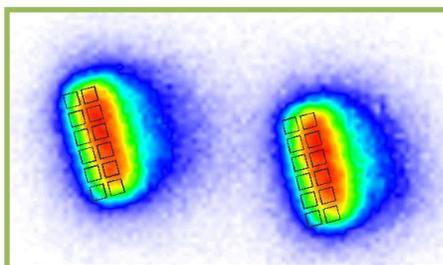


## INFORME FINAL

# APLICACIÓN DEL PROGRAMA DEPOMOD A CENTROS DE CULTIVO DE PECES EN LA Xª REGIÓN DE LOS LAGOS (PRIMERA ETAPA)



**PARA**

SUBSECRETARÍA DE PESCA



**DICIEMBRE 2012**

---

**CHILE**

**Santiago:** Renato Sánchez 3838, Las Condes; Fono (56-02) 2070154; Fax (56-02) 2634766; e-mail: [ambiental@poch.cl](mailto:ambiental@poch.cl)  
**Puerto Montt:** Av. Juan Soler Manfredini Nº 41 of. 1401; Fono (56-65) 363240; Fax (56-65) 363247; e-mail: [pmonnt@poch.cl](mailto:pmonnt@poch.cl)  
**Coyhaique:** José de Moraleda Nº 412, Fono (56-67) 573188; Fax (56-67) 573184

**ARGENTINA**

**Buenos Aires:** Montevideo 765 Piso 3º; Fono/Fax (054-11) 4813 5133; e-mail: [pochcdiar@fibertel.com.ar](mailto:pochcdiar@fibertel.com.ar)

**COLOMBIA**

**Bogotá:** Carrera 12 Nº 96 -81 oficina 203; Fono 057 (1) 691 22 81 - 057 (1) 616 78 09; e-mail: [marcos.bravo@poch.cl](mailto:marcos.bravo@poch.cl)

**PERÚ**

**Lima:** Av. Camino Real 1225, Piso 7, San Isidro; Fono (51-1) 421 8700; Fax: (51-1) 421 7959; e-mail: [fiorella.balbi@poch.com.pe](mailto:fiorella.balbi@poch.com.pe)

## CONTENIDO

INDICE DE TABLAS .....	5
INDICE DE FIGURAS .....	7
PRESENTACIÓN .....	12
1. ANTECEDENTES .....	13
2. OBJETIVO.....	14
3. ÁREA DE ESTUDIO .....	14
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	14
3.1 Muestreo de Sedimentos .....	14
4.2 .- Macrofauna bentónica .....	16
4.3 .- Granulometría, Materia Orgánica Total y Carbono Orgánico Total. ....	16
4.4 .- Potencial de Hidrógeno (pH) y Potencial de Óxido-Reducción (Redox) ...	18
4.5 .-Información obtenida desde CPS e INFA.....	18
4.6 .- Correntometría Euleriana .....	18
4.7 .- Batimetría .....	20
4.8 .- DEPOMOD .....	20
4.8.1 .-Grilla del Modelo.....	23
4.8.2 .-Módulo de Trayectoria .....	24
4.8.3 .- Resuspensión de Partículas. ....	26
5 .- ESCENARIOS .....	26
6 . CAPITULO I - CENTRO 1 .....	28
6.1 .-Caracterización sedimento escenario actual .....	28
6.1.1 .-Granulometría .....	28
6.1.2 .-Materia Orgánica Total y Carbono Orgánico Total.....	29
6.1.3 PISTON CORER.....	31
6.2 .-Caracterización sedimento según CPS .....	32
6.2.1 .-Granulometría .....	32
6.2.2 .-Materia orgánica total .....	33
6.2.3 pH Y REDOX.....	33
6.3 Caracterización sedimento según histórico de INFA .....	33
6.3.1 Granulometría .....	33

