resultados de dispersión de COT mediante DEPOMOD.	69

RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo caracterizar los patrones de distribución del carbono orgánico total depositado bajo las balsas jaulas del centro de cultivo Brazo Mérida, utilizando el modelo DEPOMOD V2.2.

Para la modelación DEPOMOD, se utilizó una correntimetría de 30 días, donde, a través de análisis de vientos y mareas, se determinaron efectos naturales que podían tener incidencia en las corrientes, de los cuales se consideraron; período de sicigias, cuadratura, marea llenante, marea vaciante, corrientes con y sin efectos de vientos. Además, se efectuó un análisis de corrientes de cada capa con el fin de caracterizar con la mayor precisión posible el vector de corrientes a lo largo de la columna de agua.

DEPOMOD solamente permite utilizar 5 capas verticales, por lo que se utilizaron las mismas capas para todos los análisis, cambiando la escala temporal de la medición de acuerdo a la metodología utilizada.

Una vez obtenida la dispersión de Carbono Orgánico Total (COT), se utilizó el modelo de Findlay and Watling para obtener el índice del área impactada, el que es una relación entre cantidad de oxígeno disponible y utilizada en el sedimento, donde si dicho índice es menor a 1, quiere decir que el fondo marino se encuentra anaeróbico, en otras palabras, sin oxígeno suficiente para que viva la flora y fauna marina.

Como resultado del estudio realizado, se pudo inferir que la dispersión de COT se propaga en las direcciones de las componentes de mayores magnitudes de corrientes de cada capa. También se pudo observar que no existe una gran variación entre cantidad de carbono que se deposita en el sedimento en períodos de marea vaciante, llenante, corrientes con y sin ráfagas de viento. Sin embargo, con corrientes en fases de sicigia, se produjeron las menores concentraciones de carbono, lo que indica que las grandes amplitudes de mareas producen un aumento de magnitud considerable sobre las corrientes, produciendo una mayor dispersión de COT.

Con el objeto de los resultados obtenidos se plantean recomendaciones a tomar en cuenta al momento de utilizar una correntimetría en el software DEPOMOD v2.2.

2 INTRODUCCIÓN

Una de las principales actividades económicas que se llevan a cabo en la zona austral de Chile, corresponde a la salmonicultura, donde hay evidencias en otros sitios del mundo que gran parte de las industrias salmoneras han provocado una disminución de la cantidad de oxígeno disponible en el fondo marino a causa de la materia orgánica emitida por los centros de engorda (Iwama, 1991). Dicha materia orgánica corresponde principalmente a los residuos fecales y de alimentos que caen desde las balsas jaula hacia los sedimentos, acumulándose con una distribución espacial incierta, la que dependerá principalmente de los patrones de advección por corrientes y de las velocidades de asentamiento de las partículas. En este estudio se busca caracterizar los patrones de distribución del carbono orgánico total, depositado bajo las balsas jaulas del centro de cultivo Brazo Mérida, utilizando el modelo DEPOMOD V2.2. Esto con la finalidad de mostrar la capacidad técnica del modelo, además de aportar al conocimiento para los tomadores de decisiones, y así disminuir el impacto al medio marino

Para estimar el área de cobertura y las concentraciones de materia orgánica en el fondo marino se requiere, sin embargo, de métodos directos como trampas de sedimentos y de mediciones de oxígeno en sedimentos y columna de agua en puntos discretos en el fondo, lo cual no siempre entrega una visión de la real extensión y magnitud de la distribución. Por este motivo, se ha extendido el uso de herramientas de modelación que permiten mejorar la comprensión y complementar las observaciones. En este caso, se han implementado software que son capaces de predecir la cantidad de Carbono Orgánico Total (en adelante COT) que es depositado sobre el sedimento en un ciclo productivo, donde el más utilizado en Chile corresponde a DEPOMOD.

DEPOMOD es un modelo de trayectoria de partículas que incluye resuspensión y análisis de la respuesta de los componentes del bentos, desarrollado en Escocia por “*Scottish Association for Marine Science (SAMS) Dunstaffnage Marine Laboratory en Oban*” (Cromey, Nickell, & Black, 2002), el cual se utiliza actualmente como instrumento regulador en la industria acuícola, con distribución de licencias de usuarios en todo el mundo destacándose dentro de Europa (Noruega e Irlanda), Estados Unidos, Canadá, Australia, Chile y Corea del Sur, países que en su mayoría han usado el modelo en investigación y/o herramienta de planificación y ha sido aplicado para realizar estudios de impacto de cultivos del salmón, trucha arco iris y mejillones entre otros, prediciendo el impacto de nutrientes, medicamentos y química orgánica. (Oyarzo, Guzmán, Pinilla, & Cañón, 2013).

En el año 2012 se realizó un estudio para SERNAPESCA de POCH Ambiental, en el cual se hizo una validación del software para la X región, la cual consistía en comparar resultados obtenidos por DEPOMOD vs datos de materia orgánica obtenidos en el laboratorio, concluyendo en uno de sus puntos que “*El modelo predice con certeza tanto el flujo de carbono en el sedimento que representan las áreas de mayor impacto, como la dirección de la misma. Por tal motivo, es posible indicar que se ha obtenido en términos generales, un balance general positivo de la capacidad predictiva del modelo DEPOMOD*” (Araneda R, 2012).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Caracterizar los patrones de distribución del **C**arbono **O**rgánico **T**otal (COT), depositado bajo las balsas jaulas del centro de cultivo Brazo Mérida, utilizando el modelo DEPOMOD V2.2

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

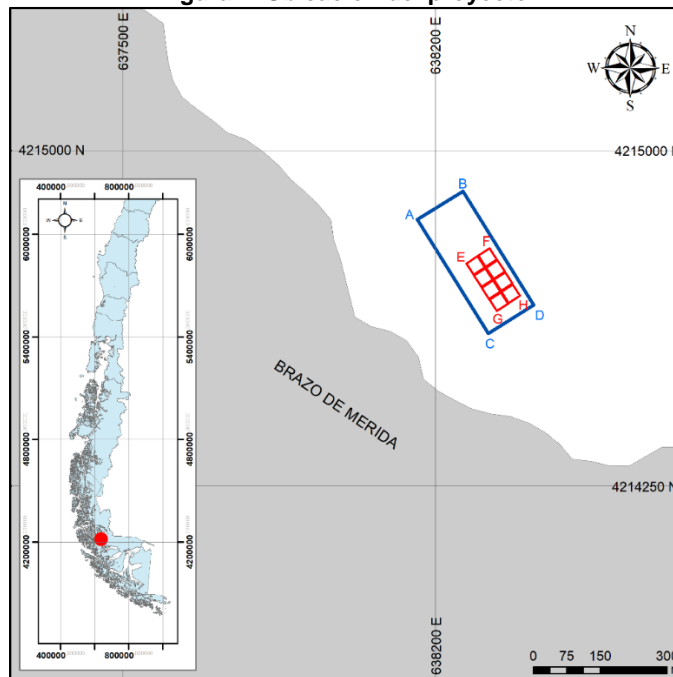
- Representar las características medio ambientales de la zona de estudio, mediante un análisis de corrientes, fondo marino y geografía del lugar.
- Simular los patrones de dispersión de carbono orgánico total del centro con el uso de diferentes corrientes por medio de modelaciones realizadas con DEPOMOD.
- Obtener el Índice de Impacto ambiental de cantidad de carbono orgánico emitido, por medio del modelo de Findlay and Waittling.
- Analizar el efecto de las corrientes sobre la dispersión de carbono orgánico total e Índice de Impacto que se produce en el sustrato para el centro de cultivo de salmones modelado, bajo distintos escenarios de forzamiento de la hidrodinámica del sitio.

4 ANTECEDENTES GENERALES

4.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra emplazado en el sector de Brazo de Mérida, Península Barros Arana, XII Región de Magallanes, donde la zona de concesión cuenta con un área de 35.999 m² (Tabla 1).

Figura 1. Ubicación del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Coordenadas vértices concesión DATUM WGS-18S

VÉRTICES	UTM N	UTM E	LATITUD	LONGITUD
A	638155	4214855	52°11'57.92"S	72°58'42.47"W
B	638264	4214916	52°11'55.85"S	72°58'36.82"W
C	638318	4214596	52°12'6.15"S	72°58'33.50"W
D	638422	4214661	52°12'3.95"S	72°58'28.13"W

Fuente: Elaboración propia.

Para este estudio las modelaciones DEPOMOD se realizaron con ocho jaulas de 30x30x15 m, utilizando un espacio total dentro de la concesión de 7.200 m².

Tabla 2. Coordenadas vértices módulos DATUM WGS-18S

COORDENADAS MÓDULOS DATUM WGS-18S				
VERTICES	UTM N	UTM E	LATITUD	LONGITUD
E	638269	4214748	52°12'1.28"S	72°58'36.31"W
F	638320	4214782	52°12'0.13"S	72°58'33.67"W
G	638337	4214642	52°12'4.65"S	72°58'32.57"W
H	638389	4214676	52°12'3.45"S	72°58'29.89"W

Fuente: Elaboración propia.

5 FUNDAMENTO TEÓRICO

5.1 CORRIENTES

Las corrientes marinas son movimientos del agua causados por agentes externos tales como las mareas, los gradientes de presión por densidad y alturas del agua, y por el esfuerzo de arrastre superficial del viento, entre otros agentes. Este movimiento puede ser modificado por la rotación terrestre (efecto de Coriolis), por la fricción interna y en los bordes, y por los rasgos batimétricos y de línea de costa que desvían su dirección (Panzarini, 1970).

En el caso de los sistemas estuarinos, se reconoce que el forzamiento de la hidrodinámica está determinado principalmente por las corrientes de marea y por el efecto de las descargas de agua dulce proveniente desde ríos. La interacción entre ambos forzantes lleva a la formación de un patrón vertical de dos capas de circulación conocido como circulación estuarina. Este patrón se ve modificado por el efecto del viento superficial, por el efecto de Coriolis, la fricción y la advección. Estas dos últimas se asocian a la batimetría y la configuración de la línea de costa del sitio (Dyer, 1997). Estos sistemas estuarinos predominan en la zona de fiordos del sur de Chile y dentro de ellos se desarrolla la principal actividad de salmonicultura nacional.

5.1.1 TIPOS DE CORRIENTES

CORRIENTES SUPERFICIALES

Las corrientes superficiales son producidas principalmente por el efecto de arrastre del viento superficial, las que pueden experimentar desviaciones por el efecto de Coriolis. Las corrientes superficiales también pueden ser originadas por las descargas de agua dulce a los sistemas costeros y estuarinos, pudiendo también experimentar desviaciones en su dirección por efecto de Coriolis.

CORRIENTES TERMOHALINAS

Las corrientes termohalinas, son aquellas que se producen por la diferencia de densidad de las aguas en relación con la salinidad y la temperatura y son características de las zonas profundas del océano abierto.

CORRIENTES DE MAREA

Las corrientes de marea se originan con el efecto de atracción gravitacional de la tierra, la luna y el sol. Los gradientes de presión por diferencia de altura generan desplazamiento horizontal del agua que será de baja velocidad en el océano abierto, pero que se incrementará notoriamente al ingresar a sistemas semicerrados como los fiordos y canales del sur de Chile.

CORRIENTES LITORALES

Las corrientes litorales se producen por el efecto combinado del oleaje y el viento en las zonas de rompiente del oleaje en la playa, las cuales se pueden desplazar a lo largo de la costa o perpendicular a esta.

5.1.2 MEDICIÓN DE CORRIENTES

Correntometría Euleriana: corresponde al estudio de corrientes por medio de un volumen de control, donde el flujo entra y sale de este midiendo magnitud y dirección. En la práctica consiste en una medición hecha por un instrumento que se instala en el fondo marino o en la superficie, el cual emite señales sonoras definiendo el perfil de velocidades de corrientes a lo largo de la columna de agua. Este instrumento se conoce como “*Correntómetro acústico Doppler*” o más bien conocido como ADCP (Troncoso, 2006).

Correntometría Lagrangeana: se caracteriza por ser una correntometría de derivación, la que, en otras palabras, sigue un volumen de agua en su desplazamiento por el espacio. Para este tipo de mediciones se utilizan derivadores, los que corresponden a aparatos que navegan por el mar, río, estuario o lago que, dependiendo de las profundidades y el lugar que se quiera hacer la medición va a variar su geometría y material de construcción. Además, para poder saber su trayectoria se les incorpora un sistema de posicionamiento global (GPS) (Troncoso, 2006).

La velocidad de las corrientes obtenida, tanto por el método Euleriano y Lagrangiano corresponde a la ponderación de las fuerzas de las corrientes, la cual varía tanto de forma temporal (escala de tiempo de medición), como de la profundidad a la cual se considera la medición efectuada.

5.2 MAREA

La marea se define como el ascenso y descenso periódico de la superficie del océano (SHOA, 1999), lo que puede ser causado por efectos gravitacionales que ejercen los astros sobre la tierra, o por variables meteorológicas como la presión o el viento.

5.2.1 MAREA ASTRONÓMICA

La marea astronómica corresponde a los cambios de nivel del mar que se producen debido a la atracción gravitacional que ejercen los distintos cuerpos celestes sobre la tierra, donde la luna y el sol son los cuerpos celestes que tienen mayor incidencia sobre los cambios mareas (SHOA, 1999).

Dependiendo de la posición en que se encuentra la luna y el sol con respecto a la tierra es el rango de marea que se produce (altura máxima y mínima de la marea). Como se puede apreciar en la Ilustración 2, la mayor y menor marea se presenta cuando la luna se encuentra alineada con el sol y la tierra (Lizano, 2003).

5.2.2 MAREA METEOROLÓGICA

La marea meteorológica son los cambios del nivel medio del mar producto de las variables meteorológicas en las zonas litorales, las que corresponden a:

Presión: Cuando sube o baja la presión el nivel del mar aumenta o disminuye en la zona costera (Lizano, 2003).

Viento: La fuerza provocada por el viento en la zona litoral produce que se acumule agua en esta, dando como resultado un aumento del nivel medio del mar (Lizano, 2003).

Oleaje: Una vez que la ola rompe, disminuye su altura produciéndose una sobreelevación del nivel del mar (set-up) (Lizano, 2003).

Para este proyecto se consideraron los parámetros de nivelación de la marea del sitio, para elaborar el plano batimétrico, el que es introducido al modelo DEPOMOD para posteriormente obtener la cantidad de COT que se deposita en el sustrato.

5.3 MODELO DEPOMOD

El modelo DEPOMOD versión 2.2 es utilizado para determinar la distribución espacial y las concentraciones de residuos orgánicos particulados depositados en el fondo marino como consecuencia de la producción de peces en los centros de cultivos. Este modelo fue desarrollado en Escocia por la Asociación de Ciencias Marinas, con el objetivo de regular las actividades que pueden causar impactos negativos en la calidad del agua, regulando la descarga y el impacto producido por la liberación de material orgánico al medio acuático (Cromey, Nickell, & Black, 2002).

El objetivo principal del modelo DEPOMOD es predecir la deposición de sólidos en el fondo marino alrededor de las balsas jaulas de cultivo de peces, asociando los cambios bentónicos provocados por los aportes de materia orgánica total en el medio. Para esto, se combinan las condiciones geográficas e hidrográficas de la localidad donde se está haciendo la modelación. Otro parámetro importante que se debe incorporar al modelo corresponde a los volúmenes de compuestos orgánicos totales liberados (material fecal y alimento no consumido), trazando los flujos de sedimentación de residuos sobre el sustrato (Cromey, Nickell, & Black, 2002).

5.3.1 MODULOS DEPOMOD V2.2

La dispersión de fecas y alimento no consumido depende de la profundidad media, velocidad de la corriente y la tasa de sedimentación de fecas y alimento, donde la capacidad de carga del sistema acuícola se estima en función de la cantidad COT máximo que se puede contener en el sustrato de un sitio dedicado a la actividad acuícola (Iwama, 1991). El modelo DEPOMOD v2.2 se divide en tres módulos, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Módulos utilizados en modelo DEPOMOD V2.2

MODULO	PARAMETROS DE ENTRADA
1.- Gridgen	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de grilla batimétrica de baja y alta resolución. • Incorporación de balsas jaulas
2.- Partrack	<ul style="list-style-type: none"> • Grilla batimétrica de mayor resolución. • Forma y medidas de las jaulas. • Cantidad y características de alimento por ciclo. • Cinco capas de corrientes. • Cantidad y diámetro de materia fecal.
3.- Resus	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros modelados en el módulo de Partrack. • Periodo de tiempo de producción de salmones.

Fuente: Elaboración propia.

1.- GRIDGEN

El módulo Gridgen, permite generar una grilla que incorpora y ajusta la información de profundidad y posición de las balsas jaulas, además de ajustar el área que se desea estudiar con mayor detalle, dado que la totalidad del área representada puede ser muy superior al área en la que sedimentan los residuos. Estos niveles de profundidad y ajuste de área son parámetros de entrada para el módulo Partrack.

2.-PARTRACK

El módulo Partrack describe el camino recorrido de cada una de las partículas en la columna de agua hasta su llegada al fondo; para ello, requiere de información hidrodinámica del sector y los volúmenes de residuos liberados por el centro de cultivo. Las trayectorias de estas partículas de alimento y fecas que se desplazan por la columna de agua están afectadas principalmente por los efectos de desplazamientos horizontales y verticales que producen las corrientes marinas del sector (Cromey, Nickell, & Black, 2002).

Las estimaciones de alimento y fecas que son liberadas al medio pueden expresarse de la siguiente manera:

$$F_c = F(1 - F_w)(1 - F_{wasted}) \quad \text{EC. 1}$$

$$W_{fd} = F(1 - F_w)F_{wasted} \quad \text{EC.2}$$

$$W_{fae} = F_c(1 - F_{dig}) \quad \text{EC.3}$$

Dónde:

- F : Es la tasa total de alimento entregado (Kg/día/Jaula)
- F_c : Es la tasa de alimento consumido de acuerdo con una tasa de alimento entregado (Kg/día/Jaula)
- F_w : Porcentaje de agua en el alimento.
- F_{wasted} : Porcentaje de residuos en el alimento.
- F_{fd} : Alimento no consumido (Kg/día/Jaula).
- W_{fue} : Tasa de material fecal dada una tasa de alimento consumido y digestibilidad (Kg/día/Jaula).
- F_{dig} : Porcentaje de Digestibilidad del alimento en los peces.

Según (Cromey, Nickell, & Black, 2002), es conveniente para la modelación horizontal de partículas en la columna de agua, considerar las corrientes marinas como la suma de dos componentes, con una variación relativamente baja de la componente de la marea y fuerza del viento, pero una variación relativamente más alta de la componente de turbulencia, que tiene una media igual a cero con un paso de tiempo (t).

Una posición de la partícula está definida como $P_{(x,y,t)}$ con componentes de velocidad u y v .

La trayectoria puede ser definida como:

$$P_{(x,y,t+1)} = P_{(x,y,t)}dt + u_{(z,t+1)} + rw_{pas(x)} + v_{(z,t+1)}dt + rw_{pas(y)} \quad \text{EC.4}$$

Para una velocidad de sedimentación o hundimiento de los materiales vs en ($mst * s^{-1}$), el paso vertical se puede calcular de la siguiente manera:

$$P_{(z,t+1)} = P_{(z,t)} + vsdt + rw_{paso(z)} \quad \text{EC.5}$$

La longitud del paso (desplazamiento) en el modelo de turbulencia aleatoria es dependiente del tiempo en que la partícula permanece en el campo de turbulencia y un coeficiente de dispersión,

$$rw_{paso(x,y)} = rw_{dir}\sqrt{2k_{x,y}dt} \quad \text{EC.6}$$

Donde

- $rw_{paso(x)}$: trayectoria de la partícula en x e y en (m).
- rw_{dir} : Dirección + o -, en la que se mueve la partícula, determinada por el modelo generador aleatorio.
- k_x : Coeficiente de dispersión en (m^2/s).
- dt : Tiempo en el que la partícula permanece en el campo de turbulencia en (seg).

3.- RESUS

Este módulo analiza la resuspensión de las partículas en el agua, la que puede ser causada por acontecimientos naturales, como fuertes vientos, corrientes de mareas o actividades biológicas. Sin embargo, el no considerar la resuspensión sería lo mas coherente, ya que al momento de hacer una modelación DEPOMOD se considera el peor escenario.

5.3.2 MODELO DE FINDLAY AND WATLING

El modelo de Findlay & Watling permite determinar el impacto que tendrán las concentraciones de COT sobre el sustrato mediante la obtención de un Índice de Impacto ambiental, el cual entrega un balance entre la demanda de oxígeno y el oxígeno disponible. Donde, si la disponibilidad es mayor que la demanda, el índice tendrá un valor mayor a 1 y los impactos serian mínimos, en cambio, si la disponibilidad y la demanda son equivalentes, el Índice sería cercano a 1 y los impactos moderados. Finalmente, si la demanda es mayor que la disponibilidad de oxígeno, los valores del Índice serán menores que 1 y los impactos serán altos (Findlay & Watling, 1997).

El Índice de Impacto se obtiene de la siguiente formula:

$$I = \frac{\text{Disponibilidad de } O_2}{\text{Demanda de } O_2} \quad \text{EC.7}$$

$$\text{Disponibilidad de } O_2 = -32,6 + 1,1 * \text{Carbono depositado (mmolC/m}^2\text{/Día)} \quad \text{EC.8}$$

$$\text{Demanda de } O_2 = 736,3 + 672,6 * \log(\text{Velocidad de Corrientes}) \quad \text{EC.9}$$

Es importante destacar que la cantidad de carbono depositado por día es un resultado obtenido por el modelo DEPOMOD V2.2.

6 METODOLOGÍA

Debido a que se busca determinar la influencia de las corrientes en la dispersión de COT en el sedimento, se efectuaron diversas modelaciones con una correntimetría de 30 días medidas desde el 3 de diciembre del 2017 hasta el 5 de enero del 2018. Además, se utilizaron datos de vientos y marea para evaluar el efecto de estos sobre las corrientes bajo distintos escenarios.

6.1 FACTOR DE CORRECCIÓN NORTE GEOGRÁFICO

En las mediciones de corrientes y vientos, se registraron direcciones con referencia hacia el norte magnético, por lo que fue necesario aplicar un factor de corrección direccional obtenido de “Atlas hidrográfico de Chile”(SHOA, 2001), donde se indica que para el sector de Brazo Mérida en el año 1996 el factor de corrección correspondía a 15°49' E con una desviación anual de 4'W, por lo que a la fecha la desviación total corresponde a 1,47°W, quedando un factor de corrección de 14,35° E, lo cual se resta al vector direccional de corrientes y vientos, quedando orientados al norte geográfico.

6.2 ESTUDIO DE VIENTOS

Para determinar la influencia del viento sobre las corrientes se analizaron dos registros de vientos obtenidos de “Dirección Meteorológica de Chile” medidos en la misma escala temporal que los datos de corrientes.