6.3.2	Materia orgánica .....	34
6.3.3	pH Y REDOX.....	35
6.4	Comunidades bentónicas .....	36
6.4.1	Caracterización macrofauna escenario actual.....	36
6.4.2	Índice AMBI .....	39
6.4.3	Evolución o cambio histórico (INFA) .....	41
6.5	Trampas de sedimento .....	41
6.6	SIMULACIONES DEPOMOD CENTRO 1 .....	43
6.6.1	Módulo generador de la grilla .....	43
6.6.1.1	Módulo de trayectoria de la partícula .....	45
6.6.1.2	Módulo de resuspensión.....	50
7	CAPITULO II- CENTRO 2.....	54
7.1	Caracterización sedimento escenario actual .....	54
7.1.1	Granulometría .....	54
7.1.2	Materia orgánica total y carbono orgánico total.....	56
7.1.3	pH Y REDOX.....	58
7.2	Caracterización sedimento según CPS .....	59
7.2.1	Granulometría .....	59
7.2.2	pH y Redox .....	60
7.2.3	pH y Redox .....	60
7.3	Caracterización sedimento según histórico de INFA.....	62
7.3.1	Granulometría .....	62
7.3.2	Materia orgánica total.....	62
7.3.3	pH Y REDOX.....	63
7.4	Comunidades bentónicas .....	64
7.4.1	Caracterización macrofauna escenario actual.....	64
7.4.2	Índice AMBI .....	68
7.5	Evolución o cambio histórico (INFA) .....	69
7.6	Trampas de sedimento .....	71
7.7	SIMULACIONES DEPOMOD CENTRO 2 .....	72
7.7.1	Módulo generador de la grilla .....	73
7.7.1.1	Módulo de trayectoria de la partícula .....	74
8	CAPITULO III- CENTRO 3 .....	83

8.1	Caracterización sedimento escenario actual .....	83
8.1.1	Granulometría .....	83
8.1.2	Materia orgánica total y carbono orgánico total.....	85
8.2	Caracterización sedimento según CPS .....	88
8.2.1	Granulometría .....	88
8.2.2	Materia Orgánica Total .....	88
8.3	Caracterización sedimento según histórico de INFA.....	89
8.3.1	Granulometría .....	89
8.3.2	Materia Orgánica Total .....	90
8.3.3	pH Y REDOX.....	90
8.4	Comunidades bentónicas .....	92
8.4.1	Caracterización macrofauna escenario actual.....	92
8.4.2	Índice AMBI .....	96
8.5	Evolución o cambio histórico (INFA) .....	97
8.6	SIMULACIONES DEPOMOD CENTRO 3 .....	101
8.6.1	Módulo generador de la grilla .....	101
8.6.1.1	Módulo de trayectoria de la partícula .....	102
9	CAPITULO IV. ESCENARIOS SIMULADOS.....	108
9.1	Velocidades de Sedimentación.....	109
9.2	Material Fecal y Velocidad de Sedimentación .....	109
9.3	Pellets de Alimento y Velocidad de Sedimentación .....	110
11.	CONCLUSIONES .....	117
	Jefe de Área Estudios Acuáticos y Oceanográficos .....	119

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla N°1.-</b> Escenarios simulados.....	27
<b>Tabla N°2.-</b> Granulometría del sedimento (%) .....	28
<b>Tabla N°3.-</b> Resultados del análisis de materia orgánica en el sedimento. MOT: Materia Orgánica Total; COT: Carbono Orgánico Total. ....	30
<b>Tabla N°4.-</b> Materia Orgánica y Carbono Orgánico obtenido del muestreo con core. ....	31
<b>Tabla N°5.-</b> Materia orgánica (%) presente en la CPS 2011. ....	33
<b>Tabla N°6.-</b> Valores de pH y Redox presente en la CPS 2011. ....	33
<b>Tabla N°7.-</b> Índices Comunitarios (Riqueza de especies, Abundancia, Índice de Diversidad, Índice de Dominancia e Índice de Equidad) en cada una de las réplicas. ....	39
<b>Tabla N°8.-</b> Índice de calidad ambiental (AMBI) calculado. ....	40
<b>Tabla N°9.-</b> Tasas de alimentación suministrada a cada jaula del Centro 1 durante el período de evaluación. ....	46
<b>Tabla N°10.-</b> Capas de corrientes utilizadas en la simulación realizada al Centro 149	
<b>Tabla N°11.-</b> Parámetros de entrada al modelo del Centro 1. ....	50
<b>Tabla N°12.-</b> Resultados de lo observado v/s predicho en la simulación .....	52
<b>Tabla N°13.-</b> Granulometría del sedimento (%). Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4) (0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm). ....	55
<b>Tabla 14 a.-</b> Resultados del análisis de materia orgánica en el sedimento. MOT: Materia Orgánica Total; COT: Carbono Orgánico Total. ....	57
<b>Tabla N°15.-</b> Valores de pH y Redox en sedimento de acuerdo a CPS. ....	61
<b>Tabla 16-</b> Valores de Materia Orgánica Total (MOT) (%) de acuerdo a CPS. ....	61
<b>Tabla 17-</b> Valores de Materia Orgánica Total (MOT) (%) de acuerdo a CPS .....	61
<b>Tabla N°18.-</b> Índices Comunitarios (Riqueza de especies, Abundancia, Índice de Diversidad, Índice de Dominancia e Índice de Equidad) en cada una de las réplicas. ....	67
<b>Tabla N°19.-</b> Índice de calidad ambiental (AMBI) calculado. ....	68

<b>Tabla N°20.-Valores de producción utilizados durante el período de simulación Centro 2</b> .....	75
<b>Tabla N°21.-Capas de corrientes utilizadas en la simulación realizada al Centro</b> 278	
<b>Tabla N°22.-Parámetros de entrada al modelo del Centro 2.</b> .....	79
<b>Tabla N°23.-Capas de corrientes utilizadas en la simulación realizada al Centro</b> 281	
<b>Tabla N°24.- Granulometría del sedimento (%).Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4)(0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (&lt;0,062mm).</b> .....	84
<b>Tabla N°25.- Resultados del análisis de materia orgánica en el sedimento. MOT: Materia Orgánica Total; COT: Carbono Orgánico Total.</b> .....	86
<b>Tabla N°26.- Resultados del análisis de materia orgánica en el sedimento. MOT: Materia Orgánica Total; COT: Carbono Orgánico Total.</b> .....	86
<b>Tabla 27.- Valores de Materia Orgánica Total (MOT) (%) de acuerdo a CPS.</b> .....	89
<b>Tabla N°28.- Valores de pH y Redox en sedimento de acuerdo a CPS.</b> .....	89
<b>Tabla 29.- Índices Comunitarios (Riqueza de especies, Abundancia, Índice de Diversidad, Índice de Dominancia e Índice de Equidad) en cada una de las réplicas.</b> .....	95
<b>Tabla N°30. Índice de calidad ambiental (AMBI) calculado.</b> .....	96
<b>Tabla N°31. Resultados de porcentaje de MOT y COT para Piston Corer.</b> .....	100
<b>Tabla N°32.-Valores de producción utilizados durante el período de estudio del Centro 3</b> .....	103
<b>Tabla N°33.-Capas de corrientes utilizadas en la simulación realizada al Centro 3</b> .....	106
<b>Tabla N°34.-Parámetros de entrada al modelo simulación del Centro 3.</b> .....	107
<b>Tabla N°35.- Estudio de velocidades.</b> .....	110
<b>Tabla N°36.-Parámetros de entrada al modelo simulación de los centros 1, 2 y 3.</b> .....	113