Los datos de vientos son obtenidos de una estación meteorológica¹ “Teniente Gallardo” perteneciente a la localidad de Puerto Natales, medidos a una altura de 69 metros sobre el nivel del mar, la cual se encuentra a 65 km de la zona de estudio siendo la estación con registros históricos más cercana al sitio. Debido a que el objetivo es analizar las corrientes afectadas por la fuerza del viento, fue necesario obtener las magnitudes a una altura de medición de 10 metros por sobre el nivel del mar, debido a que a esa altura en las corrientes podrían verse influenciadas por el viento.

Para cambiar la velocidad del viento a una altura de 10 metros se utilizó una corrección de velocidades mediante distribución logarítmica (ROM, 04-95).

$$V_x = V_m * \frac{\ln(\frac{Z_x}{Z_0})}{\ln(\frac{Z_m}{Z_0})} \quad \text{EC.10}$$

Donde:

V_x : Velocidad de viento en la altura deseada.

V_m : Velocidad de viento medida.

Z_x : Altura deseada.

Z_m : Altura medida.

Z_0 : Factor de rugosidad.

El valor adoptado para la rugosidad superficial fue de 0,3 m, de acuerdo con lo establecido por las recomendaciones para obras marítimas (ROM 04-95). Este coeficiente se seleccionó considerando el valor mínimo para un tipo de superficie III. Una superficie

¹ <http://www.meteochile.cl/PortalDMC-web/index.xhtml>

boscosa, de campo con obstáculos abundantes (con alturas entre 9 y 15 m) y pequeñas zonas urbanas.

De los registros de vientos obtenidos se observa que las magnitudes que presentan mayor frecuencia corresponden a las que se encuentran de 1 a 4 m/s con un 70%, con direcciones oeste y noroeste. Por otra parte, las velocidades inferiores a 1 m/s concentran un 22% de los datos con una distribución similar entre direcciones a excepción del sentido E (Tabla 4)

Tabla 4. Clima medio vientos de 30 días.

	Magnitud (m/s)					Total	Frecuencia
	calma	1-2	2-4	4-6	6-8		
Dirección	N	113	199	32		344	7%
	NE	102	37	6		145	3%
	E	81	10			91	2%
	SE	113	58	1		172	4%
	S	104	82	8		194	4%
	SW	163	186	139	6	494	10%
	W	157	240	434	84	915	19%
	NW	204	594	1358	289	2452	51%
Total	1037	1406	1978	379	4807	100%	
Frecuencia	22%	29%	41%	8%	0%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Análisis diario registro de vientos.

	Magnitud (m/s)					Total	Frecuencia
	calma	1-2	2-4	4-6	6-8		
03-12-2017	73	6	14			93	2%
04-12-2017	9	50	79	6		144	3%
05-12-2017	2	17	93	32		144	3%
06-12-2017	14	66	63	1		144	3%
07-12-2017	27	53	57	7		144	3%
08-12-2017	38	37	54	15		144	3%
09-12-2017	32	53	59			144	3%
10-12-2017	73	10	29	31	1	144	3%
11-12-2017	29	88	27			144	3%
12-12-2017	24	28	82	10		144	3%
13-12-2017	3	46	81	14		144	3%
14-12-2017	14	65	61	4		144	3%
15-12-2017	57	58	29			144	3%
16-12-2017	40	68	35	1		144	3%
17-12-2017	13	29	69	31	2	144	3%
18-12-2017	2	16	84	42		144	3%
19-12-2017	95	33	15	1		144	3%
20-12-2017	53	9	59	23		144	3%
21-12-2017	6	39	93	6		144	3%
22-12-2017	15	53	75	1		144	3%
23-12-2017		28	80	32	4	144	3%
24-12-2017	2	20	79	43		144	3%
25-12-2017	28	76	40			144	3%
26-12-2017	15	21	94	14		144	3%
27-12-2017	44	42	48	10		144	3%
28-12-2017	7	66	69	2		144	3%
29-12-2017	7	61	63	13		144	3%
30-12-2017		7	108	29		144	3%
31-12-2017	4	28	104	8		144	3%
01-01-2018	83	53	8			144	3%
02-01-2018	65	67	12			144	3%
03-01-2018	85	15	41	3		144	3%
04-01-2018	38	55	51			144	3%
05-01-2018	40	43	23			106	2%
Total	1037	1406	1978	379	7	4807	100%
Frecuencia	22%	29%	41%	8%	0%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

Los días que presentan mayores ráfagas de vientos corresponden al 23 y 24 de diciembre, con magnitudes máximas de 6 m/s y un total de 75 registros entre estas. Por otra parte, los vientos con menor intensidad se observan en los días 1 y 2 de enero con ráfagas mínimas inferiores a 1m/s (Tabla 5).

Las mayores magnitudes se registran entre las 12:00 y las 22:00 hrs de los días 23 y 24 respectivamente. Se presentan velocidades máximas de 4 a 8 m/s con mayores magnitudes el día 24 con un porcentaje de 30% (Tabla 6 y 7).

Tabla 6. Magnitudes máximas horarias día 23 de diciembre.

		Magnitud (m/s)				Total	Frecuencia
23-12-2017		1-2	2-4	4-6	6-8		
Hora	0:00-2:00	4	8			12	8%
	2:00-4:00	7	5			12	8%
	4:00-6:00	9	3			12	8%
	6:00-8:00	6	6			12	8%
	8:00-10:00	1	12			13	9%
	10:00-12:00		7	4		11	8%
	12:00-14:00		5	7		12	8%
	14:00-16:00		1	8	4	13	9%
	16:00-18:00		5	6		11	8%
	18:00-20:00		8	4		12	8%
	20:00-22:00		11	2		13	9%
	22:00-0:00	1	9	1		11	8%
	Total		28	80	32	4	144
Frecuencia		19%	56%	22%	3%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Magnitudes máximas horarias día 24 de diciembre.

		Magnitud (m/s)				Total	Frecuencia
24-12-2017		calma	1-2	2-4	4-6		
Hora	0:00-2:00		6	6		12	8%
	2:00-4:00		2	2	8	12	8%
	4:00-6:00			3	9	12	8%
	6:00-8:00			8	4	12	8%
	8:00-10:00			12	1	13	9%
	10:00-12:00		1	10		11	8%
	12:00-14:00			8	4	12	8%
	14:00-16:00			4	9	13	9%
	16:00-18:00			6	5	11	8%
	18:00-20:00			12		12	8%
	20:00-22:00	1	2	7	3	13	9%
	22:00-0:00	1	9	1		11	8%
	Total		2	20	79	43	144
Frecuencia		1%	14%	55%	30%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis horario de magnitudes de vientos (Tabla 8 y 9), se presentan velocidades inferiores a 1 m/s desde las 4:00 horas del día 1 hasta las 10:00 horas del 2 de enero, con una frecuencia de 58% y 45%, respectivamente. Además, los valores máximos registrados corresponden a los que se encuentran en las clases de 2 a 4 m/s con frecuencias relativas de 6%.

Tabla 8. Magnitudes mínimas horarias día 1 de enero.

		Magnitud (m/s)			Total	Frecuencia
01-01-2018		calma	1-2	2-4		
Hora	0:00-2:00		11	1	12	8%
	2:00-4:00		8	4	12	8%
	4:00-6:00	7	3	2	12	8%
	6:00-8:00	7	5		12	8%
	8:00-10:00	12	1		13	9%
	10:00-12:00	7	4		11	8%
	12:00-14:00	9	3		12	8%
	14:00-16:00	12	1		13	9%
	16:00-18:00	5	5	1	11	8%
	18:00-20:00	9	3		12	8%
	20:00-22:00	8	5		13	9%
	22:00-0:00	7	4		11	8%
	Total		83	53	8	144
Frecuencia		58%	37%	6%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Magnitudes mínimas horarias día 2 de enero.

		Magnitud (m/s)			Total	Frecuencia
02-01-2018		calma	1-2	2-4		
Hora	0:00-2:00	4	8		12	8%
	2:00-4:00	3	9		12	8%
	4:00-6:00	12			12	8%
	6:00-8:00	12			12	8%
	8:00-10:00	13			13	9%
	10:00-12:00	5	6		11	8%
	12:00-14:00	3	6	3	12	8%
	14:00-16:00		12	1	13	9%
	16:00-18:00		10	1	11	8%
	18:00-20:00		7	5	12	8%
	20:00-22:00	3	8	2	13	9%
	22:00-0:00	10	1		11	8%
	Total		65	67	12	144
Frecuencia		45%	47%	8%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

A raíz de que DEPOMOD V2.2 solamente permite incorporar datos de corrientes al modelo, para observar la influencia que tiene el viento sobre estas, se efectuaron modelaciones con corrientes medidas entre los intervalos de tiempo anteriormente presentados, donde para los días 23 y 24 de diciembre, se consideraron las ráfagas de vientos y los días 1 y 2 de enero, se evaluaron corrientes con influencias mínimas de vientos.

6.3 ESTUDIO DE MAREAS

Se realizó un estudio de mareas con el objetivo de analizar el efecto de los cambios de niveles del mar (Llenante, vaciante, fase de cuadratura y sicigia) sobre las corrientes influenciando la dispersión de COT.

Para todos los análisis los datos de mareas fueron obtenidos de tablas de mareas del SHOA de los años 2017 y 2018.

Para realizar el estudio de mareas, en primera instancia se debieron ajustar las alturas de mareas para Angostura Kirke, por ser el puerto secundario más cercano a Brazo Mérida. El puerto patrón correspondiente para la corrección de alturas y horas de Puerto Montt (Tabla 10).

Debido a que el ajuste horario de la tabla de mareas del SHOA se encontraba en Z+4 solo se sumaron las horas pertenecientes a las pleamares y bajamares correspondientes (Tabla 11).

Tabla 10. Factor corrección marea puerto secundario.

	hora	Altura
Pleamar	+3:15:00	0
bajamar	+3:15:00	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Alturas de marea corregidas.

fecha	Puerto Patron		Puerto secundario	
	hora	Altura (m)	hora corregida	Corregidas
20-03-2017	0:24	2.92	3:39	2.92
20-03-2017	6:40	4.28	9:55	4.28
20-03-2017	12:30	3.17	15:45	3.17
20-03-2017	19:13	4.51	22:28	4.51
21-03-2017	2:09	3.06	5:24	3.06
21-03-2017	8:33	4.17	11:48	4.17
21-03-2017	14:19	3.29	17:34	3.29
21-03-2017	20:56	4.55	0:11	4.55

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que en el periodo de medición de corrientes se registraron tres fases de sicigia y dos de cuadratura, los cuales, a pesar de ser de aproximadamente 24 horas, fueron considerados como los periodos donde se encontraban las mayores y menores amplitudes (Figura 2).

Figura 2. Periodos de sicigia y cuadratura en 30 días.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede distinguir que las mareas de sicigia con luna llena presentan las mayores amplitudes, mientras que, en luna nueva, las diferencias de altura son menores. Por otra parte, las mareas de cuadratura que presentan mayor rango de alturas corresponden a la que se encuentra con fase lunar cuarto menguante.

Para los análisis de corrientes de sicigia se consideraron los registros obtenidos desde el 3 al 4 de diciembre del 2017, debido a que se observan las mayores diferencias de alturas mareales.

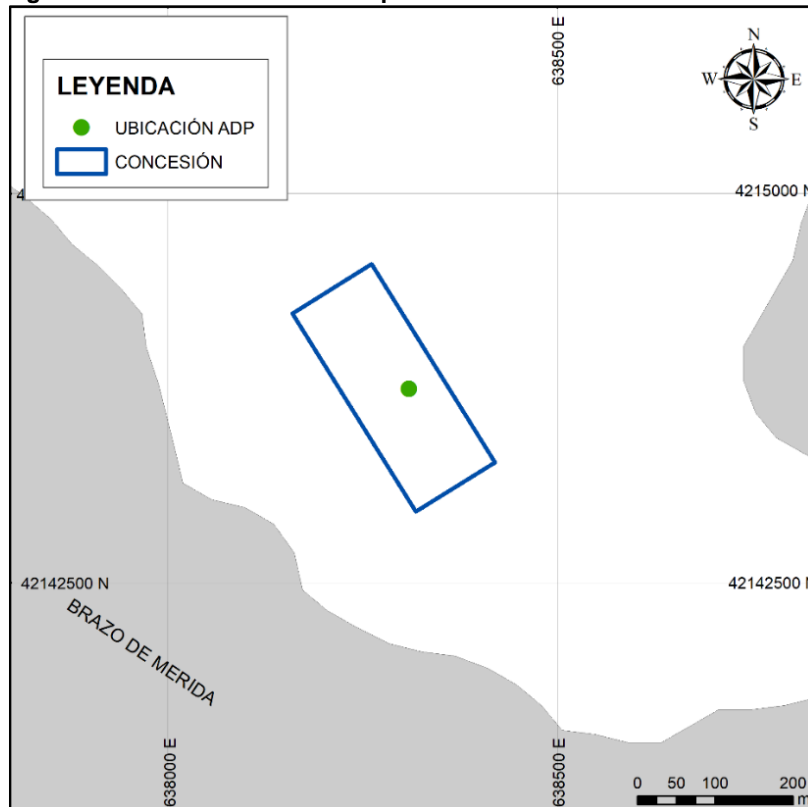
Para los análisis de corrientes en cuadratura se consideraron los registros obtenidos desde el 26 al 27 de diciembre del 2017, ya que se observan las menores diferencias de alturas de mareas.

Finalmente, para los análisis de corrientes con marea llenante se consideraron los registros del 4 de diciembre del 2017, ya que se encontró la pleamar más alta de todo el registro. Mientras que, para marea vaciante se consideraron los del 2 de enero del 2018, ya que presentaron las bajamares más bajas de los datos.

6.4 ANALISIS DE CORRIENTES

Para realizar el análisis de corrientes de 30 días se utilizó un Perfilador Acústico de Corrientes Doppler (ADCP) instalado mirando hacia arriba en una estructura fija en el fondo marino, en coordenadas 638310 E y 4214749 N (Figura 3). El equipo estuvo instalado por 33 días desde el 3 de diciembre del 2017 hasta el 5 de enero del 2018, en una profundidad de 62 m. Se configuró el instrumento en celdas verticales de medición cada 2 m e intervalo de medición cada 10 min. Los datos de corrientes fueron previamente procesados, eliminando capas superficiales donde se registraron magnitudes pertenecientes al viento, producto de los cambios de mareas y configuración del equipo. Los datos de corrientes fueron facilitados por la Empresa Plancton Andino Spa.

Figura 3. Ubicación ADCP correspondiente a correntometría de 30 días.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 12, se presentan las magnitudes de corrientes en cada una de las capas, donde se puede observar que poseen mayor porcentaje de ocurrencia entre los 5,1 y 10 cm/s, seguido por 3,1 a 5 cm/s. Además, las capas que se encuentran entre 0 y 4 m, poseen las velocidades con mayores magnitudes de todo el registro, lo cual se debe a efectos de vientos y mareas en las capas más superficiales.

Tabla 12. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de velocidad de la corriente del ADCP

Capas	Profundidad (m)	Frecuencia de ocurrencia (%)								
		<1,5 cm/s	1,5 – 3,0 cm/s	3,1 – 5,0 cm/s	5,1 – 10,0 cm/s	10,1 – 15,0 cm/s	15,1 – 20,0 cm/s	20,1 – 25,0 cm/s	25,1 - 30,0 cm/s	> 30,1 cm/s
1	00-02	0.35	1.10	1.79	4.49	2.81	2.83	3.14	5.01	78.48
2	02-04	2.45	6.80	12.02	31.40	19.46	13.60	8.65	4.35	1.27
3	04-06	2.81	9.88	16.72	40.38	19.75	8.05	2.00	0.40	0.02
4	06-08	3.35	10.15	18.63	36.35	18.24	8.53	3.78	0.81	0.17
5	08-10	3.02	9.71	18.07	38.84	19.03	7.40	2.85	0.87	0.21
6	10-12	4.08	10.73	19.94	39.32	17.68	6.13	1.77	0.31	0.04
7	12-14	3.95	11.08	19.86	38.95	15.26	6.92	2.56	0.94	0.48
8	14-16	3.49	10.15	19.40	38.10	16.24	7.40	3.47	1.29	0.46
9	16-18	4.95	14.58	23.54	42.32	12.16	2.20	0.23	0.00	0.02
10	18-20	6.24	17.57	28.13	41.73	5.88	0.33	0.06	0.02	0.02
11	20-22	6.20	19.61	29.94	39.13	4.85	0.25	0.02	0.00	0.00
12	22-24	6.99	18.86	28.84	39.86	5.01	0.37	0.04	0.02	0.00
13	24-26	7.07	20.82	30.13	38.26	3.64	0.08	0.00	0.00	0.00
14	26-28	6.76	18.92	31.96	37.89	4.20	0.23	0.04	0.00	0.00
15	28-30	7.94	21.31	31.19	36.41	2.97	0.12	0.04	0.00	0.00
16	30-32	7.22	20.00	32.63	36.81	3.12	0.17	0.06	0.00	0.00
17	32-34	7.63	22.27	31.71	35.41	2.70	0.25	0.02	0.00	0.00
18	34-36	7.01	20.61	30.51	38.45	3.22	0.10	0.08	0.02	0.00
19	36-38	7.49	21.06	31.21	36.89	3.12	0.19	0.00	0.02	0.02
20	38-40	7.42	20.57	32.54	36.41	2.87	0.10	0.06	0.00	0.02
21	40-42	7.26	20.57	29.86	38.49	3.66	0.15	0.00	0.00	0.02
22	42-44	7.38	21.58	30.55	36.70	3.72	0.02	0.00	0.04	0.00
23	44-46	6.74	19.96	29.88	39.26	3.87	0.23	0.04	0.00	0.02
24	46-48	6.82	18.44	29.90	40.36	4.30	0.15	0.00	0.02	0.00
25	48-50	6.18	17.76	28.63	41.03	5.97	0.37	0.06	0.00	0.00
26	50-52	5.84	17.53	27.76	42.38	5.99	0.50	0.00	0.00	0.00
27	52-54	5.07	14.85	25.85	42.77	9.40	1.60	0.29	0.12	0.04
28	54-56	3.78	11.71	20.07	40.80	15.91	5.49	1.91	0.23	0.10
29	56-58	3.29	10.25	18.82	42.82	18.44	5.24	0.94	0.19	0.02
30	58-60	5.07	15.24	27.76	44.19	7.47	0.27	0.00	0.00	0.00
31	60-62	5.24	15.80	27.05	44.15	7.49	0.27	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Las capas seleccionadas para el análisis fueron 5, 12, 19, 25 y 31 con el objetivo de que quedara una capa a nivel de jaulas y debajo de estas, además de distribuirlas de manera equidistantes para representar de mejor manera el vector de corrientes en la columna de agua.

6.5 MODELACIÓN CON DEPOMOD V2.2

6.5.1 PARAMETROS DE ENTRADA DEL MODELO

Los parámetros de entrada para realizar la modelación de dispersión de COT mediante DEPOMOD V2.2 fueron extraídas del proyecto técnico (PT) “Caracterización preliminar de sitio (CPS) y modelación DEPOMOD” que se encuentran en la plataforma web perteneciente al Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental².

²http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=21324853
69

Se consideraron un total de 8 jaulas de 30x30x15 m y una producción de 3500 toneladas en un ciclo de 23 meses (Tabla 13).

Es importante destacar que el factor de conversión multiplicado por la biomasa que se produce, indica la cantidad de alimento por ciclo que se necesita.

Tabla 13. Parámetros de entrada de ciclo productivo.

Número de jaulas	8
Dimensiones jaulas (m)	30x30x15
Producción (toneladas)	3500
Factor de conversión	1,1
Ciclo	690
Alimento por ciclo (toneladas)	3850
Alimento/jaula/día (kg)	697,46

Fuente: Elaboración propia.

Uno de los factores más importantes a considerar son las dietas de los peces, en las que la velocidad de sedimentación tendrá una influencia mayor en la dispersión de COT que el diámetro del alimento (Tabla 14).

Tabla 14. Calibre de alimentos.

Diámetro de pellets (mm)	%	Velocidad de sedimentación (m/s)
3	10	0.076
7.6	20	0.110
9	70	0.122

Fuente: Elaboración propia.

6.5.2 GENERACIÓN DE GRILLA

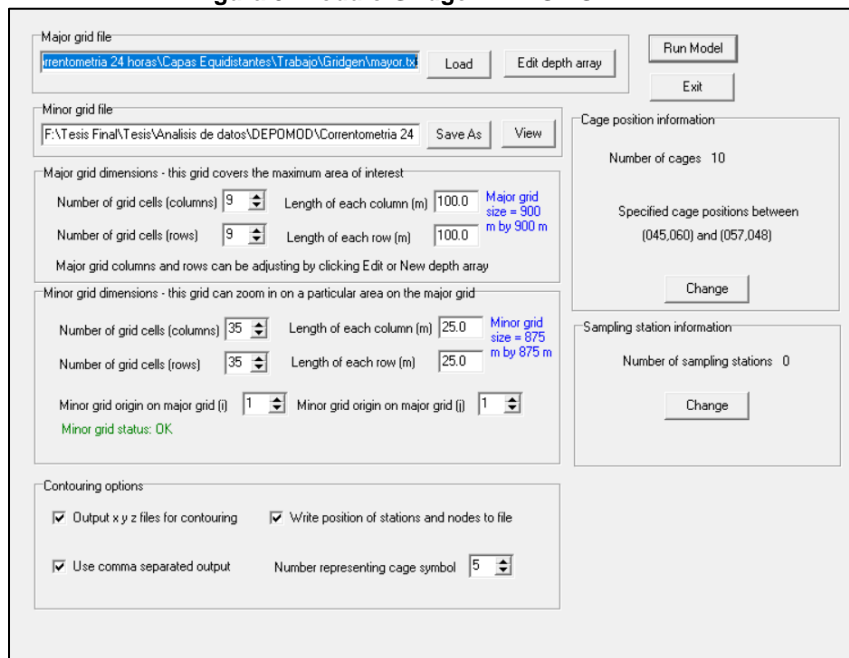
Para la grilla batimétrica se utilizaron los datos extraídos de la caracterización preliminar de sitio (CPS), donde se encontraron los puntos en coordenadas UTM y cada profundidad corregida por marea, los cuales fueron interpolados con SURFER haciendo una malla de 100X100 m con 9 celdas en dirección N y 10 en dirección E (Figura 4).

Figura 4. Malla de 100x100 utilizada en DEPOMOD V2.2.

BATIMETRÍA									
54	90	109	112	111	116	106	81	57	37
35	57	72	85	95	100	94	71	40	10
6	35	60	74	82	92	82	59	36	2
0	20	46	58	70	84	76	56	20	0
0	9	37	58	71	75	73	41	15	0
0	3	16	40	62	68	69	54	16	6
0	0	0	10	30	43	58	40	30	11
0	0	0	0	2	11	35	27	16	5
0	0	0	0	0	0	6	3	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Módulo Gridgen DEPOMOD V2.2.



Fuente: DEPOMOD V2.2

Posteriormente la batimetría fue incorporada al módulo Gridgen, donde se indicó la cantidad de jaulas y posición, generando una nueva grilla con espaciamiento de 25x25 m la que posteriormente fue introducida al modelo Partrack (Figura 5).