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA N°1.-</b> Sitio de estudio: Centro 1, Centro 2 y Centro 3. ....	14
<b>FIGURA 2.- A:</b> Uso de draga en la toma muestras de sedimento. <b>B:</b> Armado de trampas de sedimento. <b>C:</b> Medición de variables físico-químicas del sedimento. ...	15
<b>FIGURA N°3.-</b> Correntómetro ADCP utilizado en el estudio. ....	19
<b>FIGURA N°4.</b> Esquema de integración de los módulos de utilizados por el modelo DEPOMOD, adaptado de Cromey et al., 2002 <sup>a</sup> . ....	22
<b>FIGURA N°5.-</b> Modelo de balance de masas Pérez et al. (2002). ....	25
<b>FIGURA N°6.-</b> Distribución porcentual de las fracciones de sedimento. ....	29
<b>FIGURA N°7.-</b> Distribución de MOT en el sedimento. ....	30
<b>FIGURA N°8.-</b> Distribución de COT en el sedimento. ....	31
<b>FIGURA N°9.-</b> Distribución porcentual de las fracciones de sedimento de acuerdo a CPS. ....	32
<b>FIGURA N°10.-</b> Distribución porcentual de las fracciones de sedimento. ....	34
<b>FIGURA N°11.-</b> Porcentajes de materia orgánica obtenidos de los Informes Ambientales. ....	35
<b>FIGURA N°12.-</b> Valores de pH obtenidos de los Informes Ambientales. ....	35
<b>FIGURA N°13.-</b> Valores de Potencial Redox obtenidos de los Informes Ambientales. ....	36
<b>FIGURA N°14.-</b> Abundancia porcentual a nivel de Phylum. ....	37
<b>FIGURA N°15.-</b> Abundancia porcentual hasta nivel de Familia. ....	38
<b>FIGURA N°16.</b> - Porcentajes de los diferentes grupos ecológicos de las comunidades del sedimento en el Centro 1 y el índice biótico resultante para cada una de ellas. ....	40
<b>FIGURA N°17.-</b> Porcentajes de los diferentes grupos ecológicos de las comunidades del sedimento en INFA del Centro 1 y el índice biótico resultante para cada una de ellas. ....	41
<b>FIGURA N°18.-</b> Distribución de Materia Orgánica Total en relación a los valores encontrados en las trampas de sedimento. ....	42
<b>FIGURA N°19.-</b> Distribución de Carbono Orgánico Total en relación a los valores encontrados en las trampas de sedimento. ....	42

<b>FIGURA N°20.-</b> Batimetría, ubicación de trampas de sedimento, extracción de muestras con draga y ubicación de la instalación del correntómetro para el Centro 1. ....	44
<b>FIGURA N°21.-</b> Gráfica del alimento suministrado al Centro 1 durante el período (7 días). ....	47
<b>FIGURA N°22.-</b> Gráfico 3D de vector corrientes promedio Centro 1. ....	48
<b>FIGURA N°23.-</b> Mapa de depositación de carbono orgánico total (COT) en el fondo marino del Centro 1. ....	51
<b>FIGURA N°24.-</b> Observado v/s predicho por el modelo (promedios). ....	52
<b>FIGURA N° 25.-</b> Distribución porcentual de las fracciones de sedimento. Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4) (0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm).....	56
<b>FIGURA N° 26.-</b> Distribución de MOT en el sedimento. ....	57
<b>FIGURA N° 27.-</b> Distribución de COT en el sedimento. ....	58
<b>FIGURA N° 28.-</b> pH registrados en el Centro 2 durante el estudio. ....	58
<b>FIGURA N° 29.-</b> Potencial Redox registrado en el Centro 2 durante el estudio. ...	59
<b>FIGURA N° 30.-</b> Distribución porcentual de las fracciones de sedimento de acuerdo a CPS. Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4) (0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm).....	60
<b>FIGURA N° 31.-</b> Distribución porcentual de las fracciones de sedimento de acuerdo a los Informes Ambientales (INFA). Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4) (0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm). ....	62
<b>FIGURA N° 32 .-</b> Materia Orgánica Total (%) registrados en los Informes Ambientales. ....	63
<b>FIGURA N° 33.-</b> Valores de pH registrados en los Informes Ambientales. ....	63
<b>FIGURA N° 34.-</b> Valores Potencial REDOX Eh registrados en los Informes Ambientales. ....	64
<b>FIGURA N° 35.-</b> Abundancia porcentual a nivel de Phylum. ....	65

<b>FIGURA N° 36.-</b> Abundancia porcentual hasta nivel de Familia.....	66
<b>FIGURA N° 37.-</b> Porcentajes de los diferentes grupos ecológicos de las comunidades del sedimento en el Centro 2 y el índice biótico resultante para cada una de ellas. ....	69
<b>FIGURA N° 38a.-</b> Porcentajes de los diferentes grupos ecológicos de las comunidades del sedimento en INFA y CPS del Centro 2 y el índice biótico resultante para cada una de ellas. ....	70
<b>FIGURA N° 39.-</b> Distribución de Materia Orgánica Total en relación a los valores encontrados en las trampas de sedimento. ....	72
<b>FIGURA N° 40.-</b> Distribución de Carbono orgánico Total en relación a los valores encontrados en las trampas de sedimento. ....	72
<b>FIGURA N° 41.-</b> Batimetría y ubicación de trampas de sedimento, extracción de muestras con draga y ubicación de la instalación del correntómetro Centro 2 .....	73
<b>FIGURA N° 42.-</b> Gráfica del alimento suministrado al Centro 2 durante el período (11días) .....	76
<b>FIGURA N° 43.-</b> Gráfico 3D de vector corrientes promedio Centro 2 .....	77
<b>FIGURA N° 44.-</b> Mapa de depositación de flujo de carbono orgánico total (COT) en el fondo marino del Centro 2 .....	80
<b>FIGURA N° 45.-</b> Valor observado v/s valor predicho por el modelo (promedios). 81	
<b>FIGURA N° 46 .-</b> Distribución porcentual de las fracciones de sedimento. Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4)(0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm).....	85
<b>FIGURA N° 47.-</b> Distribución de MOT en el sedimento. ....	86
<b>FIGURA N° 48 .-</b> Distribución de COT en el sedimento. ....	87
<b>FIGURA N° 49.-</b> Distribución porcentual de las fracciones de sedimento de acuerdo a CPS. Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4) (0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm).....	88
<b>FIGURA N° 50.-</b> Distribución porcentual de las fracciones de sedimento de acuerdo a los Informes Ambientales (INFA). Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2)	

(0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4) (0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm). .....	90
<b>FIGURA N° 51</b> .- <i>Materia Orgánica Total (%) registrados en los Informes Ambientales. ....</i>	91
<b>FIGURA N° 52</b> .- <i>Valores de pH registrados en los Informes Ambientales. ....</i>	91
<b>FIGURA N° 53</b> .- <i>Valores Potencial REDOX Eh registrados en los Informes Ambientales. ....</i>	92
<b>FIGURA N° 54</b> .- <i>Abundancia porcentual a nivel de Phylum. ....</i>	93
<b>FIGURA N° 55</b> .- <i>Abundancia porcentual hasta nivel de Familia.....</i>	94
<b>FIGURA N° 56</b> .- <i>Porcentajes de los diferentes grupos ecológicos de las comunidades del sedimento en el Centro 2 y el índice biótico resultante para cada una de ellas. ....</i>	97
<b>FIGURA N° 57</b> .- <i>Porcentajes de los diferentes grupos ecológicos de las comunidades del sedimento en INFA del Centro 2 y el índice biótico resultante para cada una de ellas.....</i>	98
<b>FIGURA N° 58</b> .- <i>Distribución de Materia Orgánica Total en relación a los valores encontrados en las trampas de sedimento. ....</i>	99
<b>FIGURA N° 59</b> .- <i>Distribución de Carbono orgánico Total en relación a los valores encontrados en las trampas de sedimento. ....</i>	99
<b>FIGURA N° 60</b> .- <i>Batimetría y ubicación de trampas de sedimento, extracción de muestras con draga y ubicación de la instalación del correntómetro Centro 3.....</i>	102
<b>FIGURA N° 61</b> .- <i>Gráfica del alimento suministrado al Centro 3 durante el período(7 días).....</i>	104
<b>FIGURA N° 62</b> .- <i>Gráfico 3D de vector corrientes promedio Centro 3.....</i>	105
<b>FIGURA N° 63</b> .- <i>Mapa de depositación de flujo de carbono orgánico total (COT) en el fondo marino del Centro 3.....</i>	108
<b>FIGURA N° 64</b> .- <i>Relación entre la velocidad de sedimentación y diámetro del pellet. ....</i>	111
<b>FIGURA N° 65</b> .- <i>Relación entre la velocidad de sedimentación y diámetro del pellet usados en el presente estudio.....</i>	111
<b>FIGURA N° 66</b> .- <i>Simulación del flujo de depositación de material orgánico Centro 1 durante un ciclo productivo completo. ....</i>	114