6.5.3 TRACK DE PARTICULAS

En el módulo de track de partículas (Partrack), se incorporaron los parámetros de entrada de producción, calibres de alimentos, tamaño de las jaulas y corrientes. También, se establecen como parámetros de entrada valores que se encuentran recomendados y validados para el modelo (Cromey, Nickell, & Black, 2002) (Tabla 15).

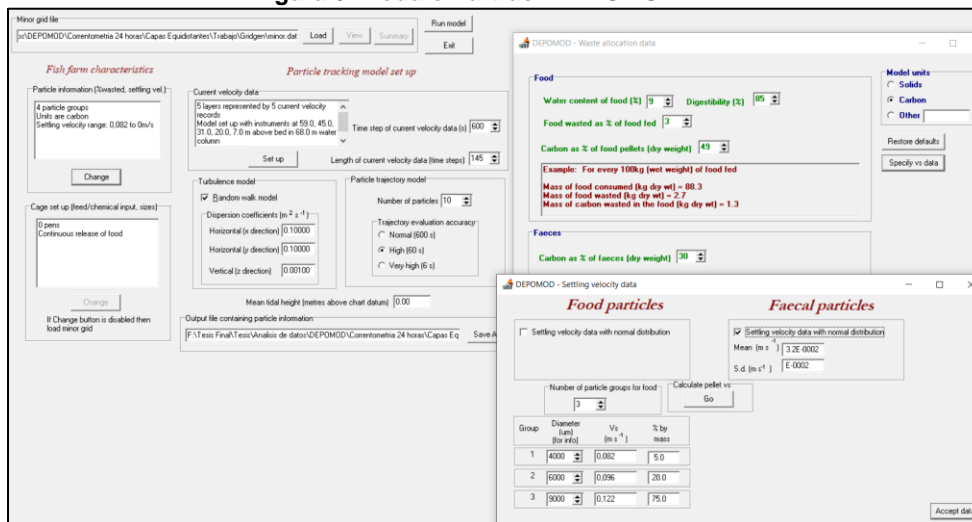
Es importante destacar que, se consideró una velocidad de partículas fecales de 0,032 m/s con una desviación estándar de 0,11 m/s con una distribución normal (Figura 6).

Tabla 15. Supuestos utilizados en la modelación.

Supuestos modelo	
Cont. Agua en alimento	9%
Alimento no consumido	3%
C del alimento en peso seco	49%
C en fecas	30%
Digestibilidad	85%
Coef dispersión (x)	0,1 m ² /s
Coef dispersión (y)	0,1 m ² /s
Coef dispersión (z)	0,001 m ² /s

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Módulo Partrack DEPOMOD V2.2.



Fuente: Elaboración propia.

7 ANÁLISIS DE CORRIENTES

Para el análisis de corrientes se subdividió el registro de 30 días en segmentos representativos de un forzante externo de la hidrodinámica, con el objetivo de determinar cuáles son los eventos naturales que tienen mayor incidencia sobre la dispersión de COT en el sedimento. Se analizaron corrientes en períodos de sicigia, cuadratura, marea llenante, marea vaciante, con vientos de altas y bajas intensidades en escalas temporales de:

Para periodo de cuadratura se consideró luna creciente desde el 26 de diciembre del año 2017 (fecha en la cual comienza el periodo de cuadratura), hasta el 29 de diciembre, donde se alcanzan las mínimas variaciones de mareas.

Para periodo de Sicigia, se consideró luna llena, la que presentaba las mayores variaciones de mareas desde el 3 al 6 de diciembre del año 2017.

Para el análisis de corrientes con marea llenante se utilizaron registros del 4 de diciembre del 2017 desde las 1:30 a 7:20 horas donde ocurre la mayor amplitud de marea en llenante.

Para realizar el análisis de corrientes en marea vaciante se utilizaron registros medidos el día 2 de enero desde las 13:50 a las 20:00 horas donde se registran las mayores amplitudes de mareas en vaciante.

Para realizar el análisis de corrientes con ráfagas de vientos se utilizaron datos medidos los días 23 al 24 de diciembre del año 2017, donde se presentaron las mayores magnitudes de vientos correspondientes a 6.79 m/s.

Para realizar el análisis de corrientes sin ráfagas de vientos se utilizaron datos medidos entre los días 1 y 2 de enero del año 2018, donde se presentaron las menores ráfagas de todo el registro con valores máximos de 2.56 m/s.

Para tener una mejor aproximación al comportamiento del vector de corrientes se presentan análisis estadísticos por medio de tablas de incidencia, diagrama de vector progresivo y diagrama de trazos, los cuales fueron elaborados para cada una de las capas en los distintos escenarios modelados.

Para efectos de este análisis, las direcciones fueron abreviadas a Norte (N) Este (E), Noreste (NE), Sureste (SE), Sur (S), Suroeste (SW), Oeste (W) y Noroeste (NW).

Para corrientes en sicigia y cuadratura se utilizaron los resultados obtenidos por medio del estudio mareas, seleccionando la escala temporal de la correntometría respecto al tiempo en el que se produjeron los respectivos cambios de marea. Para este caso se utilizaron corrientes medidas en periodo de sicigia con luna llena y cuadratura con luna creciente, siendo estos, los periodos con mayores y menores amplitudes de mareas, respectivamente. Esta misma metodología fue utilizada para seleccionar corrientes en marea llenante y vaciante.

Para el análisis de corrientes con forzantes de vientos se consideraron las escalas temporales de la correntometría donde se presentaban vientos con altas y bajas magnitudes obtenidos en el análisis de vientos.

7.1 CORRIENTES MEDIDAS EN 30 DÍAS

En capa 5 se observa que el vector de corrientes posee una mayor cantidad de registros en las direcciones SW y W, con magnitudes que oscilan entre 1 y 20 cm/s con frecuencias relativas de 29%, 39% y 26%, respectivamente (Tabla 16).

Tabla 16. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes en la capa 5.

		Magnitud (cm/s)					Total	Frecuencia	
		calmas	1-5	5-10	10-20	20-30			30-40
Dirección	N	2	152	131	37		322	7%	
	NE	11	154	105	7		277	6%	
	E	8	123	74	7		212	4%	
	S	9	172	185	87	2	455	9%	
	SE	9	108	100	20		237	5%	
	SW	13	199	442	466	102	1227	26%	
	W	12	266	487	470	67	1306	27%	
	NW	11	232	343	176	9	771	16%	
Total		75	1406	1867	1270	180	9	4807	100%
Frecuencia		2%	29%	39%	26%	4%	0%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En capa 12, el vector de corrientes presenta magnitudes con mayor cantidad de registros en el rango de 1 a 10 cm/s, acumulando un 91% de los datos. Además, las direcciones más registradas corresponden a N, NW y W (Tabla 17).

Tabla 17. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 12.

		Magnitud (cm/s)					Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20	20-30		
Dirección	N	28	359	296	43	1	727	15%
	NE	24	299	243	22		588	12%
	E	22	207	121	7		357	7%
	SE	21	187	86	14		308	6%
	S	23	234	154	21		432	9%
	SW	18	329	234	27		608	13%
	W	35	375	347	51	1	809	17%
	NW	26	442	435	74	1	978	20%
Total		197	2432	1916	259	3	4807	100%
Frecuencia		4%	51%	40%	5%	0%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En capa 19 las velocidades correspondientes al rango 1 a 5 cm/s tienen la mayor cantidad de registros, seguidos por la clase entre 5 y 10 cm/s con una frecuencia relativa de 37%. Las direcciones más registradas, en esta capa son NW y W (Tabla 18).

Tabla 18. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 19.

		Magnitud (cm/s)					Total	Frecuencia	
		calmas	1-5	5-10	10-20	20-30			30-40
Dirección	N	25	335	283	22		665	14%	
	NE	24	367	177	15		583	12%	
	E	6	263	93	5		367	8%	
	SE	15	242	103	2		362	8%	
	S	12	266	129	17		424	9%	
	SW	31	331	237	25		624	13%	
	W	42	414	328	34		818	17%	
	NW	37	463	424	38	1	1	964	20%
Total		192	2681	1774	158	1	1	4807	100%
Frecuencia		4%	56%	37%	3%	0%	0%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En capa 25 se observa que las magnitudes de corrientes que se encuentran en el rango de 1 a 10 cm/s presentan un 90% del total de los datos, con direcciones predominantes NW y W (Tabla 19).

Tabla 19. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 25.

		Magnitud (cm/s)					Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20	20-30		
Dirección	N	29	328	266	32		655	14%
	NE	17	326	250	37		630	13%
	E	18	226	154	33		431	9%
	SE	11	216	134	17		378	8%
	S	15	219	151	19		404	8%
	SW	25	315	192	17		549	11%
	W	22	351	364	64	3	804	17%
	NW	29	380	462	85		956	20%
Total		166	2361	1973	304	3	4807	100%
Frecuencia		3%	49%	41%	6%	0%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

Las magnitudes pertenecientes a capa 31 poseen una mayor cantidad de datos entre 1 y 10 cm/s con una frecuencia acumulada de 89%, con direcciones predominantes hacia NW y W (Tabla 20).

Tabla 20. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 31.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	22	341	368	65	796	17%
	NE	18	296	263	47	624	13%
	E	4	169	120	8	301	6%
	SE	11	165	86	8	270	6%
	S	12	176	114	10	312	6%
	SW	25	264	208	47	544	11%
	W	17	350	426	76	869	18%
	NW	23	418	538	112	1091	23%
	Total	132	2179	2123	373	4807	100%
Frecuencia	3%	45%	44%	8%	100%		

Fuente: Elaboración propia.

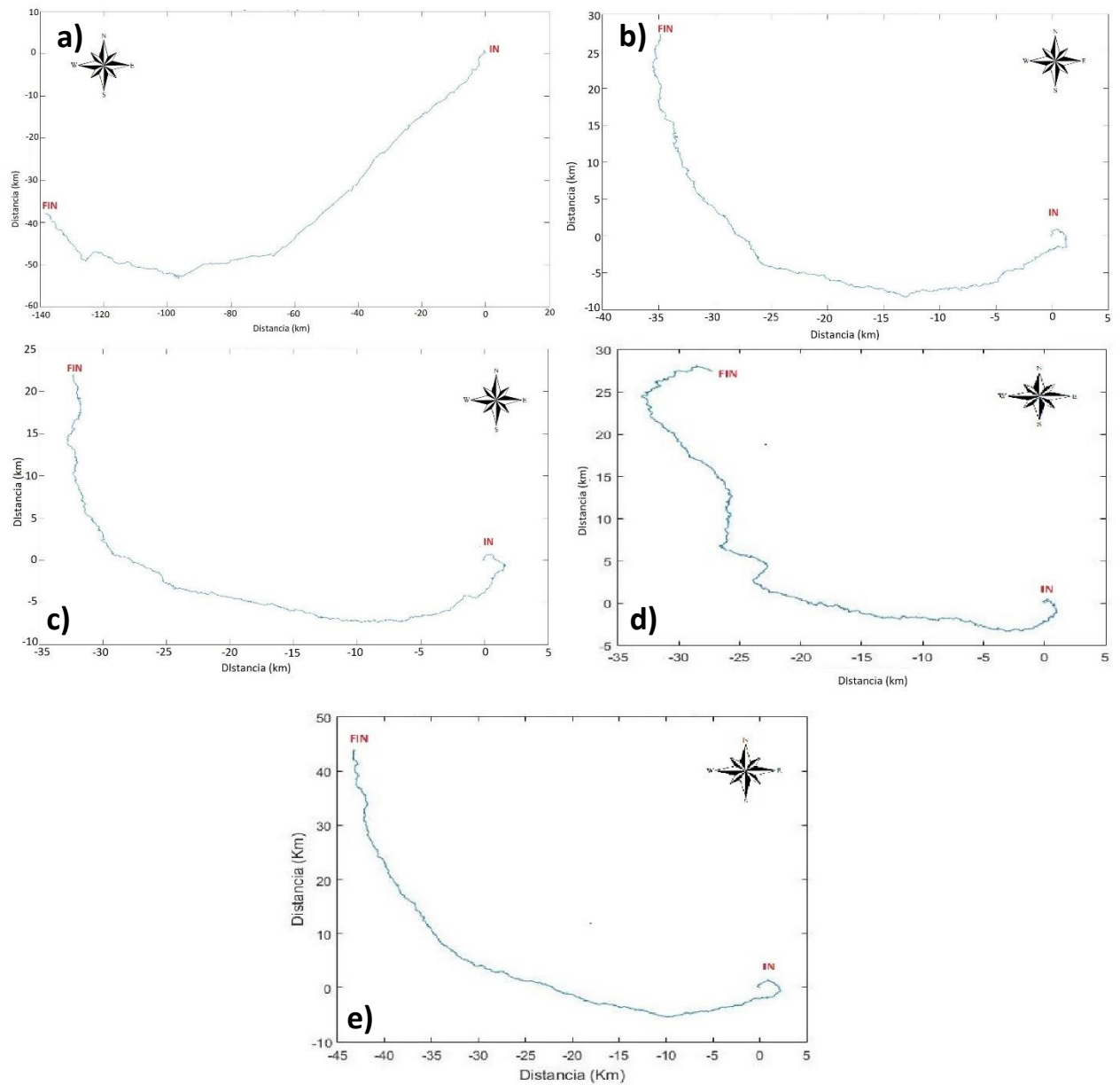
En diagrama del vector progresivo perteneciente a capa 5, se distingue, en primera instancia, un desplazamiento de la partícula en dirección SW, para posteriormente cambiar a W. Además, se observa que la mayor distancia recorrida corresponde a la componente W (Figura 7.a). Por otra parte, el movimiento de la partícula teórica de capa 12, presenta un desplazamiento hacia W, para posteriormente cambiar su sentido a NW y N, recorriendo una distancia neta de 43,6 km a una velocidad de 0,06 km/h (Figura 7.b).

Para capa 19, el desplazamiento es similar que en capa 12, recorriendo una distancia neta de 39 km a una velocidad de 0,05 km/h (Figura 7.c).

En capa 25, la partícula teórica posee un movimiento en dirección W, la cual cambia a partir de los 20 km (componente W) a dirección NW, recorriendo una distancia neta de 39,05 km a una velocidad de 0,05 km/h (Figura 7.d).

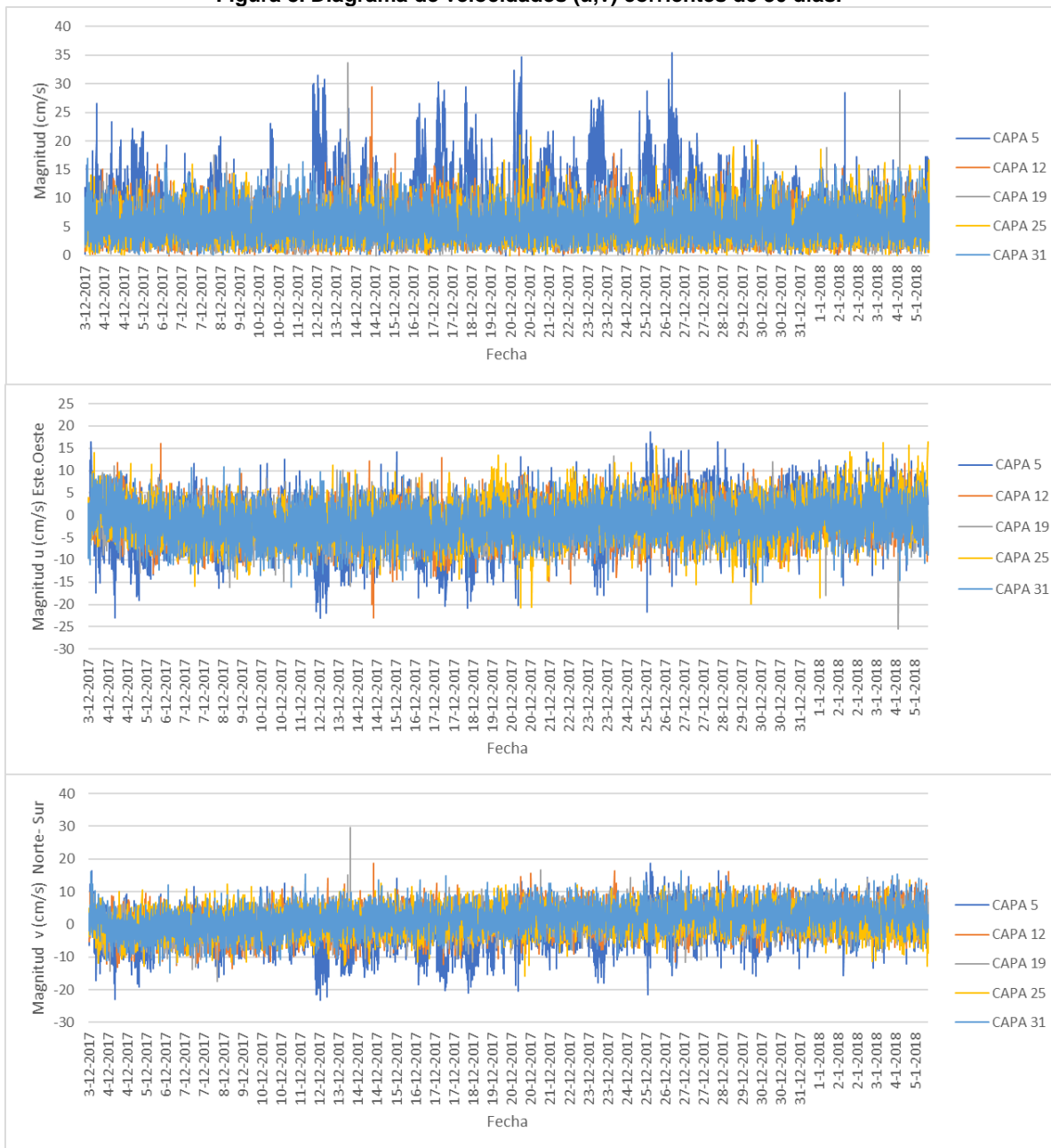
En capa 31, el movimiento de la partícula presenta un desplazamiento en dirección W y NW, recorriendo una distancia neta de 60,6 km a una velocidad de 0,08 km/h (Figura 7.e).

Figura 7. Diagrama de vector progresivo corrientes de 30 días.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Diagrama de velocidades (u,v) corrientes de 30 días.



Fuente: Elaboración propia.

En capa 5, se observa un movimiento multi-direccional a lo largo de toda la escala temporal, con magnitudes máximas que no superan los 40 cm/s. Por otra parte, en capa 12, las mayores velocidades no superan los 30 cm/s, las que se presentan entre los días 13 y 18 de la medición. En la mayor parte del registro las componentes u y v poseen magnitudes similares (Figura 8).

El diagrama de velocidades perteneciente a capa 19 (Figura 8), muestra que las mayores velocidades ocurren entre los días 13 y 18, llegando casi a los 40 cm/s. En todo el resto de la escala temporal las velocidades son similares tanto en la componente u como v.

En capa 25 (Figura 8), se observa que las mayores magnitudes se registran entre los días 18 y 23 llegando casi a los 20 cm/s en dirección S. Además, los vectores u y v presentan magnitudes similares el registro temporal.

Se observa que entre el día 8 y 13 las magnitudes de corrientes, pertenecientes a capa 31, tienden a disminuir por un pequeño intervalo de tiempo, para posteriormente alcanzar casi 20 cm/s. Además, se observa que las velocidades son similares a lo largo de todo el periodo de medición, presentando pequeños peak, tanto en la componente u como la componente v.

Las capas 12, 19, 25 y 31 presentan diagramas de vector progresivo con características similares, en los que el movimiento de la partícula es en dirección W, cambiando a N con componentes E y W. Comparado con diagrama de trazos, se observa que el movimiento de la partícula se vé influenciado principalmente por las corrientes de mayor magnitud.

Las máximas magnitudes corresponden a capa 5, 12, 19 y 25 con velocidades cercanas a 30 y 40 cm/s.

7.2 CORRIENTES EN CUADRATURA

Para el análisis de corrientes en cuadratura, se utilizaron datos medidos desde 26 al 29 de diciembre del año 2017, donde se presentan las menores variaciones de marea de todo el registro.

En Tabla 21 perteneciente a capa 5, se observa que las magnitudes con mayor frecuencia corresponden a las que se encuentran entre 1 y 20 cm/s, con una frecuencia acumulada de 92%. Además, las direcciones que poseen la mayor cantidad de registros corresponden a W y NW.

Tabla 21. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 5 en cuadratura.

		Magnitudes (cm/s)						Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20	20-30	30-40		
Dirección	N		17	17	8			42	9%
	NE	3	14	14				31	6%
	E		8	7				15	3%
	SE	2	7	4	3			16	3%
	S	1	9	4	1			15	3%
	SW	2	11	24	20	2	1	60	12%
	W	1	27	50	90	16	1	185	38%
	NW	1	17	59	46	4		127	26%
Total		10	110	179	168	22	2	491	100%
Frecuencia		2%	22%	36%	34%	4%	0%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En capa 12, las magnitudes que predominan se encuentran entre los valores 1 y 10 con la mayor concentración de datos, mientras que las direcciones que poseen mayor cantidad de registros corresponden a NW y N con 23% y 22%, respectivamente (Tabla 22).

Tabla 22. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 12 en cuadratura.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	4	58	44	2	108	22%
	NE	1	35	33	3	72	15%
	E	1	26	17	1	45	9%
	SE	3	16	8		27	5%
	S	2	22	5	1	30	6%
	SW	1	18	10		29	6%
	W	2	42	22	2	68	14%
	NW	2	50	55	5	112	23%
Total		16	267	194	14	491	100%
Frecuencia		3%	54%	40%	3%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En capa 19, las corrientes que presentan mayor cantidad de registro corresponden a las que se encuentran entre 1 y 10 cm/s con un porcentaje acumulado de 94%, desplazándose mayormente entre NW y N (Tabla 23).

Tabla 23. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 19 en cuadratura.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	3	55	47	4	109	22%
	NE	3	45	39	2	89	18%
	E	1	34	8		43	9%
	SE	2	25	4		31	6%
	S		15	4	2	21	4%
	SW	1	21	9	1	32	7%
	W		27	23	1	51	10%
	NW	2	60	47	6	115	23%
Total		12	282	181	16	491	100%
Frecuencia		2%	57%	37%	3%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

Las magnitudes que presentan mayor concentración de datos de capa 25, corresponden a las que se encuentran entre 1 y 10 cm/s, con una frecuencia acumulada de 89% y con direcciones predominantes NW, NE, N y W (Tabla 24).

Tabla 24. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 25 en cuadratura.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	3	42	37	6	88	18%
	NE	2	48	24	3	77	16%
	E	1	20	12		33	7%
	SE	1	27	12		40	8%
	S	1	13	5		19	4%
	SW	5	25	13	1	44	9%
	W	1	33	30	9	73	15%
	NW	5	33	65	14	117	24%
Total		19	241	198	33	491	100%
Frecuencia		4%	49%	40%	7%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En capa 31 las velocidades predominantes se encuentran entre 1 y 10 cm/s con un 91% acumulado, las que se desplazan principalmente en dirección NW y N (Tabla 25).