---

**FIGURA N° 67.-** *Simulación del flujo de depositación de material orgánico Centro 2 durante un ciclo productivo completo. .... 115*

**FIGURA N° 68.-** *Simulación del flujo de depositación de material orgánico Centro 3 durante un ciclo productivo completo. .... 116*

## PRESENTACIÓN

El presente documento corresponde al Informe Final del proyecto “*Aplicación del programa DEPOMOD a Centros de cultivo de peces en la X Región de Los Lagos (Primera Etapa)*”, el cual ha sido licitado por la Subsecretaría de Pesca (SUBPESCA) a través del portal Mercadopublico (licitación 4728-62-LE12), cuya aprobación de contrato de ejecución se expone en la Res. Ex. N°1720 de la SUBPESCA, emitida el 26 de junio de 2012 (ver Anexo I).

El proyecto contempla aplicar el modelo de dispersión DEPOMOD (Cromeý *et al.*, 2002), a tres centros de cultivos de salmónidos, con el objeto de determinar su efectividad como herramienta de predicción de la dispersión del material orgánico particulado en el fondo marino, dado por la producción de salmónidos, tratándose principalmente de fecas y pellets de alimento no consumido por los peces (Pérez *et al.*, 2002).

Para dar cumplimiento a los alcances del proyecto, se ha planificado una serie de etapas, que van desde la elección de los materiales para levantar la información de campo con la que se alimentará el modelo, hasta la simulación del área de dispersión de carbono orgánico total en el fondo marino, y los análisis de correlación de los resultados obtenidos por el modelo.

El proyecto contempla un estudio acabado de la efectividad de predicción del modelo, incluyéndose lo siguiente:

- Mapa de la sedimentación en términos de flujo de Carbono Orgánico Total sobre el fondo marino, asociado a las liberaciones de material particulado como producto de actividades acuícolas, específicamente, la producción intensiva de salmónidos.
- Una evaluación de correlación entre el resultado ambiental modelado durante la implementación del modelo DEPOMOD y los resultados obtenidos de los análisis ambientales realizados en los centros de cultivo.
- Una descripción completa del proceso de implementación del modelo llevado a cabo en cada uno de los escenarios evaluados, indicando los procedimientos de implementación, las decisiones y supuestos realizados, así como las distintas experiencias llevadas a cabo con las limitaciones y dificultades observadas.

## 1. ANTECEDENTES

Con la finalidad de dar cumplimiento a las fases del proyecto *Aplicación del programa DEPOMOD a centros de cultivo de peces en la X Región de Los Lagos (Primera Etapa)*, perteneciente a la SUBPESCA, se realizaron las simulaciones a partir del modelo predictivo DEPOMOD a centros de cultivo denominados como Centro 1, Centro 2 y Centro 3.

Originalmente estos tres centros debían representar condiciones de canal, bahía y estuario. En común acuerdo con el mandante, esta elección se decidió hacer a partir de un total de 10 Centros de cultivo que fueron puestos a disposición para el proyecto por una empresa privada dedicada a la salmonicultura. De acuerdo a la información disponible, cada uno de estos 10 centros contaba en forma preliminar al menos con alguna de las siguientes condiciones: **(1)** el centro de cultivo estaba en un período cercano a cosecha y consecuentemente a la realización a una INFA, **(2)** el sitio contaba con un registro de corrientes eulerianas - con data cruda - no inferior a 30 días, **(3)** presentaba profundidades inferiores a 60 metros, y **(4)** presentaba fondo blando. Dada las características del proyecto - en relación a lo acotado de los tiempos involucrados - se adicionó un nuevo criterio: **(5)** el centro debía tener una adecuada accesibilidad.

Paralelamente, se constató que de la totalidad de centros disponibles, ninguno estaba en canal o estuario, por lo tanto, se optó por trabajar con centros ubicados lo más cercano a bahías y con distinto grado de exposición. De ellos, sólo los centros denominados en este estudio como Centro 1 y el Centro 2 cumplieron con la totalidad de requisitos previstos. El Centro 1 correspondió a una bahía más o menos expuesta y el Centro 2 se ajustó a una condición de bahía más protegida que el Centro 1. Sin embargo, ninguno de los restantes centros cumplió con la totalidad de los criterios preestablecidos. Durante el proceso de selección, adicionalmente se descartaron 3 centros, puesto que se constató que ellos no cumplían con un sexto requisito surgido durante la etapa inicial de la ejecución del proyecto y que indicaba que **(6)** el centro en estudio debería estar alejado de zonas con cultivo de mitílidos, porque se corría el riesgo de generar información e interpretaciones erradas a partir de los resultados de las simulaciones obtenidas. Por esta razón, se optó por escoger al último centro que estaba disponible y que fue denominado como Centro 3, cuya condición también corresponde a una bahía, condición muy similar al Centro 1, pero con la diferencia que está algo más expuesto y posee mayores profundidades.

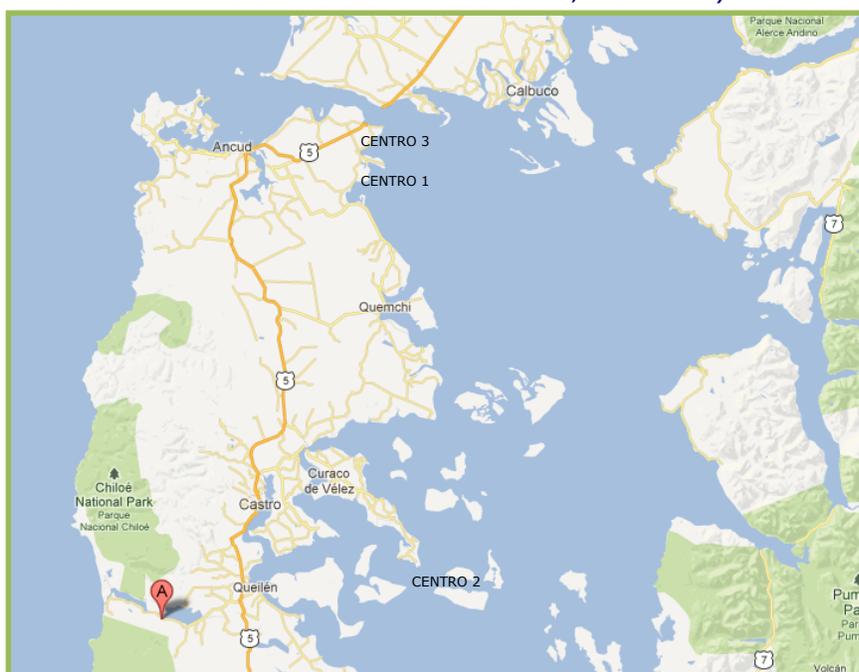
## 2. OBJETIVO

Implementar y aplicar el modelo DEPOMOD a Centros de cultivo de salmónidos, seleccionados previamente, comparando los resultados de campo obtenidos del proyecto con la información de las evaluaciones ambientales (INFA) efectuadas en dichos Centros.

## 3. ÁREA DE ESTUDIO

En la FIGURA N°1 se observa la ubicación referencial de los sitios de monitoreo: Centro 1, Centro 2 y Centro 3. El detalle de las Estaciones de muestreo de cada Centro se puede observar en el Anexo VII.

**FIGURA N°1.- Sitio de estudio: Centro 1, Centro 2 y Centro 3.**



Fuente: Google Earth

## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

### 3.1 Muestreo de Sedimentos

En el presente proyecto, y en particular para cada uno de los Centros seleccionados, se colectaron muestras destinadas a la caracterización fisicoquímica y biológica de los sedimentos. El muestreo se realizó de acuerdo a lo estipulado en la Res. Ex. 3612/09 de la SUBPESCA,

utilizando una draga de acero inoxidable del tipo Van-Veen, con una superficie de muestreo de 0,1 m<sup>2</sup> (FIGURA 2.A).

En forma paralela y complementaria se utilizaron 10 a 11 set de trampas de sedimento compuestas de cuatro tubos de 11 cm de diámetro cada uno, dispuestos en una estructura metálica provista en su interior de un canastillo giroscópico pendular, garantizándose así su verticalidad bajo toda circunstancia, tanto en el calado, izado y manipulación general de las mismas (FIGURA 2.B). En el Anexo II se detalla el procedimiento de instalación y retiro de estas trampas, además se anexa las grabaciones submarinas realizadas al proceso de instalación y retiro de estas, correspondientes al Centro 1 y Centro 2 respectivamente.