Tabla 25. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 31 en cuadratura.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	3	53	55	9	120	24%
	NE	1	27	39	7	74	15%
	E		20	12		32	7%
	SE	1	14	7		22	4%
	S		10	6	1	17	3%
	SW		17	7		24	5%
	W	1	29	31	3	64	13%
	NW	4	46	74	14	138	28%
Total		10	216	231	34	491	100%
Frecuencia		2%	44%	47%	7%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En capa 5, el diagrama de vector progresivo (Figura 9.a), presenta un movimiento de partícula en dirección NW, con leves desplazamientos hacia NE y W. La distancia neta recorrida corresponde a 42,97 km a una velocidad de 0,05 km/h.

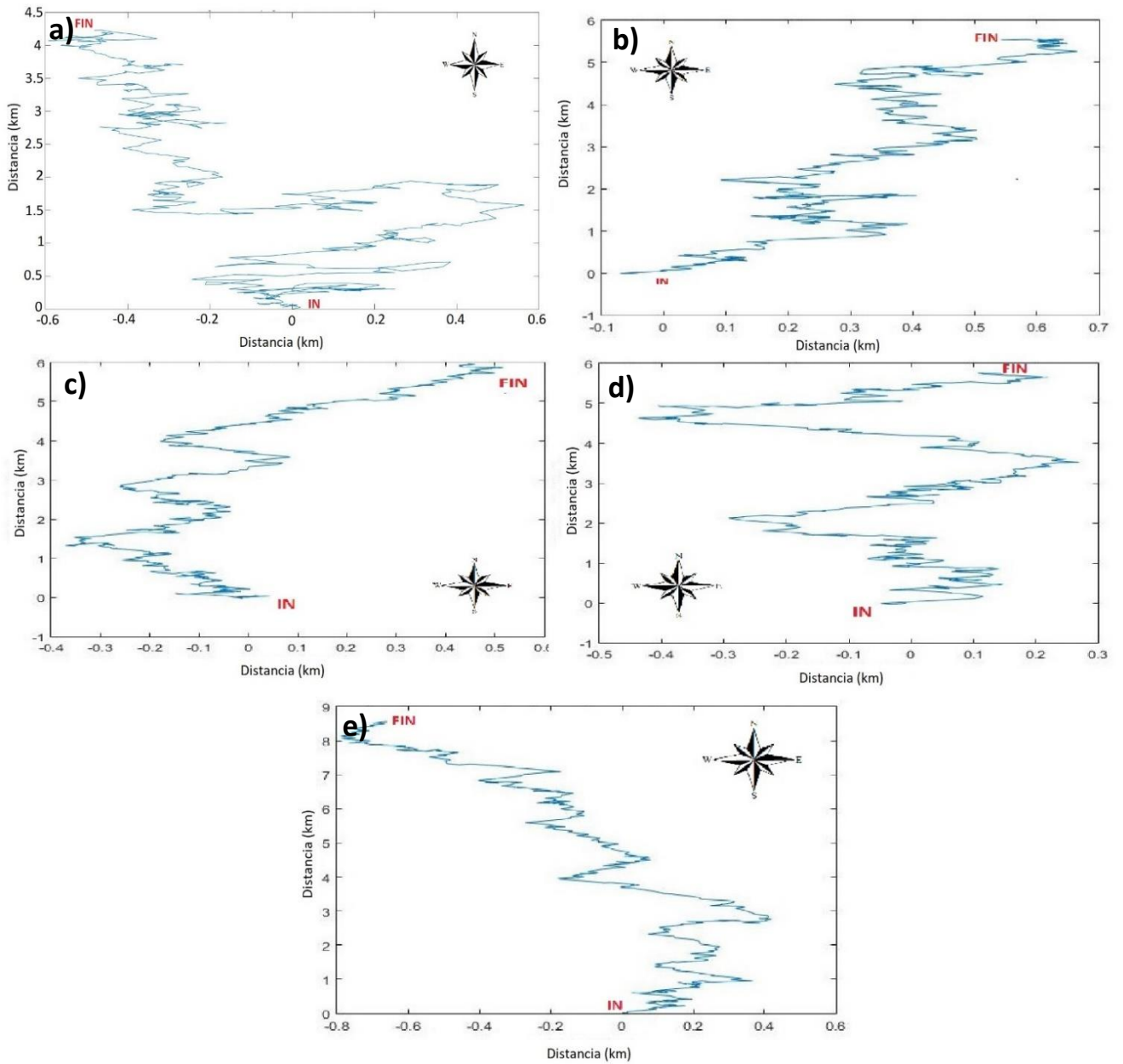
En Figura 9.b, el desplazamiento en capa 12, es en dirección NE, con tendencias a cambiar su sentido hacia NW. Además, se observa que la distancia recorrida es mayor en la componente N.

En Figura 9.c, se observa que la partícula teórica, perteneciente a capa 19, se mueve en sentido NE con pequeñas variaciones hacia NE y recorriendo más distancia en la componente N.

El diagrama de vector progresivo de capa 25 (Figura 9.d), muestra un desplazamiento de partícula en sentido N, con pequeñas variaciones hacia E y W, recorriendo una mayor distancia en la componente vectorial v (N).

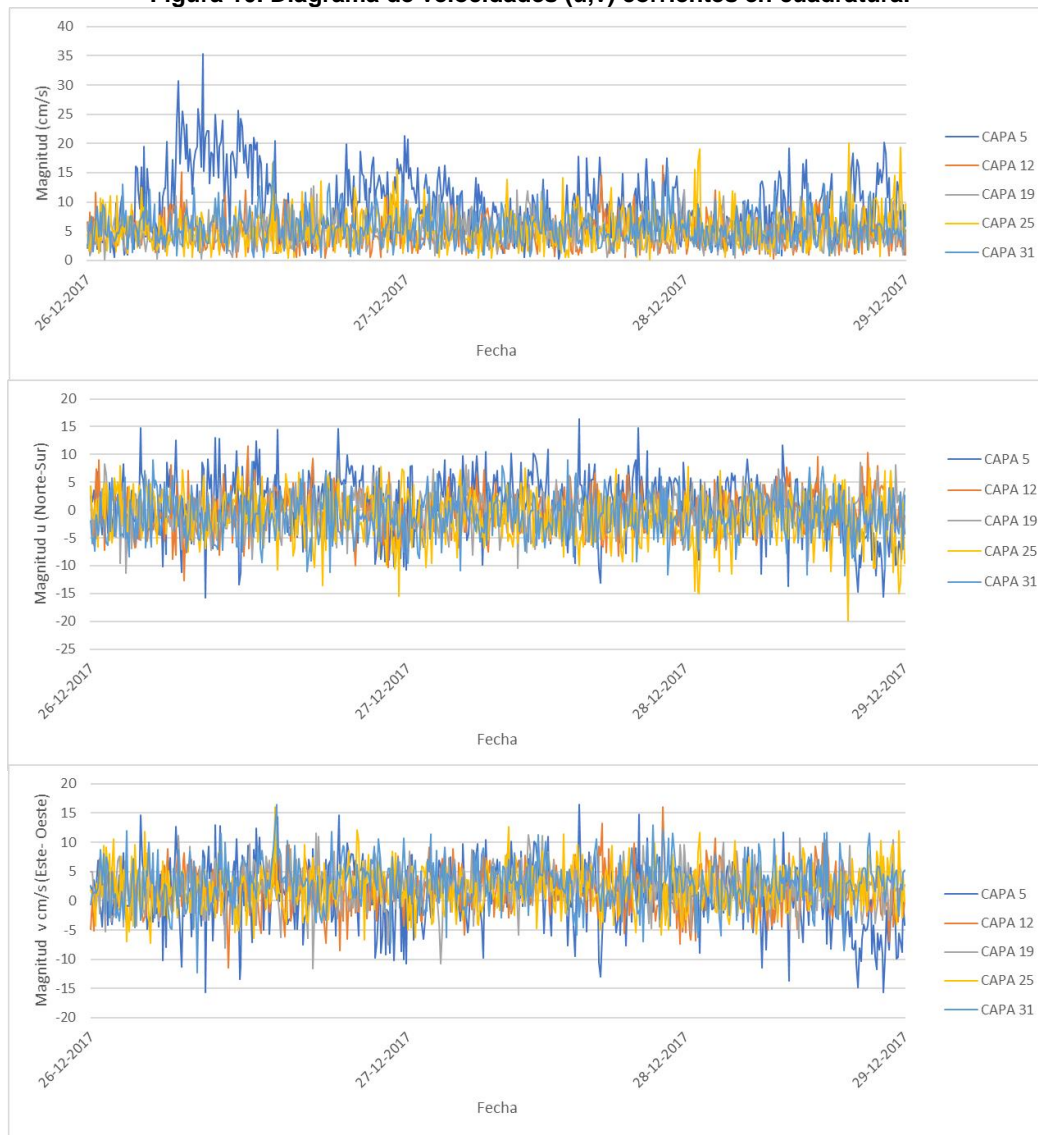
En capa 31 (Figura 9.e), se presenta un desplazamiento NW, recorriendo una distancia neta de 8,03 km a una velocidad de 0,01 km/h.

Figura 9. Diagrama de vector progresivo corrientes en cuadratura.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Diagrama de velocidades (u,v) corrientes en cuadratura.



Fuente: Elaboración propia.

Las velocidades máximas en capa 5, alcanzan 40 cm/s con una dirección SW entre los días 26 y 27, para posteriormente no superar los 20 cm/s a lo largo de toda la escala temporal.

En capa 12, se distinguen corrientes multidireccionales con magnitudes máximas que no superan los 20 cm/s y presentando las mayores velocidades entre los días 28 y 29.

El diagrama de velocidad de capa 19 (Figura 10), presenta mayores magnitudes entre los días 26 y 27 llegando casi a los 20 cm/s. Posteriormente se observa que las velocidades se mantienen entre 10 y 15 cm/s a lo largo de todo el registro. También, las mayores magnitudes se observan en sentidos S y N.

En capa 25, se observa que las mayores magnitudes se desplazan en sentido NW, NE, SW y SE, las que no superan los 20 cm/s. Se presentan velocidades y direcciones similares a lo largo de toda la medición.

Se observa que las velocidades del vector de corrientes, pertenecientes a capa 31, son similares a lo largo de toda la medición y con valores máximos que no superan los 20 cm/s.

Todas las capas analizadas presentan un diagrama de vector progresivo con desplazamiento N, con altas magnitudes en dirección NW y SW. Además, en capa 5 se observan las mayores magnitudes, las que se encuentran cercanas a 40 cm/s, mientras que las capas restantes no superan los 20 cm/s.

7.3 CORRIENTES EN SICIGIA

En capa 5, las magnitudes con mayor cantidad de registros se encuentran en el rango de 5 a 20 cm/s con un 74% de frecuencia acumulada, con mayor concentración de datos en direcciones SW y S (Tabla 26).

Tabla 26. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 5 en sicigia.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia	
		calmas	1-5	5-10	10-20			20-30
Dirección	N		6	10	1	17	4%	
	NE		8	6	1	15	4%	
	E		4	8	1	13	3%	
	SE	1	7	13	4	25	6%	
	S		22	32	28	83	21%	
	SW		16	54	64	142	35%	
	W	1	18	31	22	73	18%	
	NW		10	16	6	33	8%	
Total		2	91	170	127	11	401	100%
Frecuencia		0%	23%	42%	32%	3%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En capa 12, las velocidades que presentan mayor cantidad de registro se encuentran entre 1 y 10 cm/s con una frecuencia acumulada de 91% y con mayor tendencia a direcciones S y SW (Tabla 27).

Tabla 27. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 12 en sicigia.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	2	16	21	1	40	10%
	NE	2	31	12	1	46	11%
	E	3	30	22	1	56	14%
	SE	2	20	18	5	45	11%
	S	6	37	30	3	76	19%
	SW	1	33	26	4	64	16%
	W	2	22	15	2	41	10%
	NW	1	15	15	2	33	8%
Total		19	204	159	19	401	100%
Frecuencia		5%	51%	40%	5%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

Las magnitudes predominantes de capa 19, se encuentran entre 1 y 10 cm/s, acumulando la mayor cantidad de datos del registro. Las direcciones que presentan mayor concentración de datos corresponden a S y SE (Tabla 28).

Tabla 28. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 19 en sicigia.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	1	18	11		30	7%
	NE	1	33	11		45	11%
	E		31	20	1	52	13%
	SE	3	39	24		66	16%
	S	2	41	30	2	75	19%
	SW		21	20	5	46	11%
	W	2	29	13	1	45	11%
	NW	3	26	13		42	10%
Total		12	238	142	9	401	100%
Frecuencia		3%	59%	35%	2%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

Las magnitudes con más frecuencia de datos de capa 25, se encuentran entre las velocidades 1 y 10 cm/s con un 93% acumulado. Además, presenta un desplazamiento S y SW con mayor cantidad de registros (Tabla 29).

Tabla 29. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 25 en sicigia.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	2	25	12		39	10%
	NE	5	26	15	2	48	12%
	E	2	26	15	5	48	12%
	SE		33	19	1	53	13%
	S	2	34	33	4	73	18%
	SW	5	37	19	1	62	15%
	W	2	17	21		40	10%
	NW		17	21		38	9%
Total		18	215	155	13	401	100%
Frecuencia		4%	54%	39%	3%	100%	

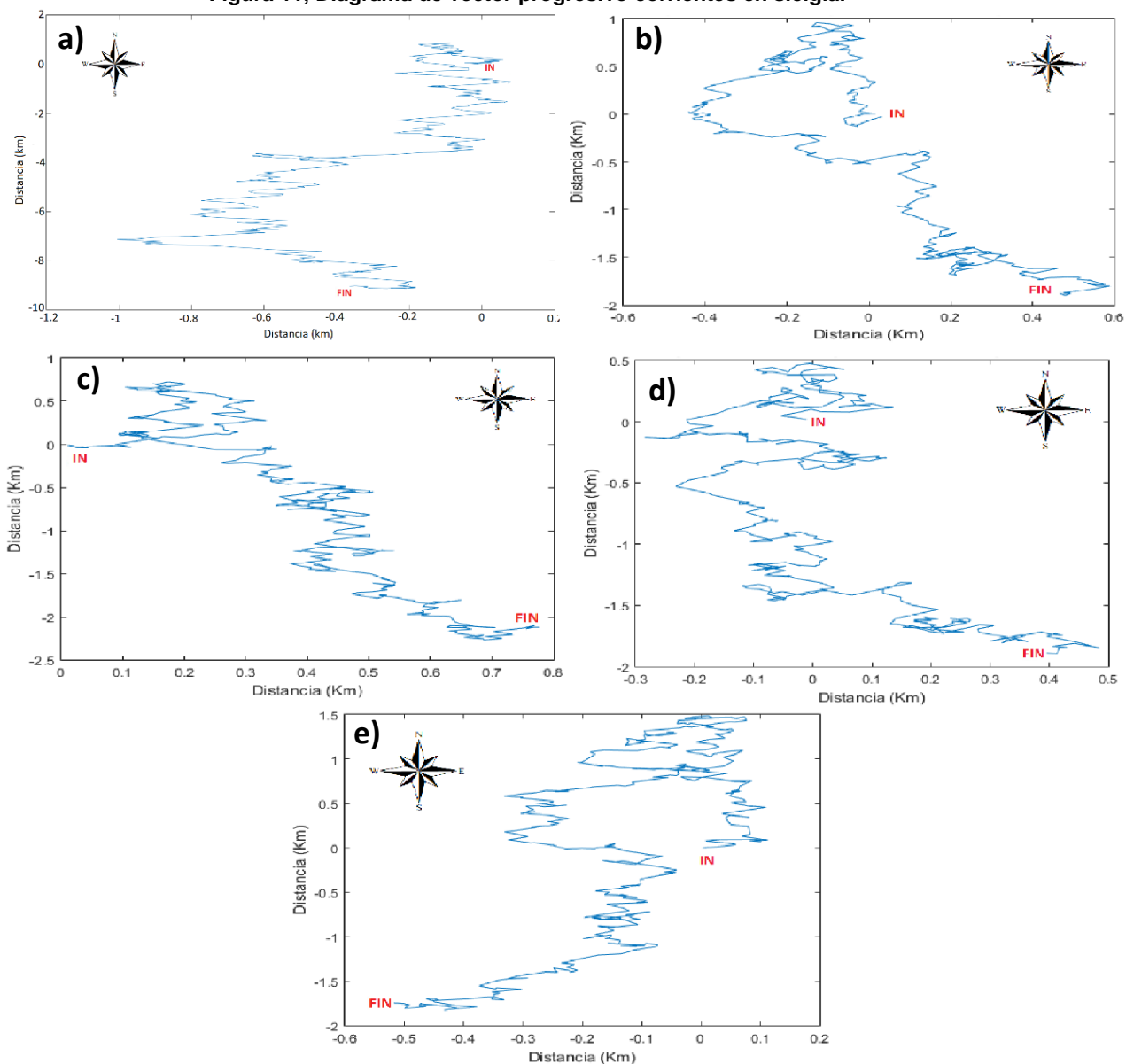
Fuente: Elaboración propia.

En capa 31, las velocidades que poseen mayor cantidad de registros se encuentran entre 1 y 10 cm/s con un 89% de la totalidad de datos. Las direcciones predominantes en esta capa corresponden a SW, S y W (Tabla 30).

Tabla 30. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 31 en sicigia.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N		11	12	3	26	6%
	NE	7	21	25	4	57	14%
	E		20	31		51	13%
	SE	3	37	22	6	68	17%
	S	3	25	34	3	65	16%
	SW	2	29	16	5	52	13%
	W	1	18	23	5	47	12%
	NW	1	24	10		35	9%
Total		17	185	173	26	401	100%
Frecuencia		4%	46%	43%	6%	100%	

Figura 11, Diagrama de vector progresivo corrientes en sicigia.



Fuente: Elaboración propia.

En capa 5, el movimiento de la partícula teorica varía entre S, SW y SE recorriendo una mayor distancia en sentido N (Figura 11.a).

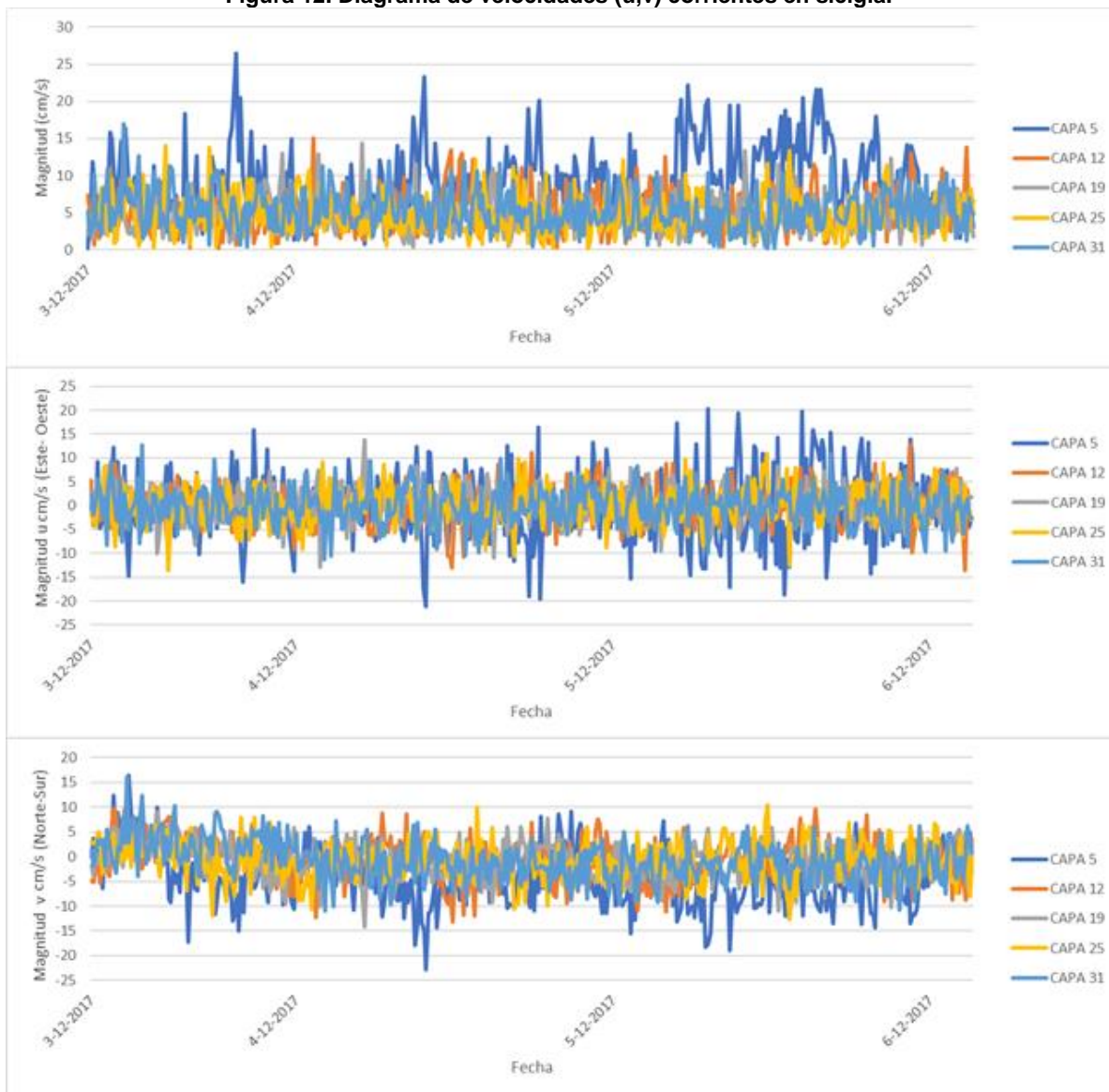
En capa 12, se presenta un desplazamiento multidireccional con una tendencia al SW y SE, recorriendo distancias similares entre componentes vectoriales N y W (Figura 11.b).

La partícula en capa 19, se desplaza hacia el SE con una gran tendencia hacia la dirección SW, recorriendo distancias similares entre los vectores N y W (Figura 11.c).

En capa 25, se recorre una distancia similar entre componente N y W, con un desplazamiento predominante S y tendencias hacia W y E (Figura 11.d).

El movimiento de la partícula, en capa 31, presenta un desplazamiento en direcciones N y S, con leves tendencias hacia W y E (Figura 11.e).

Figura 12. Diagrama de velocidades (u,v) corrientes en sicigia.



Fuente: Elaboración propia.

En capa 5, las velocidades maximas no superan los 40 cm/s con direcciones SW y SE, las que se presentan entre los días 18 y 19, con el resto de las magnitudes del registro menores a 20 cm/s.

Las mayores magnitudes, pertenecientes a capa 12, se encuentran en el rango de 10 a 20 cm/s a lo largo de toda la escala temporal. Además, se observa que el vector de corrientes se desplaza en diversas direcciones predominando SW y SE.

En diagrama de velocidades de capa 19 (Figura 12), se observa que las mayores magnitudes se presentan entre los días 4 y 5, las que no superan los 20 cm/s. Posteriormente alcanzan máximas velocidades de 10 cm/s en dirección SE.

En capa 25, Las mayores magnitudes se presentan entre los días 5 y 6 llegando casi a 20 cm/s con vectores de corrientes más fuertes hacia el SW y NE.

Las mayores velocidades de capa 31, se presentan entre los días 3 y 4, donde se alcanzan casi 20 cm/s. El registro temporal posee, en su mayoría corrientes que no superan los 10 cm/s y vectores con fuerzas máximas en sentido N y S.

En general, las velocidades máximas registradas corresponden a la capa 5 con 30 cm/s. Además, se observa que en todas las capas analizadas el movimiento teórico de partícula es en sentido SE y SW.

7.4 CORRIENTES EN MAREA LLENANTE

Las direcciones predominantes de capa 5, corresponden a SW y S con un rango de velocidades entre 1 y 10 cm/s, los que acumulan un 89% del total de registros (Tabla 31).

Tabla 31. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 5 en llenante.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N		2			2	6%
	NE		1			1	3%
	E		2			2	6%
	SE	1	2	1	1	5	14%
	S		4	3	2	9	25%
	SW		3	7		10	28%
	W		2	3		5	14%
	NW		1	1		2	6%
Total		1	17	15	3	36	100%
Frecuencia		3%	47%	42%	8%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 12 en llenante.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N		2	1		3	8%
	NE		5	2		7	19%
	E		2	3		5	14%
	SE	1	1	1	1	4	11%
	S		7	2		9	25%
	SW		1	2		3	8%
	W		2	2		4	11%
	NW		1			1	3%
Total		1	21	13	1	36	100%
Frecuencia		3%	58%	36%	3%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

Las magnitudes que presentan mayor porcentaje de frecuencia para capa 12, se encuentran en el rango de 1 a 10 cm/s, con mayor cantidad de registros en direcciones S y NE (Tabla 32).

Las magnitudes que poseen mayor cantidad de registro en capa 19, se encuentran entre 1 y 10 cm/s. Además, las direcciones con mayor concentración de datos corresponden a NE, S y SW (Tabla 33).

Tabla 33. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 19 en llenante.

		Magnitud (cm/s)			Total	Frecuencia
		1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	1			1	3%
	NE	7	1		8	22%
	E	3	2		5	14%
	SE	4	6		10	28%
	S	5	3	1	9	25%
	SW			1	1	3%
	W	1			1	3%
	NW		1		1	3%
Total		21	13	2	36	100%
Frecuencia		58%	36%	6%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

Las velocidades con mayor cantidad de registro pertenecientes a capa 25, se encuentran entre 1 y 10 cm/s, seguido por el rango 5 a 10 cm/s con 67% y 31%, respectivamente. La dirección que se midió con más frecuencia es E (Tabla 34).

Tabla 34. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 25 en llenante.

		Magnitud (cm/s)			Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10		
Dirección	N		3		3	8%
	NE		4	1	5	14%
	E		6	2	8	22%
	SE		3	1	4	11%
	S		4	1	5	14%
	SW	1	1	3	5	14%
	W		1	1	2	6%
	NW		2	2	4	11%
Total		1	24	11	36	100%
Frecuencia		3%	67%	31%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En capa 31, las magnitudes que se presentan con mayor frecuencia se encuentran entre 1 y 10 cm/s. Además, las direcciones que poseen mayor cantidad de registros corresponden a SE y S (Tabla 35).

Tabla 35. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 31 en llenante.

		Magnitud (cm/s)			Total	Frecuencia
		1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	2			2	6%
	NE		2		2	6%
	E	2	4		6	17%
	SE	3	4	3	10	28%
	S	2	4	2	8	22%
	SW	3			3	8%
	W	1	2		3	8%
	NW	2			2	6%
Total		15	16	5	36	100%
Frecuencia		42%	44%	14%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

El vector progresivo de capa 5 (Figura 13.a), presenta un desplazamiento en dirección SE, recorriendo mayores distancias en la componente vectorial N.

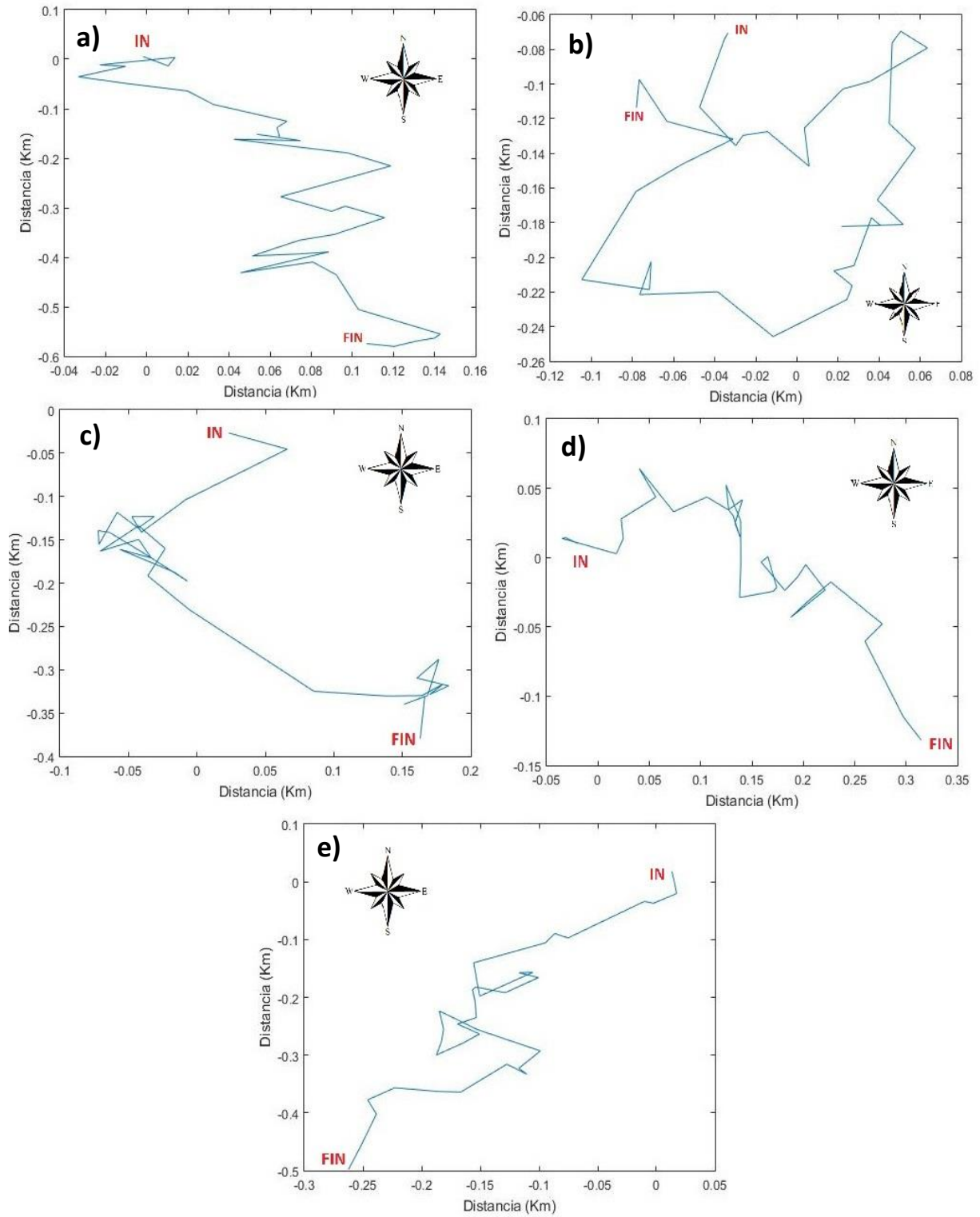
En capa 12, se presenta un movimiento de la partícula con vectores en variadas direcciones (Figura 13.b).

El movimiento teórico de la partícula para capa 19, se desplaza en dirección SW y SE recorriendo una mayor distancia en la componente N (Figura 13.c).

En capa 25, se observa desplazamiento en sentido SE, recorriendo una mayor distancia en la componente N (Figura 13.d).

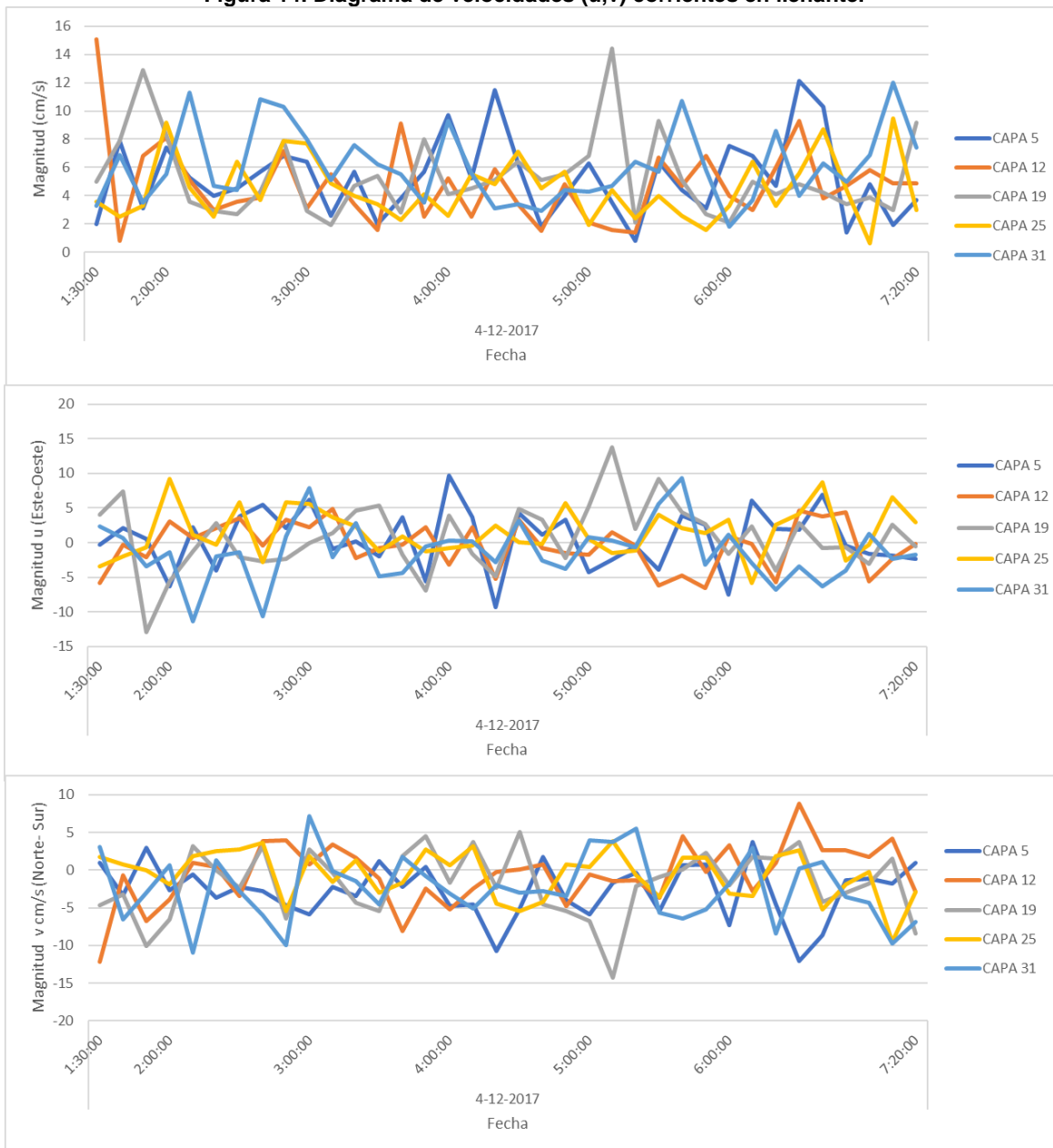
La partícula se teórica en capa 31 (Figura 13.e), desplaza, principalmente en dirección SW con variaciones en SE.

Figura 13. Diagrama de vector progresivo corrientes en llenante.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Diagrama de velocidades (u,v) corrientes en llenante.



Fuente: Elaboración propia.

En capa 5, se observa que la mayor cantidad de registros se encuentran en dirección SW, pero que las mayores magnitudes se desplazan hacia el SE. Además, las velocidades más altas no superan los 15 cm/s.

Las mayores velocidades de capa 12 son de 15 cm/s con direcciones S y NE, los cuales se presentan a las 1:30 y 18:00 horas, respectivamente .

En capa 19, las mayores magnitudes se desplazan en dirección SW y SE, las cuales no superan los 20 cm/s. En el resto de la medición se observan velocidades máximas de 5 cm/s.

El diagrama de velocidades de capa 25, presenta la mayor magnitud a las 7:20 hora correspondiente a 10 cm/s, la que se desplaza en sentido S y E.

En capa 31, se observa que los valores de magnitudes más altos corresponden a 15 cm/s con desplazamiento SW y NE, presentándose al comienzo del registro temporal.

En capa 12, 19 y 25, se registran magnitudes máximas 20 cm/s con direcciones predominantes SW y SE, mientras que en capa 5 y 31 las velocidades mayores son de 20 cm/s. Finalmente, el diagrama de vector progresivo muestra un desplazamiento de partícula similar entre todas las capas analizadas.

7.5 CORRIENTES EN MAREA VACIANTE

Para realizar el análisis de corrientes en marea vaciante se utilizaron registros medidos el día 2 de enero desde las 13:50 a las 20:00 horas.

En capa 5, se observa que la mayor cantidad de registros se agrupa en los rangos 1 a 10 cm/s con una frecuencia acumulada de 89%, con mayor concentración de datos en las direcciones NW y NW (Tabla 36).

Tabla 36. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 5 en vaciante.

		Magnitud (cm/s)			Total	Frecuencia
		1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	2	1		3	8%
	NE	4	4		8	21%
	E	2			2	5%
	SE	1	2		3	8%
	S		2		2	5%
	SW	2	3		5	13%
	W	3	2	1	6	16%
	NW	4	2	3	9	24%
Total		18	16	4	38	100%
Frecuencia		47%	42%	11%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 12 en vaciante.

		Magnitud (cm/s)			Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10		
Dirección	N	2	8	7	17	45%
	NE	1	2	3	6	16%
	SE		2		2	5%
	SW		1		1	3%
	W		3	1	4	11%
	NW		4	4	8	21%
	Total		3	20	15	38
Frecuencia		8%	53%	39%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En capa 12, las magnitudes predominantes se encuentran en el rango de 1 y 10 cm/s, acumulando un 92% de los datos. Las direcciones que presentan mayor cantidad de datos concentrados corresponden a N y NW con 45 y 21%, respectivamente (Tabla 37).

En capa 19 el rango de velocidades con mayor concentración de datos es de 1 a 10 cm/s con un 97% de frecuencia acumulada. Las direcciones con mayor cantidad de registros se desplazan en NE y N con 21% y 18%, respectivamente (Tabla 38).

Tabla 38. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 19 en vaciante.

		Magnitud (cm/s)			Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10		
Dirección	N		4	3	7	18%
	NE		4	4	8	21%
	E		1	3	4	11%
	SE		5	2	7	18%
	S		1	1	2	5%
	SW		2		2	5%
	W	1		2	3	8%
	NW		3	2	5	13%
Total		1	20	17	38	100%
Frecuencia		3%	53%	45%		100%

Fuente: Elaboración propia.

En capa 25, el rango de magnitudes con más frecuencia es de 1 a 10 cm/s concentrando un 79% del registro. La dirección con mayor cantidad de datos es E con 32% (Tabla 39).

Tabla 39. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 25 en vaciante.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N		4	2		6	16%
	NE		2	2	2	6	16%
	E	1	5	3	3	12	32%
	SE		4	2		6	16%
	SW		2			2	5%
	W	1	1	1	1	4	11%
	NW		1	1		2	5%
Total		2	19	11	6	38	100%
Frecuencia		5%	50%	29%	16%		100%

Fuente: Elaboración propia.

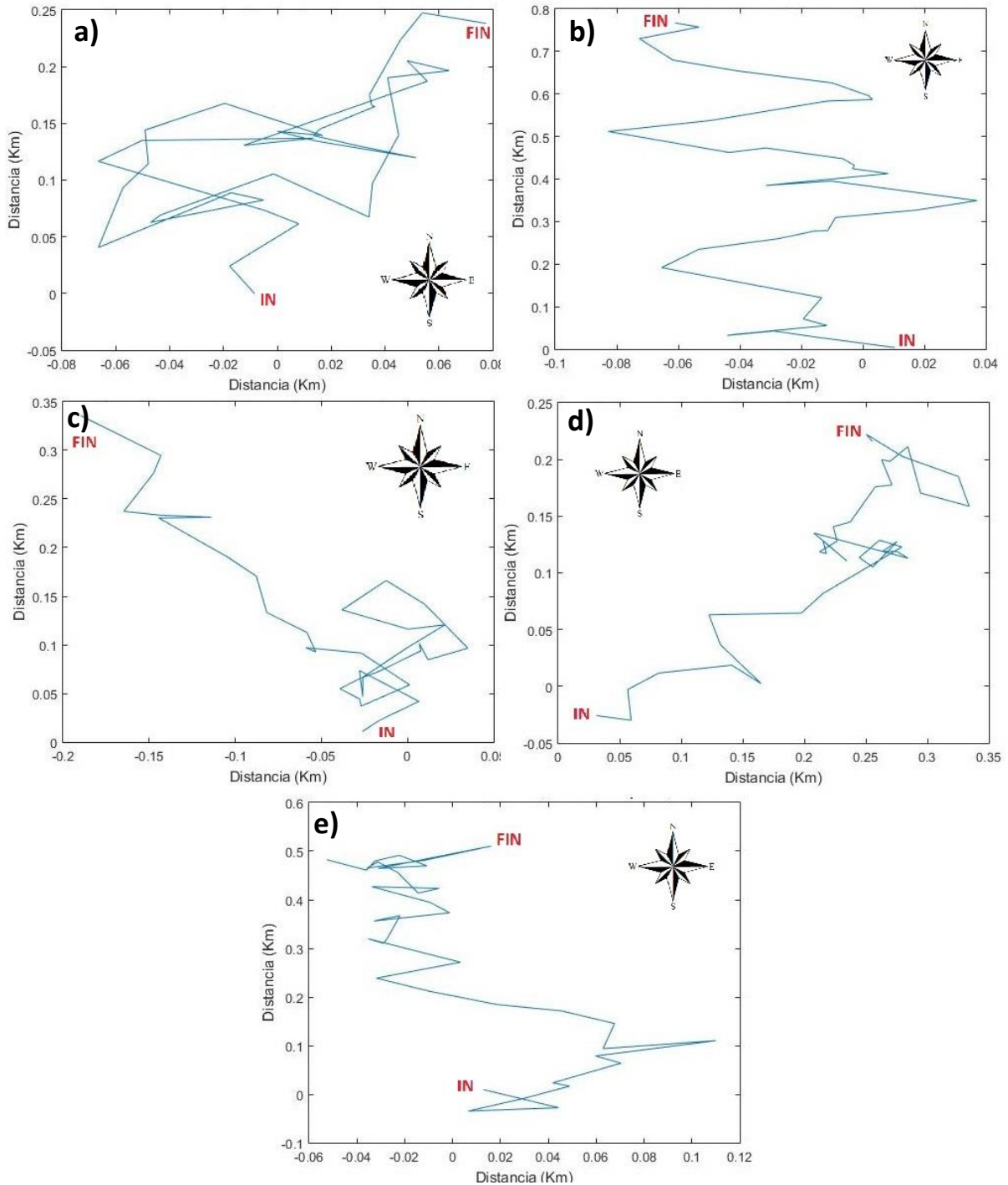
Tabla 40. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 31 en vaciante.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N		5	2		7	18%
	NE		4	4		8	21%
	E			2		2	5%
	SE		1	1		2	5%
	SW		5		1	6	16%
	W	1	1	2		4	11%
	NW		3	3	3	9	24%
Total		1	19	14	4	38	100%
Frecuencia		3%	50%	37%	11%		100%

Fuente: Elaboración propia.

Las magnitudes con mayor cantidad de registros pertenecientes a capa 31, corresponden al rango de 1 a 10 cm/s acumulando un 87% del registro. Las direcciones medidas con más frecuencia corresponden a NW y NE con 21% y 24%, respectivamente (Tabla 40).

Figura 15. Diagrama de vector progresivo corrientes en vaciante.



Fuente: Elaboración propia.

En capa 5, el movimiento de la partícula se dirige en múltiples direcciones, recorriendo una mayor distancia en la componente N del vector de corrientes (Figura 15.a).

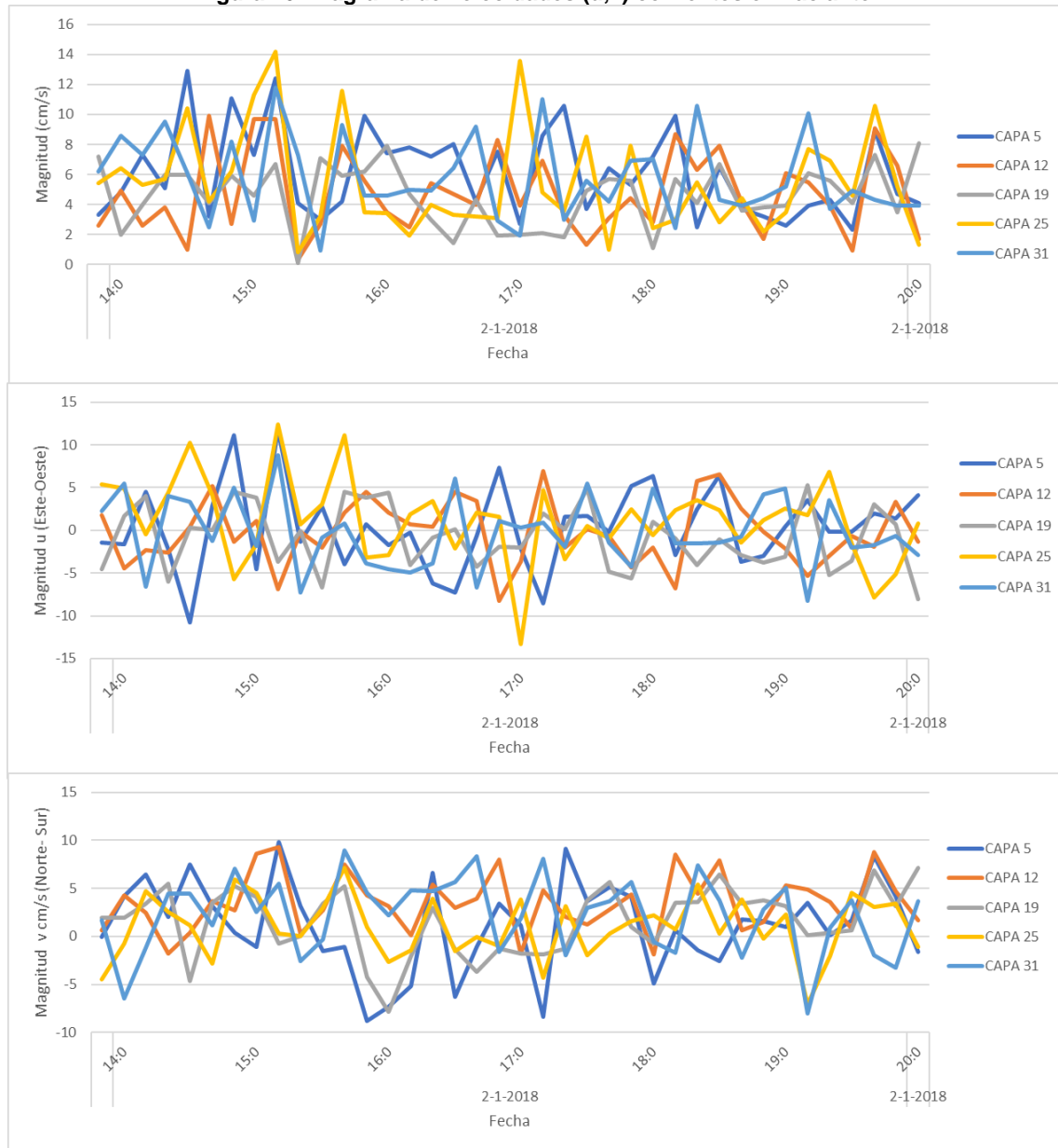
En capa 12, se presenta un desplazamiento dominante N con variaciones hacia E y W, recorriendo distancias similares entre componentes N y W (Figura 15.b).

Se observa en capa 19, un movimiento de la partícula teórica hacia el NW, recorriendo una distancia neta de 0,4 km a una velocidad de 0,06 km/h (Figura 15.c).

En diagrama de vector progresivo de capa 25 (Figura 15.d), el desplazamiento de la partícula es en dirección NE hasta recorrer una distancia de 0,1 km (componente N), donde el desplazamiento cambia hacia múltiples direcciones.

El movimiento teórico de la partícula en capa 31 (Figura 15.e), presenta una trayectoria en sentido N, con pequeñas variaciones hacia E y W, recorriendo una mayor distancia en la componente vectorial N.

Figura 16. Diagrama de velocidades (u,v) corrientes en vaciante.



Fuente: Elaboración propia.

En capa 5, los vectores que presentan mayores magnitudes se desplazan en dirección SE y NE con velocidades que no superan los 20 cm/s.

Para capa 12, las máximas magnitudes no superan los 15 cm/s, desplazándose en sentido N con componentes E y W.

La mayores magnitudes del vector de corriente de capa 19, no superan los 15 cm/s con componentes vectoriales que se desplazan en sentido NW, NE y SE.

Se observa que las máximas magnitudes de capa 25, se desplazan hacia NE, NW y SE con valores que no superan los 15 cm/s.

Las máximas magnitudes de capa 31, poseen un desplazamiento en sentidos SW, NW y N sin superar los 15 cm/s a lo largo de todo el registro.

En general, el diagrama de vector progresivo para todas las capas presenta un desplazamiento en sentido N y NE. Además, en capa 5, se observa un movimiento de partícula en diversas direcciones.

Las velocidades máximas se presentan en capa 5, 25 y 31 con 20 cm/s, mientras que en capa 12 y 19, solamente se alcanzan 10 cm/s (Figura 16).

7.6 CORRIENTES CON RÁFAGAS DE VIENTO

Para realizar el análisis de corrientes con ráfagas de vientos se utilizaron datos medidos los días 23 al 24 de diciembre del año 2017.

En capa 5, las magnitudes que poseen mayor cantidad de concentración de datos se encuentran entre 5 y 20 cm/s con un 68%, mientras que las velocidades de 20 a 30 cm/s solamente registraron un 9% del total de mediciones (Tabla 41).

Tabla 41. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 5 con vientos.

		Magnitud (cm/s)					Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20	20-30		
Dirección	N		5	2			7	3%
	NE		6	2	1		9	4%
	E	2	8	12	3		25	12%
	SE		2	16	4		22	11%
	S		3	4			7	3%
	SW		5	9	22	12	48	23%
	W	1	6	16	34	7	64	31%
	NW		8	9	6		23	11%
Total		3	43	70	70	19	205	100%
Frecuencia		1%	21%	34%	34%	9%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

La mayor cantidad de registros de magnitud de capa 12, se concentra en el rango de 1 y 10 cm/s con 86% de la totalidad de datos, seguido por las velocidades máximas entre 10 y 20 cm/s que concentran un 9% (Tabla 42).

Tabla 42. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 12 con vientos.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	3	16	13	6	38	19%
	NE	1	12	11		24	12%
	E	2	8	4		14	7%
	SE	1	8	3	1	13	6%
	S	2	9	1		12	6%
	SW	1	10	6		17	8%
	W	1	14	17	1	33	16%
	NW		13	31	10	54	26%
Total		11	90	86	18	205	100%
Frecuencia		5%	44%	42%	9%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En capa 19, el rango de velocidades con mayor registro se encuentra entre 1 y 10 cm/s acumulando un 89%. Las direcciones medidas con mayor frecuencia corresponden a N y NW con 20% y 22%, respectivamente (Tabla 43).

Tabla 43. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 19 con vientos.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	2	18	16	4	40	20%
	NE	2	22	9		33	16%
	E		12	2	1	15	7%
	SE	1	13	6		20	10%
	S		8	3		11	5%
	SW	4	8	2		14	7%
	W	4	11	10	1	26	13%
	NW	3	17	26		46	22%
Total		16	109	74	6	205	100%
Frecuencia		8%	53%	36%	3%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

Las velocidades de capa 25, que se encuentran entre 1 y 10 cm/s poseen la mayor concentración de datos (94%). Además, se observa que las direcciones medidas con más frecuencias son NW y NE con 19% y 22%, respectivamente (Tabla 44).

Tabla 44. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 25 con vientos.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		Calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	1	19	12	1	33	16%
	NE	2	26	15	2	45	22%
	E	1	15	8	1	25	12%
	SE		11	5		16	8%
	S	1	5	3		9	4%
	SW	1	14	3		18	9%
	W	2	11	7		20	10%
	NW	2	21	16		39	19%
Total		10	122	69	4	205	100%
Frecuencia		5%	60%	34%	2%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En capa 31, las magnitudes con mayor cantidad de registros corresponden a la que se encuentran entre 1 y 19 cm/s, con una frecuencia acumulada de 90%, seguido del rango

10 a 20 con un 8%. Además, las direcciones NE y NW presentan frecuencias de 22% y 27%, respectivamente (Tabla 45).

Tabla 45. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 31 con vientos.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	1	11	19	1	32	16%
	NE	2	23	18	3	46	22%
	E	1	4	10	1	16	8%
	SE		4	1		5	2%
	S		6	1		7	3%
	SW		8	5	2	15	7%
	W		14	13	2	29	14%
	NW		22	26	7	55	27%
Total		4	92	93	16	205	100%
Frecuencia		2%	45%	45%	8%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

EL diagrama del vector progresivo de capa 5 (Figura 17.a), presenta un movimiento teórico de la partícula en dirección SW, cambiando su sentido desde los 2 km (componente N), para desplazarse hacia el SE.

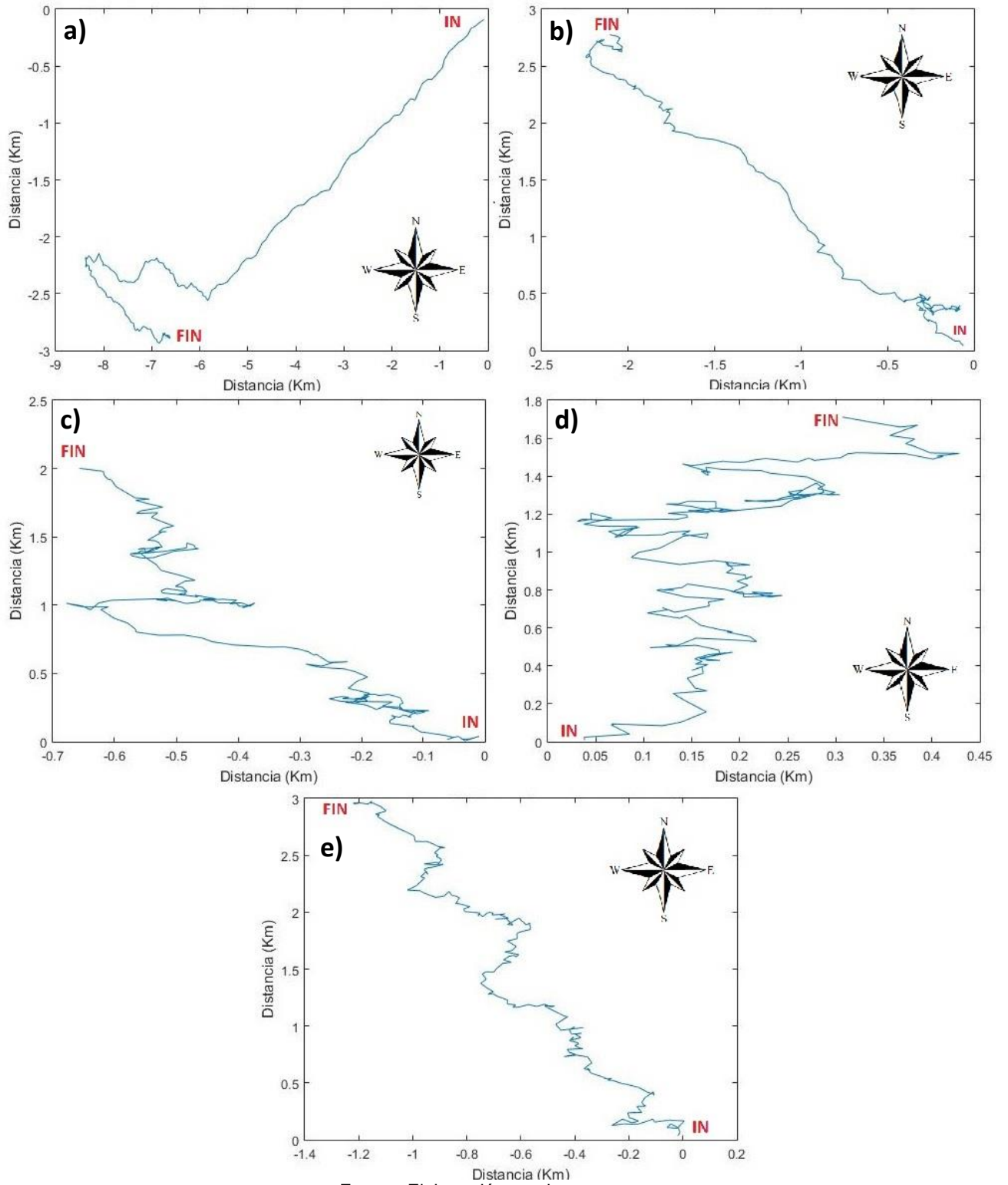
En capa 12, la partícula teórica se desplaza en dirección NW, recorriendo una mayor distancia en la componente N del vector de corrientes (Figura 17.b).

En capa 19 (Figura 17.c), se observa desplazamiento en sentido NW recorriendo una mayor distancia en la componente N.

El desplazamiento de la partícula, perteneciente a capa 25, es en sentido N, con componentes vectoriales E y W a lo largo de la medición (Figura 17.d).

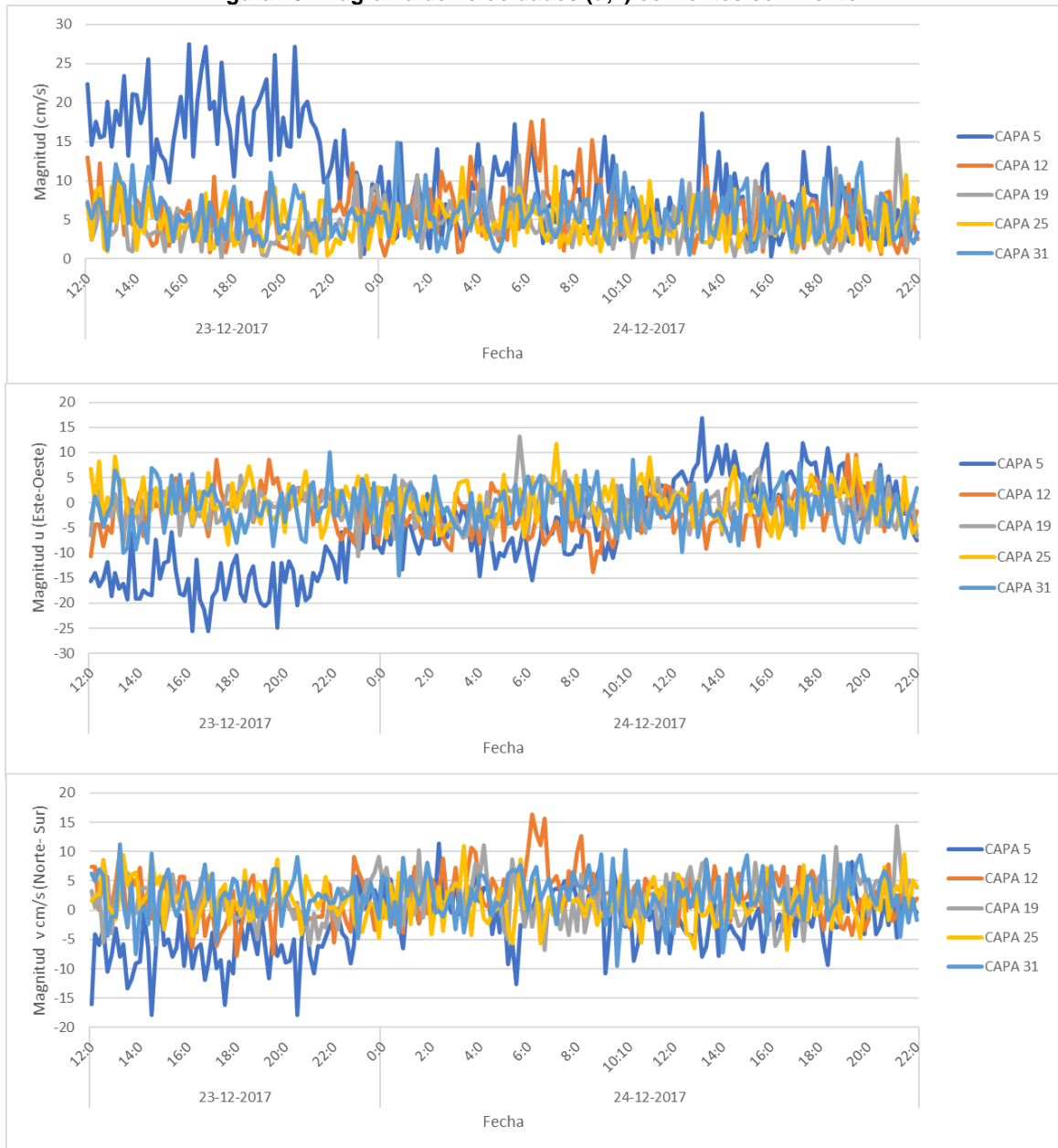
En capa 31, el diagrama de vector progresivo (Figura 17.c), presenta un desplazamiento NW con vectores de menor magnitud en sentido E. Se observa una mayor distancia recorrida en la componente vectorial N.

Figura 17. Diagrama de vector progresivo corrientes en con ráfagas de viento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Diagrama de velocidades (u,v) corrientes con viento.



Fuente: Elaboración propia.

Las mayores magnitudes de corrientes en capa 5, se presentan entre las 12:00 y 20:00 horas del día 23, con desplazamientos en sentido SW y velocidades máximas cercanas a los 30 cm/s.

En capa 12, las máximas magnitudes se encuentran entre las 4:00 y 12:00 horas llegando a casi 20 cm/s con desplazamientos en dirección NW (Figura 18 y 17.b).

En capa 19, se presentan magnitudes máximas que no superan los 20 cm/s, con desplazamiento en dirección NW y NE. Además, las máximas velocidades se registran al final de la escala temporal.

Se observa en capa 25, que las magnitudes máximas se desplazan en dirección NE y NW, sin superar los 15 cm/s.

En capa 31, los desplazamientos con magnitudes máximas alcanzan 15 cm/s con desplazamientos en dirección SW y NE. Además, se observa que entre las 20:00 del día 23 y 4:00 del día 24, se registran las mayores velocidades del vector de corrientes.

Las corrientes con efectos de viento presentan magnitudes máximas cercanas a 20 cm/s, con direcciones N y NW. Por otra parte, en capa 5 se observa que el desplazamiento de las mayores velocidades corresponde a dirección SW.

7.7 CORRIENTES SIN RÁFAGAS DE VIENTOS

Para realizar el análisis de corrientes sin ráfagas de vientos se utilizaron datos medidos entre los días 1 y 2 de enero del año 2018.

En capa 5, las magnitudes que presentan mayor cantidad de registros corresponden a las que se encuentran entre 1 y 10 cm/s con un 83% de los datos, seguido por las velocidades de 10 a 20 cm/s con 15%. La dirección que se presenta con mayor es NW (Tabla 46).

Tabla 46. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 5 sin ráfagas de viento.

		calmas	1-5	5-10	10-20	20-30	Total	Frecuencia
Dirección	N		12	8	2		22	12%
	NE	1	4	9			14	8%
	E		4	4			8	4%
	SE		4	3			7	4%
	S		4	5	1		10	6%
	SW		7	2			9	5%
	W	1	9	22	7		39	22%
	NW	2	15	37	17	1	72	40%
Total		4	59	90	27	1	181	100%
Frecuencia		2%	33%	50%	15%	1%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 12 sin ráfagas de viento.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	3	16	15	1	35	19%
	NE	2	20	26		48	27%
	E	1	10	5	1	17	9%
	SE	1	10	4		15	8%
	S		3			3	2%
	SW	1	6	3		10	6%
	W	1	9	4		14	8%
	NW	1	17	19	2	39	22%
Total		10	91	76	4	181	100%
Frecuencia		6%	50%	42%	2%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En capa 12, el rango de velocidades más registrado corresponde a 1 y 10 cm/s con una frecuencia acumulada de 92%. Además, las direcciones que presentan mayor frecuencia son NE y NW con 27% y 22%, respectivamente (Tabla 47).

En capa 19, las velocidades que presentan mayor cantidad de registros se encuentran entre 1 y 10 cm/s, con una frecuencia acumulada de 93%. Por otra parte, la dirección con más datos concentrados corresponde a NE con un 27% (Tabla 48).

Tabla 48. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 19 sin ráfagas de viento.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N		16	16	2	34	19%
	NE	2	30	13	4	49	27%
	E	1	19	7		27	15%
	SE		5	6	1	12	7%
	S		8	2		10	6%
	SW	1	5	1		7	4%
	W	1	14	6	1	22	12%
	NW		11	9		20	11%
Total		5	108	60	8	181	100%
Frecuencia		3%	60%	33%	4%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En capa 25, las corrientes predominantes corresponden a las que se encuentran entre 1 y 10 cm/s con un 91%, seguido de las magnitudes entre 10 y 20 cm/s con un 6%. Las direcciones que presentan la mayor cantidad de registros corresponden a N, NW y E (Tabla 49).

Tabla 49. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 25 sin ráfagas de viento.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	2	19	11	1	33	18%
	NE		15	16		31	17%
	E		12	13	4	29	16%
	SE		5	10	2	17	9%
	S		5			5	3%
	SW	2	6	6		14	8%
	W	1	13	6	2	22	12%
	NW	1	9	19	1	30	17%
Total		6	84	81	10	181	100%
Frecuencia		3%	46%	45%	6%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En capa 31, la mayor cantidad de datos se concentra entre 1 y 10 cm/s con una frecuencia acumulada de 91%. Las direcciones con más registros corresponden a N y NE con un 54% acumulado (Tabla 50).

Tabla 50. Frecuencia de observación (%) de magnitudes de corrientes capa 31 sin ráfagas de viento.

		Magnitud (cm/s)				Total	Frecuencia
		calmas	1-5	5-10	10-20		
Dirección	N	2	17	33	4	56	31%
	NE		15	22	4	41	23%
	E		8	5	1	14	8%
	SE		2	4		6	3%
	S		5			5	3%
	SW		6			6	3%
	W		7	4	3	14	8%
	NW		17	18	4	39	22%
Total		2	77	86	16	181	100%
Frecuencia		1%	43%	48%	9%	100%	

Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de vector progresivo perteneciente a capa 5 (Figura 19.a), presenta un desplazamiento en dirección NW, con una partícula que recorre una mayor distancia en la componente N.

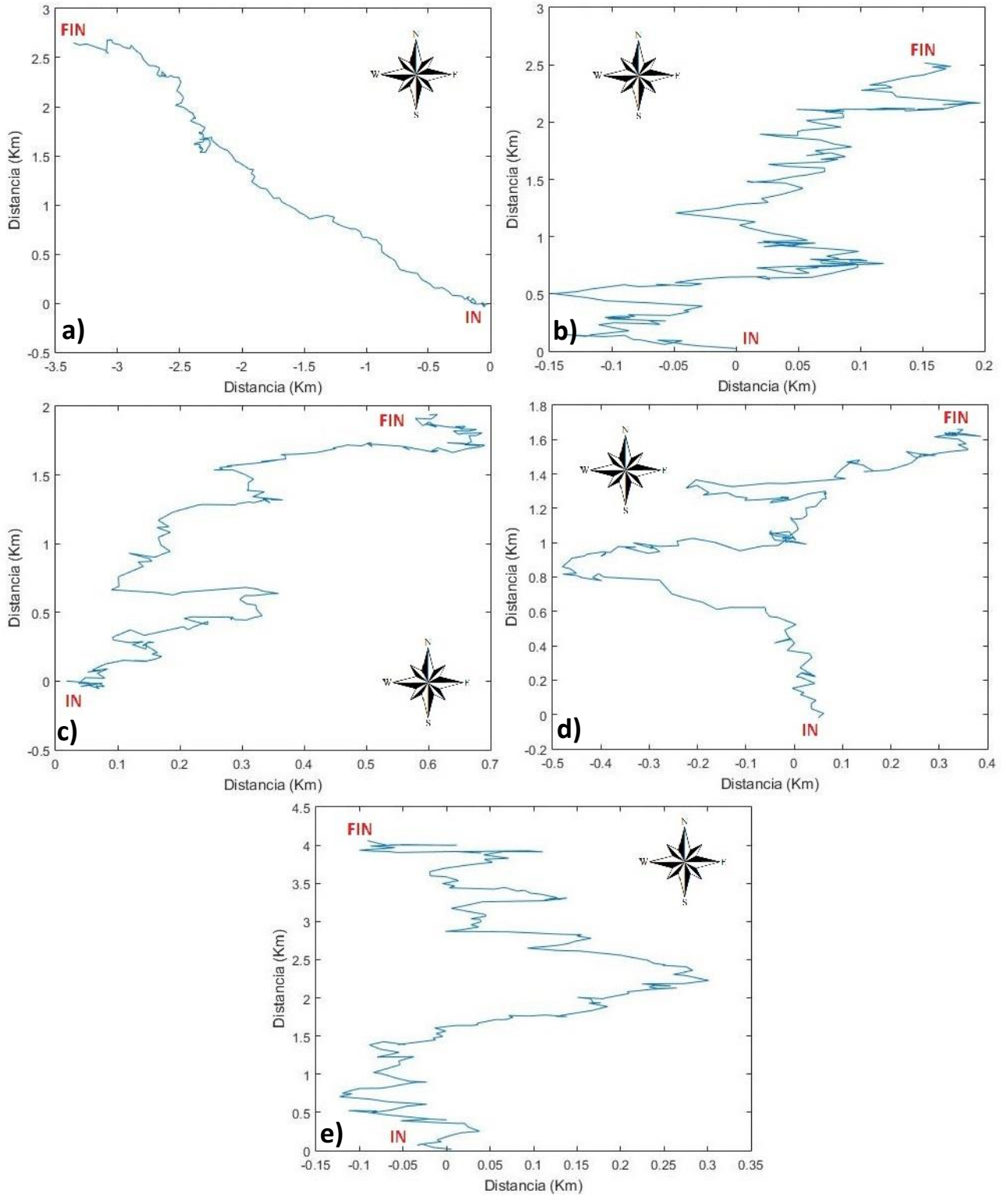
En capa 12 (Figura 19.b), el desplazamiento de una partícula teórica se en sentido NE con componentes vectoriales menores hacia el W.

En Figura 19.c, el desplazamiento de la partícula de capa 19, es en dirección NE con componentes vectoriales menores W. Además, se observa que recorre una mayor distancia en la componente N.

En capa 25 (Figura 19.d), se observa que la partícula se desplaza en sentido N con menores componentes vectoriales en dirección E y W.

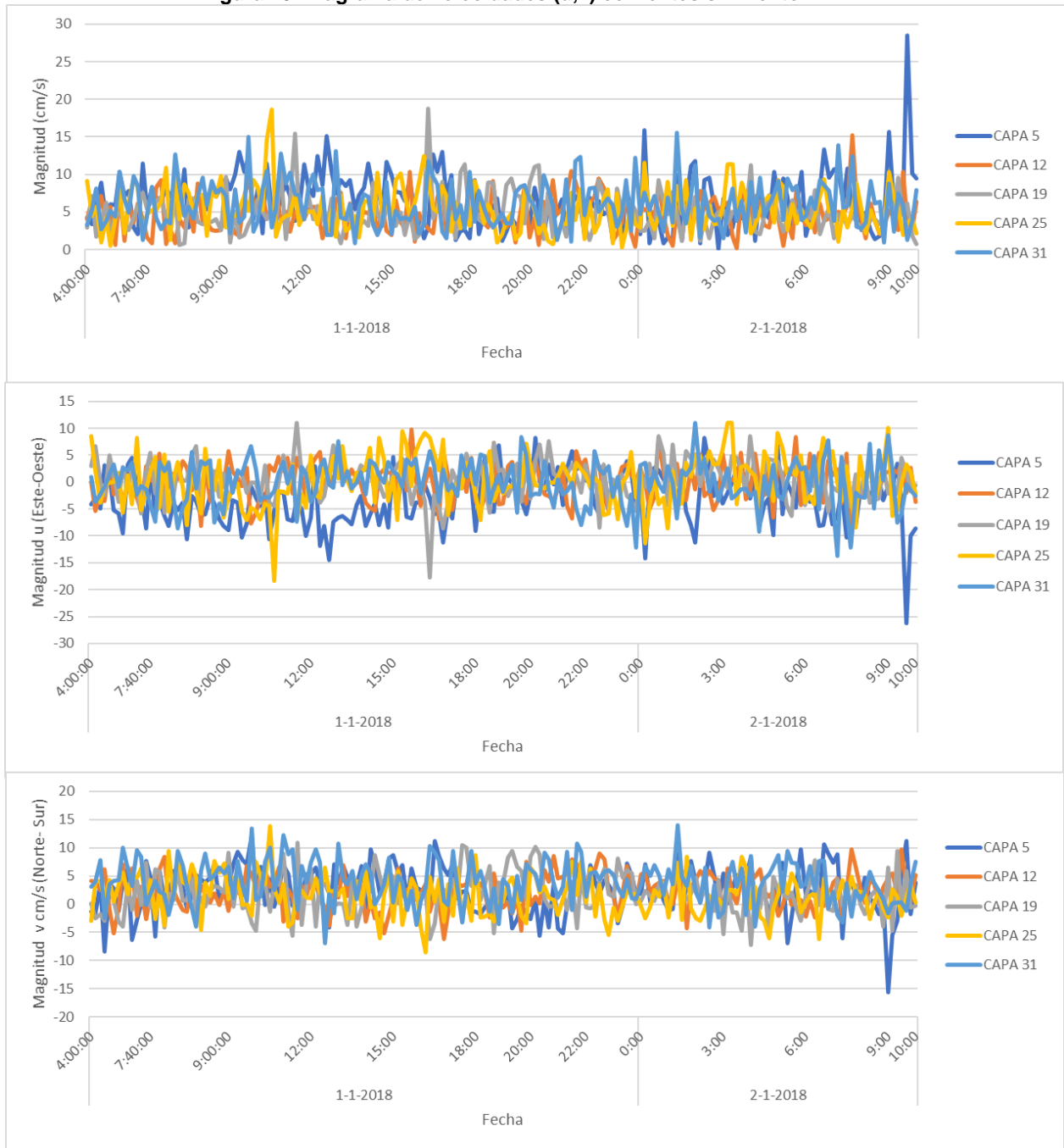
El diagrama de vector progresivo de capa 31 (Figura 19.e), presenta un desplazamiento de la partícula en dirección N, con componentes vectoriales de menor intensidad en sentidos W y E. Además, recorre una mayor distancia en la componente vectorial N.

Figura 19. Diagrama de vector progresivo corrientes en sin ráfagas de viento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Diagrama de velocidades (u,v) corrientes sin viento.



Fuente: Elaboración propia.

En capa 5, e observa que las máximas magnitudes se presentan después de las 8:00 horas, llegando casi a 30 cm/s en dirección SW.

Las máximas magnitudes pertenecientes a la capa 12, no superan los 20 cm/s, las que se presentan después de las 8:00 horas del día 2 de enero, con desplazamientos en dirección NW y NE (Figura 20 y 19.b).

.En la capa 19, se observa que las máximas magnitudes se registran entre las 11:00 y 18:00 horas, alcanzando casi 20 m/s con direcciones NW y NE.

Las magnitudes máximas de la capa 25, no superan los 20 cm/s con desplazamiento en sentido NW. Además, en el resto del registro las velocidades alcanzan solamente 10 cm/s, con desplazamientos multidireccionales.

En la capa 31, el vector de corrientes, presenta máximas magnitudes que alcanzan aproximadamente 20 cm/s con desplazamientos en sentido NW, N y WE-

En todas las capas se observa un desplazamiento teórico de una partícula en dirección N, con componentes E y W. Además, en todas las capas las máximas magnitudes se encuentran cercanas de los 20 cm/s.

7.8 RESUMEN DE RESULTADOS CORRIENTES

Para los resultados obtenidos se analizan tres capas, donde se consideraron las más cercanas a la superficie, intermedia y de fondo.

Se observa que las mayores magnitudes de corrientes se presentan en capa 5, la que se encuentra entre 8 y 10 metros de profundidad con una velocidad de 35,4 cm/s perteneciente a periodos de cuadratura, mientras que las menores magnitudes se registran en mar llenante, vaciante y corrientes con forzantes de vientos.

En capa 31, la cual se encuentra entre 60 y 62 metros de profundidad, se registraron las velocidades máximas de 17 cm/s en periodos de cuadratura y sicigia.

La dirección predominante del vector de corrientes para todos los escenarios modelados varía de Norte a Sur, con variaciones de Este a Oeste (Tabla 51).

Tabla 51. Información de corrientes capas usadas en los distintos escenarios.

Escenario	Capa 5 (8-10 m)		Capa 19 (30-32 m)		Capa 31 (60-62 m)	
	Velocidad Máxima (cm/s)	Dirección predominante	Velocidad Máxima (cm/s)	Dirección predominante	Velocidad Máxima (cm/s)	Dirección predominante
Registro completo	35.4	SW-W	33.6	NW	17.0	NW
Cuadraturas	35.4	W-NW	12.7	NW-N	17.0	NW-N
Sicigias	26.5	SW-S	14.4	S	17.0	SE-S
Llenante	12.1	SW-S	14.4	SE-S	12.0	SE-S
Vaciante	12.9	NW	8.1	NE-N	11.8	NW
Con viento	12.1	W-SW	14.4	NW-N	12.0	NW
Sin viento	28.5	NW-N	18.8	NE-N	15.5	NE-N

Fuente: Elaboración propia.

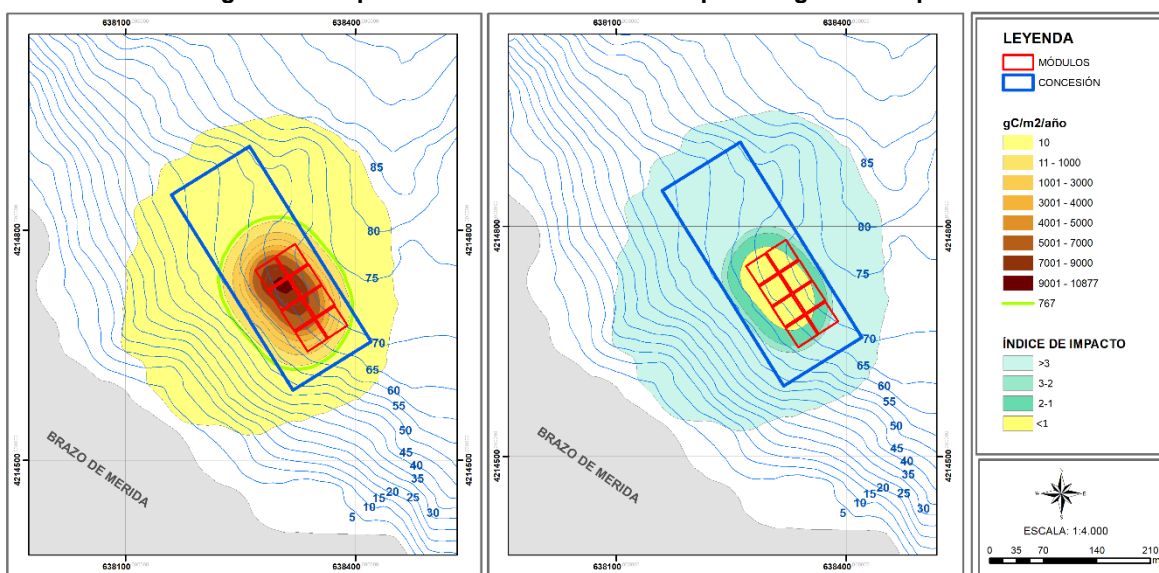
8 RESULTADOS MODELACIÓN DEPOMOD V2.2

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las modelaciones realizadas con DEPOMOD v2.2 e índices de impacto obtenidos mediante el modelo de Frindlay and Watling

8.1 DISPERSIÓN DE COT CON REGISTRO COMPLETO

En Figura 21, la dispersión de COT se concentra principalmente debajo de los módulos, dispersándose en dirección SW. El índice de impacto es inferior a 1, por lo que el sedimento se encontraría anaeróbico.

Figura 21. Dispersión de COT e índice de impacto registro completo.



Fuente: Elaboración propia.

Las máxima depositación corresponde a 10.877 gC/m²/año, con una demanda de oxígeno mucho mayor que la disponible, lo que da como resultado un índice de impacto de 0,47 (Tabla 52).

Tabla 52. Resultados DEPOMOD registro completo

Item	Valor (poner unidades)
Máxima depositación en este proyecto (gC/m ² /año)	10,877.00
Depositación promedio del área impactada (gC/m ² /año)	304.26
Disponibilidad de Oxígeno en el fondo con corriente promedio (mmol/O ₂ /m ² /día)	1,237.18
Demanda máxima Oxígeno con depositación máxima (mmol/O ₂ /m ² /día)	2,624.57
Índice de Impacto con máxima depositación (Disponibilidad de O ₂ / Demanda de O ₂)	0.47
Índice de Impacto con depositación promedio del área impactada (Disponibilidad de O ₂ / Demanda de O ₂)	29.65

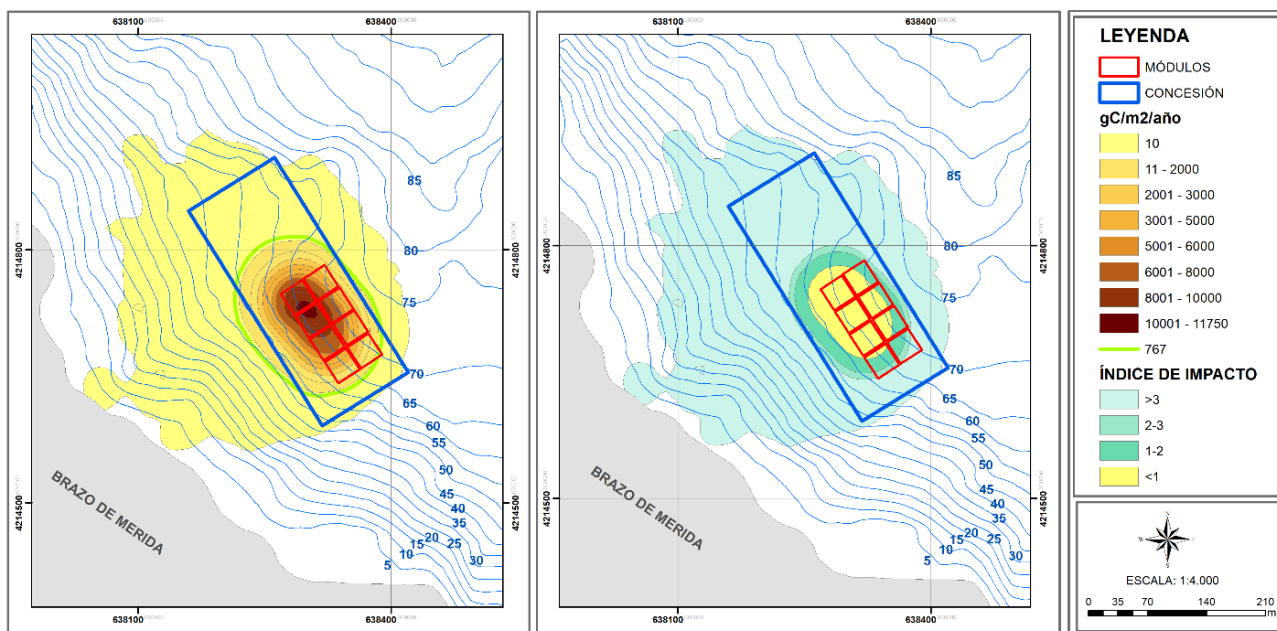
Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la dispersión de carbono para un registro de corrientes de 30 días se ve influenciado por los vectores de corrientes de mayores magnitudes, ya que como se puede apreciar, la dispersión de COT es en direcciones SW, NW y NE principalmente, presentando características similares a la distribución de corrientes analizada.

8.2 DISPERSIÓN DE COT EN CUADRATURA

Con corrientes de cuadratura se observa que el COT se desplaza mayormente en sentido SW. Además, las mayores concentraciones de materia orgánica se encuentran debajo de las balsas jaulas provocando un índice de impacto menor a 1 (Figura 22).

Figura 22. Dispersión de COT e índice de impacto en cuadratura.



Fuente: Elaboración propia.

La máxima depositación es de 11.750 gC/m²/año, con demanda de oxígeno proyectada 2,837.83 mmol/O₂/m²/día, la cual es mayor a la cantidad disponible, obteniendo un índice de impacto de 0,44 (Tabla 53).

Tabla 53. Resultados DEPOMOD en cuadratura.

Ítem	Valor
Máxima depositación en este proyecto (gC/m ² /año)	11,750.00
Depositación promedio del área impactada (gC/m ² /año)	588.39
Disponibilidad de Oxígeno en el fondo con corriente promedio (mmol/O ₂ /m ² /día)	1,240.34
Demanda máxima Oxígeno con depositación máxima (mmol/O ₂ /m ² /día)	2,837.83
Índice de Impacto con máxima depositación (Disponibilidad de O ₂ / Demanda de O ₂)	0.44
Índice de Impacto con depositación promedio del área impactada (Disponibilidad de O ₂ / Demanda de O ₂)	11.16

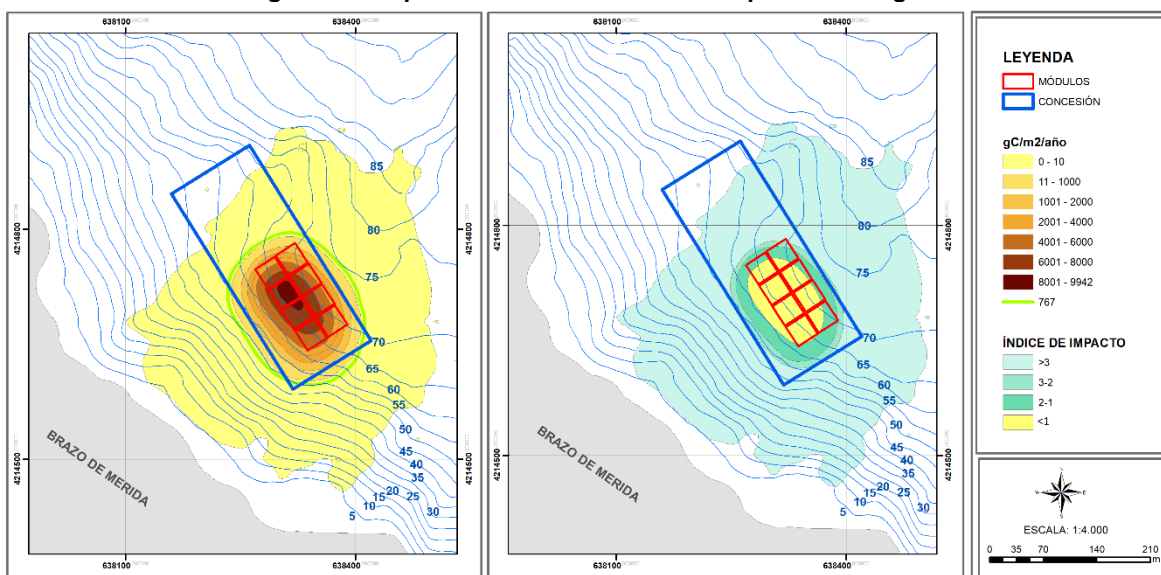
Fuente: Elaboración propia.

La dispersión de COT (Figura 22), es principalmente en sentido SW y NW, por lo que las capas que tienen más influencia corresponden a 5, 25 y 30, ya que presentan un vector de corrientes máximas en direcciones similares.

8.3 DISPERSIÓN DE COT EN SICIGIA

En periodo de sicigia, la dispersión de COT es en dirección SW y NE, donde las máximas concentraciones se depositan debajo de los módulos con un índice de impacto menor a 1 (Figura 23).

Figura 23. Dispersión de COT e índice de impacto en sicigia.



Fuente: Elaboración propia.

La máxima depositación es de 9.942 gC/m²/año con una máxima demanda de oxígeno de 2,396.15 mmol/O₂/m²/día, y un índice de impacto es de 0,51 (Tabla 54).

Tabla 54. Resultados DEPOMOD en sicigia.

Ítem	Valor
Máxima depositación en este proyecto (gC/m ² /año)	9,942.00
Depositación promedio del área impactada (gC/m ² /año)	416.34
Disponibilidad de Oxígeno en el fondo con corriente promedio (mmol/O ₂ /m ² /día)	1,221.54
Demanda máxima Oxígeno con depositación máxima (mmol/O ₂ /m ² /día)	2,396.15
Índice de Impacto con máxima depositación (Disponibilidad de O ₂ / Demanda de O ₂)	0.51
Índice de Impacto con depositación promedio del área impactada (Disponibilidad de O ₂ / Demanda de O ₂)	17.68

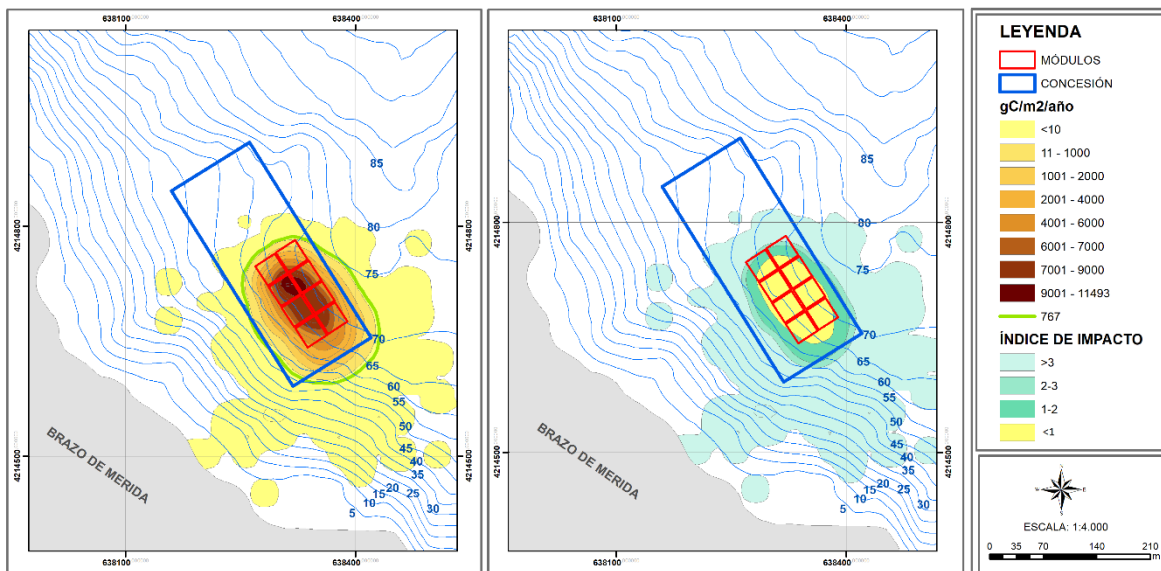
Fuente: Elaboración propia.

La dispersión de COT es con direcciones predominantes en sentido S, SE y SW, coincidiendo con el análisis de corrientes en sicigia.

8.4 DISPERSIÓN DE COT EN LLENANTE

Las concentraciones máximas de COT se depositan justo debajo de los módulos, donde el índice de impacto es más bajo. Se observa que la materia orgánica se desplaza principalmente en sentido SW (Figura 24).

Figura 24. Dispersión de COT e índice de impacto en llenante.



Fuente: Elaboración propia.

La máxima depositación es de 11.493 $gC/m^2/año$ con una demanda máxima de oxígeno de 2.775,05 $mmol/O_2/m^2/día$ y un índice de impacto de 0,46 (Tabla 55).

Tabla 55. Resultados DEPOMOD en llenante.

Ítem	Valor
Máxima depositación en este proyecto ($gC/m^2/año$)	11,493.00
Depositación promedio del área impactada ($gC/m^2/año$)	1,396.25
Disponibilidad de Oxígeno en el fondo con corriente promedio ($mmol/O_2/m^2/día$)	1,263.10
Demanda máxima Oxígeno con depositación máxima ($mmol/O_2/m^2/día$)	2,775.05
Índice de Impacto con máxima depositación (Disponibilidad de O_2 / Demanda de O_2)	0.46
Índice de Impacto con depositación promedio del área impactada (Disponibilidad de O_2 / Demanda de O_2)	4.09

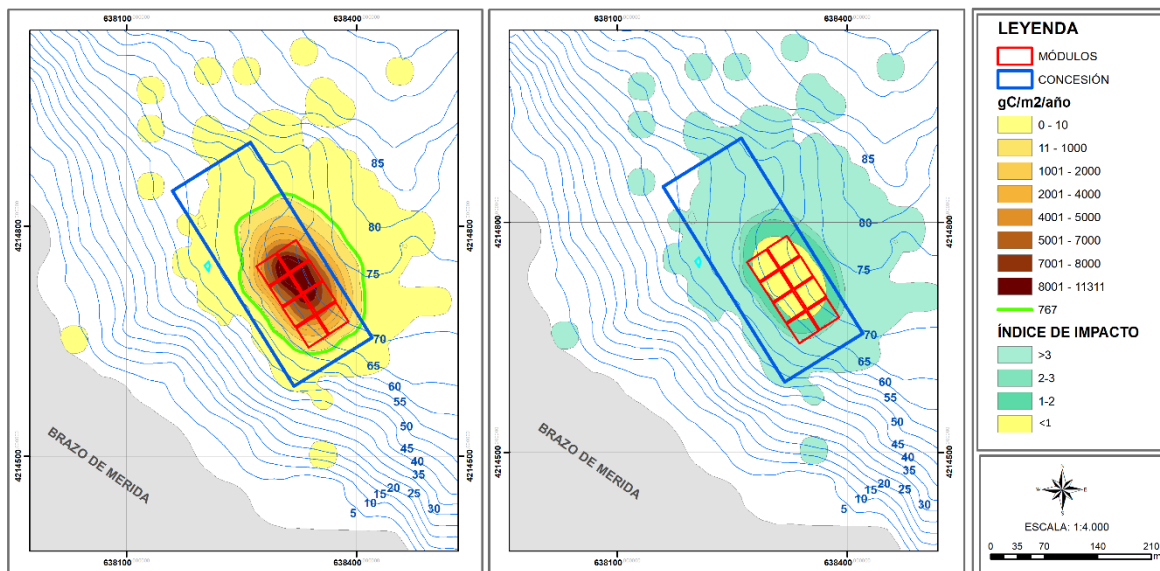
Fuente: Elaboración propia.

El COT con marea llenante se desplaza en sentido S y dispersándose hacia SE y SW manteniendo concentraciones máximas debajo de los módulos.

8.5 DISPERSIÓN DE COT EN VACIANTE

En corriente vaciante el COT se desplaza en dirección NE con sus máximas concentraciones debajo de los módulos obteniendo el menor índice de impacto en esta zona (Figura 25).

Figura 25. Dispersión de COT e índice de impacto en vaciante.



Fuente: Elaboración propia.

La máxima depositación es de 11.311 gC/m²/año con una demanda máxima de oxígeno de 2.730 mmol/O₂/m²/día y un índice de impacto de 0,46 (Tabla 56).

Tabla 56. Resultados DEPOMOD en vaciante.

Ítem	Valor
Máxima depositación en este proyecto (gC/m ² /año)	11,311.00
Depositación promedio del área impactada (gC/m ² /año)	1,337.24
Disponibilidad de Oxígeno en el fondo con corriente promedio (mmol/O ₂ /m ² /día)	1,248.38
Demanda máxima Oxígeno con depositación máxima (mmol/O ₂ /m ² /día)	2,730.59
Índice de Impacto con máxima depositación (Disponibilidad de O ₂ / Demanda de O ₂)	0.46
Índice de Impacto con depositación promedio del área impactada (Disponibilidad de O ₂ / Demanda de O ₂)	4.25

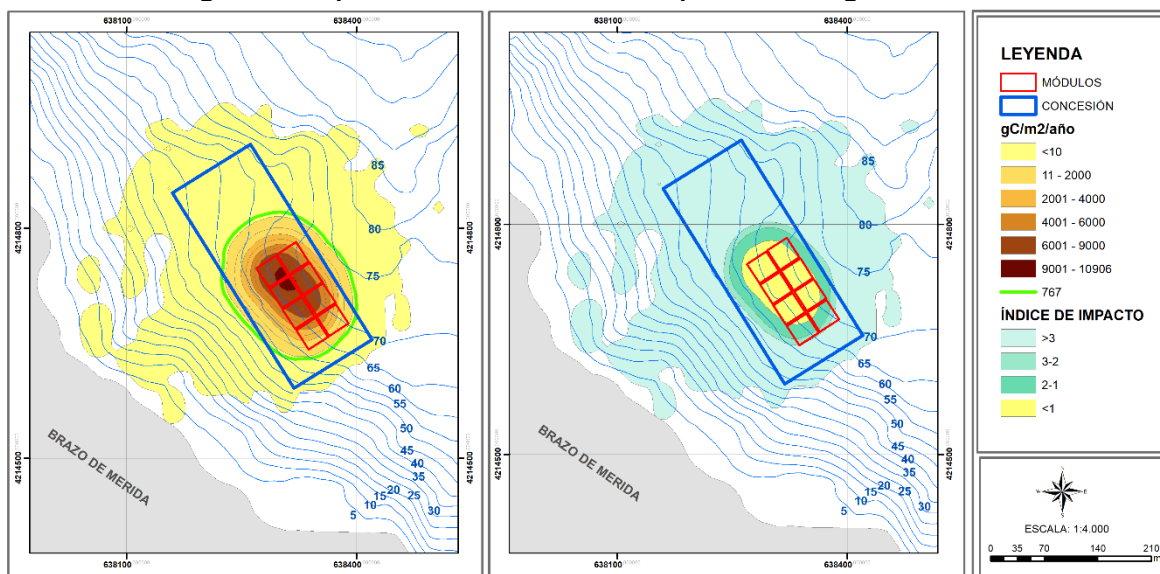
Fuente: Elaboración propia.

El COT, se dispersa en sentido predominante NE, dejando bajas cantidades de sedimento hacia la costa y concentrándose mayormente debajo de los módulos coincidiendo con lo expuesto en análisis de corrientes en vaciante.

8.6 DISPERSIÓN DE COT CON RÁFAGAS DE VIENTO

El COT se desplaza, principalmente en dirección NW y hacia la costa con deposición máxima debajo de los módulos, donde el índice de impacto es menor a 1 (Figura 26).

Figura 26. Dispersión de COT e índice de impacto con ráfagas de viento.



Fuente: Elaboración propia.

La máxima deposición es de 10.906 gC/m²/año con una demanda máxima de oxígeno de 2.631,64 mmol/O₂/m²/día con un índice de impacto de 0,47 (Tabla 57).

Tabla 57. Resultados DEPOMOD con ráfagas de viento.

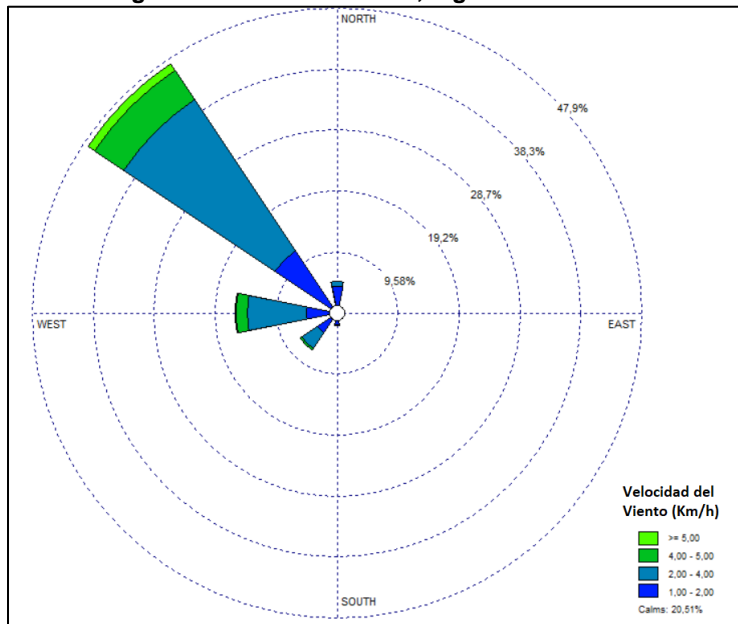
Ítem	Valor
Máxima deposición en este proyecto (gC/m ² /año)	10,906.00
Deposición promedio del área impactada (gC/m ² /año)	628.49
Disponibilidad de Oxígeno en el fondo con corriente promedio (mmol/O ₂ /m ² /día)	1,237.54
Demanda máxima Oxígeno con deposición máxima (mmol/O ₂ /m ² /día)	2,631.65
Índice de Impacto con máxima deposición (Disponibilidad de O ₂ / Demanda de O ₂)	0.47
Índice de Impacto con deposición promedio del área impactada (Disponibilidad de O ₂ / Demanda de O ₂)	10.23

Fuente: Elaboración propia.

En Figura 26, se observa que la dispersión de COT es, principalmente en sentido NW y SW, lo cual indica que, a pesar de que la capa 5 fuera la única con un movimiento de partículas en dirección SW, estas también influyen en la dispersión de COT en el sedimento.

Además, como se muestra en Figura 27, el viento tiene una gran influencia sobre la dirección de las corrientes en todas las capas analizadas, al igual que en la dispersión de COT.

Figura 27. Rosa de Vientos, registro de 30 días.

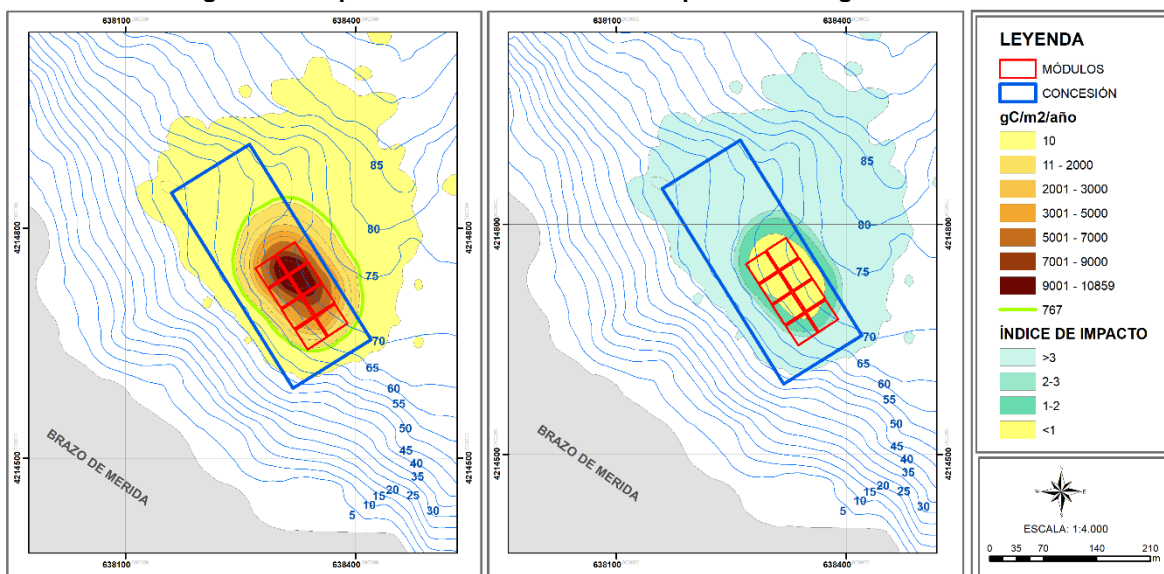


Fuente: Elaboración propia.

8.7 DISPERSIÓN DE COT SIN RAFAGAS DE VIENTOS

La dispersión de COT sin forzante de viento es en sentido NE, donde el área de mayor depositación de encuentra debajo de las balsas jaulas y el índice de impacto es inferior a 1 (Figura 28).

Figura 28. Dispersión de COT e índice de impacto sin ráfagas de viento.



Fuente: Elaboración propia.

La máxima depositación es de 10.859 gC/m²/año con una demanda de oxígeno de 2.620 mmol/O₂/m²/día y un índice de impacto de 0,48 (Tabla 58).

Tabla 58. Resultados DEPOMOD sin ráfagas de viento.

Ítem	Valor
Máxima depositación en este proyecto (gC/m ² /año)	10,859.00
Depositación promedio del área impactada (gC/m ² /año)	677.83
Disponibilidad de Oxígeno en el fondo con corriente promedio (mmol/O ₂ /m ² /día)	1,264.12
Demanda máxima Oxígeno con depositación máxima (mmol/O ₂ /m ² /día)	2,620.17
Índice de Impacto con máxima depositación (Disponibilidad de O ₂ / Demanda de O ₂)	0.48
Índice de Impacto con depositación promedio del área impactada (Disponibilidad de O ₂ / Demanda de O ₂)	9.51

Fuente: Elaboración propia.

La dispersión de COT es en sentido NE y NW, con su máxima depositario debajo de los módulos, al igual que el índice de impacto.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La concentración de COT en el sedimento depende, principalmente, del vector de corrientes, batimetría del lugar y promedio móvil de magnitudes de corrientes de la capa más profunda que se utiliza para la modelación, por lo que para determinar si las concentraciones de COT se encuentran sobre lo establecido para que el sedimento no presente condiciones anoxias, se debe obtener el índice de impacto, el cual es una relación entre cantidad de oxígeno demandada y disponible, por lo que si este valor es menor a 1 quiere decir que la cantidad de oxígeno que se utiliza es mayor a la que se encuentra en el sistema. Mientras el índice de impacto sea mayor o igual a 1 quiere decir que la zona de estudio presenta las características hidrodinámicas y de fondo marino para producir la cantidad requerida de biomasa en un ciclo productivo..

Tabla 59. Resultados de dispersión de COT mediante DEPOMOD.

Escenario	Máxima depositación (gC/m ² /año)	Índice de Impacto	Promedio capa profunda (cm/s)
Registro completo	10,877	0.47	5.56
Cuadraturas	11,750	0.44	5.62
Sicigias	9,942	0.51	5.27
Llenante	11,493	0.46	6.10
Vaciante	11,311	0.46	5.77
Con viento	10,906	0.47	5.56
Sin viento	10,859	0.48	6.09

Fuente: Elaboración propia.

En Tabla 59, se indica un resumen de los resultados de dispersión de COT obtenidos para cada escenario modelado, donde se puede concluir que:

Para las modelaciones con marea llenante y vaciante, las concentraciones de COT fueron de 11.311 gC/m²/año y 11.493 gC/m²/año con una diferencia de 182 gC/m²/año. Además, se obtuvo el mismo índice de impacto en ambos escenarios por lo que en estas fases no se encontraron grandes diferencias entre concentraciones, pero si en la dispersión de COT, donde para mar llenante, este se desplazó hacia el S, mientras que en vaciante la dirección fue N, en ambos casos con componentes E y O.

En los escenarios de corrientes con y sin influencia de vientos, se observa que la dispersión de COT se desplaza en el mismo sentido de este, pero sin tener grandes cambios en las concentraciones obtenidas, las que fueron 10.906 gC/m²/año y 10.859 gC/m²/año, respectivamente, con una diferencia de 47 gC/m²/año.

Las mayores diferencias se encontraron entre corrientes medidas en sicigia y cuadratura, donde las concentraciones de carbono fueron 9.942 gC/m²/año y 11.740 gC/m²/año, respectivamente, con una diferencia de 1.798 gC/m²/año. Los índices de impactos para cada uno de los escenarios modelados fueron 0,51 para sicigia y 0,44 para cuadratura, por lo que el periodo que se encuentra con mayores magnitudes de corrientes es en sicigia, lo que se debe principalmente a que los cambios de mareas para estos periodos lunares son los más grandes, por lo que el efecto las mareas sobre las corrientes es considerable.

Las corrientes de mayores magnitudes tuvieron mayor incidencia en la dispersión de COT, independiente de la cantidad de registros de magnitudes bajas, las máximas velocidades con su respectiva dirección fueron las que determinaron la distribución de dispersión de carbono.

Los índices de impactos obtenidos fueron en su totalidad inferiores a 1, lo que indica que el sistema en estudio se encontraría con bajos niveles de oxígeno en todos los escenarios. Esto se debe principalmente al ciclo productivo, la cantidad de biomasa modelada y a las bajas magnitudes de las corrientes en las capas cercanas al fondo.

En lo referente a las concentraciones de COT observadas, estas fueron, en general, más bajas que las observadas en otros sistemas naturales sin influencia antropogénica (Sánchez *et al.*, 2013). Además, Corner, ha informado valores de 1.550 gC/m²/15 días para la costa oeste de Escocia, los que son equivalentes a 37.000 gC/m²/año, siendo mayores a lo observado en el presente proyecto.

Es importante destacar que; debido a que DEPOMOD solamente integra forzantes hidrodinámicas de corrientes, para separar cada escenario modelado, se utilizaron criterios estadísticos definiendo las escalas temporales donde ocurrieron los principales eventos y acotando los datos de corrientes en una escala temporal igual a la de cada escenario. A raíz de esto, a pesar de estudiar cada escenario por separado, en algunos casos como; corrientes con forzantes de vientos o más llenante, también estuvieron presentes mareas de sicigia y cuadratura.

A raíz de los análisis y resultados expuestos en este proyecto, se recomienda que al momento se realizar una modelación mediante DEPOMOD v2.2; realizar un análisis de corrientes detallado antes de modelar, evaluando cada capa a utilizar y como es la distribución general del vector de corrientes a lo largo de toda la columna de agua, además de considerar en qué fase lunar se está midiendo, lo cual también es influyente en los resultados de las modelaciones.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Araneda R, S. (2012). *APLICACIÓN DEL PROGRAMA DEPOMOD A CENTROS DE X REGIÓN*. Puerto Montt, Chile(págs. 3-15).
- Buschmann, A., Costa-Pierce, B., Cross, S., Iriarte, J. L., Olsen, Y., & Reid, G. (2007). En *Nutrient Impacts of Farmed Atlantic Salmon (Salmo salar) on Pelagic Ecosystems and Implication for Carrying Capacity* (Vol. 1, págs. 12-18).
- Chen, Y.-S., Beveridge, M. C., & Telfer, T. C. (1999). En?? *Settling rate characteristics and nutrient content of the faeces of Atlantic salmon, Salmo salr L, and the implications for modelling of solid waste dispersion Aquaculture Research, 30, 395-398.*
- Corner, R. A., Brooker, A. J., Telfer, T. C., & Ross, L. G. (2006). En?? 258 (Ed.), *A Fully Integrated GIS-based Model of Particle Waste Distribution from Marine Fish-Cage Sites Aquiculture Research* (págs. 299-311).
- Cromey, C.J., Nickell, T.D., Black, K.D., Provost, P.G., Griffiths, C.R., 2000. Observations and modelling of the resuspension of a particulate tracer from a point source for impact prediction. Proceedings of Oceanology International 2000, Brighton, UK, 7th– 10th March 2000. Spearhead-PGI Worldwide exhibitions LTD, Surrey, UK, pp. 68– 69.
- Cromey, C.J., Nickell, T.D., Black, K.D., 2002. DEPOMOD – modelling the deposition and biological effects of waste solids rom marine cage farms. *Aquaculture* 214, 211–239.
- DEPOMOD . (s.f.). Licencia 00-DV-15149C. Versión 2.2.
- Dyer, K.R., 1979. *Estuarine Hydrology and Sedimentation*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK. Gillibrand, P.A., Turrell, W.R., 1997. Simulating the dispersion and settling of particulate material and associated substances from salmon farms. Aberdeen Marine Laboratory, Report No 3/97, Aberdeen AB11 9DB, UK.
- Eleftheriou, A., Moore, D. C., Basford, D. J., & Toberstson, M. R. (1982). En *Underwater experiments on the effects of sewage sludge on a marine ecosystem Netherlands: Netherlands Journal of Sea* (Vol. 16, págs. 465-473).
- Findlay, R. H., & Watling, L. (1997). *Prediction of Benthic Impact for Salmon Net-Pens Based on the Balance of Benthic Oxygen Supply and Demand*. Marine Ecology Progress Series. Vol 155.(págs. 7-8)
- Gowen, R.J., Smyth, D., Silvert, W., 1994. Modelling the spatial distribution and loading of organic fish farm waste to the seabed. In: Hargrave, B.T. (Ed.), *Modelling Benthic Impacts of Organic Enrichment from Marine Aquaculture*. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci., vol. 1949, pp. 19– 30.
- Iwama, G. K. (1991). En?? *Interactions between aquaculture and the environment* (Vol. 21, págs. 177-216). Crit.Rev.Envirn.Contr.
- Kautsky, N., & Folke, C. (1989). En *Management of coastal areas for sustainable development of aquaculture* (Vol. 5, págs. 1-11). Biota.

- Lizano, O. (2003). *Las mareas y su relación con fenómenos astronómicos meteorológicos*. (U. d. Rica, Editor) Obtenido de <http://www.cientec.or.cr/astro/mareas.html#menu>
- Oyarzo, C., Guzmán, L., Pinilla, E., & Cañón, H. (2013). *Experiencia internacional en el uso de DEPOMOD para la acuicultura*. SUBPESCA(págs. 6-15).
- Panzarini, R. N. (1970). *Introducción a la oceanografía general*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Pérez, O. M., Telfer, T. C., Beveridge, M. M., & Ross, L. G. (2002). En *Geographical Information System (GIS) as a Simple Tool to Aid Modelling of Particulate Waste Distribution at Marine Fish Cage Sites* (Vol. 54, págs. 761-768). Estuarine, Coastal and Shelf Science.
- SHOA. (1999). Método oficial para el cálculo de los valores no armónicos de la marea. En S. H. Chile., *Publicación N° 3202*. Valparaíso (págs. 11-12).
- SHOA. (2002). Las mareas y su relación con fenómenos astronómicos y meteorológicos. *Publicación N° 3013*, (págs.11-13). Valparaíso, Chile: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.
- Sánchez A., O. González-Yajimovich, E. Balart, B.E. López-Ortiz, S. Aguiñiga-García y M. C. Ortiz-Hernández. 2013. Acumulación de carbono orgánico total y carbonato de calcio en la zona de oxígeno mínimo del Pacífico nororiental mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 30(1): 222-232.
- Wiesmann, D., Scheid, H., & Pleffer, E. (1988). En *Water pollution with phosphorus of dietary origin by intensively fed rainbow trout (Salmo gairdneri, Rich) Aquaculture* (Vol. 69, págs. 263-270).