Se dispuso para cada Centro de cultivo estudiado al menos 10 estaciones muestreo y en cada una de las estaciones de muestreo se recolectaron, mediante draga, tres réplicas para los análisis y mediciones destinadas a caracterizar fisicoquímicamente los sedimentos: macrofauna bentónica, granulometría, materia orgánica, temperatura, pH y potencial Redox (FIGURA 2.C); mientras que los tubos de sedimento recolectaron muestras para análisis de materia orgánica y carbono orgánico. De los 4 tubos dispuestos en cada trampa de sedimento, se tomaron 3 al azar para cumplir con el número de réplicas establecidas por metodología.

**FIGURA 2.- A:** Uso de draga en la toma muestras de sedimento. **B:** Armado de trampas de sedimento. **C:** Medición de variables físico-químicas del sedimento.



Fuente: Registro fotográfico POCH Ambiental S.A. 2012

## 4.2.- Macrofauna bentónica

De cada estación de muestreo se obtuvieron 3 réplicas de sedimento, mediante el uso de una draga tipo Van-Veen de 0,1 m<sup>2</sup> de área de mordida, utilizando un huinche para su izamiento; todo el proceso se efectuó desde una embarcación menor. El sedimento obtenido fue tamizado a 1 mm, para luego ser almacenado en envases de plástico y etiquetado según los rótulos correspondientes, siendo fijado *in situ* mediante una solución de formalina-agua de mar al 4%, para luego ser transportado al laboratorio de sedimentos designado, el que analizó las muestras de acuerdo a métodos estandarizados y acreditados bajo NCh-ISO17025.Of2005.

Una vez en laboratorio, las muestras fueron lavadas y preservadas en alcohol al 70%. La separación y determinación taxonómica se realizó con ayuda de un estereomicroscópico, utilizando literatura especializada para cada uno de los taxa. Se obtuvo *Abundancia* (ind/m<sup>2</sup>) y *Biomasa* (g/m<sup>2</sup>) de cada uno de los taxa.

Con los datos de abundancia, y mediante la ayuda del programa BioDiversity Pro versión 2.0, se calcularon los siguientes parámetros comunitarios: *Índice de Diversidad* específica de Shannon-Wiener (H') calculado con  $\log_2$ , *Índice de Dominancia* de Simpsons (D'), Riqueza específica (S') y Equidad o Uniformidad Shannon (J').

Además con las especies obtenidas desde los Informes de Ensayo, se utilizó el programa AMBI versión 5.0, con el cual se calculó el Índice Biótico resultante.

## 4.3.- Granulometría, Materia Orgánica Total y Carbono Orgánico Total.

De cada estación de muestreo se obtuvieron 3 réplicas de sedimento a través de una draga tipo Van-Veen de 0,1 m<sup>2</sup> de área de mordida, utilizando un huinche para el izamiento; todo el proceso fue efectuado desde una embarcación. El sedimento obtenido fue almacenado en envases adecuados y etiquetados, manteniéndolas a baja temperatura (4° C), para luego ser transportado al laboratorio de sedimentos designado, el que analizó las muestras de acuerdo a métodos estandarizados y acreditados bajo NCh-ISO17025.Of2005.

La distribución granulométrica se obtuvo de acuerdo a la escala de Wentworth (1922): *Grava Muy Fina* (phi -1), *Arena Muy Gruesa* (phi 0), *Arena Gruesa* (phi 1), *Arena Mediana* (phi 2), *Arena Fina* (phi 3), *Arena Muy Fina* (phi 4) y *Fango* (phi 5). A partir de los porcentajes de las distintas fracciones sedimentarias se obtuvieron parámetros estadísticos

que definen de mejor manera la composición granulométrica del sedimento (*Media, Selección, Asimetría, Kurtosis y Clasificación*).

El LOI (*LossOnIgnition*) o Pérdida por Ignición corresponde a la metodología que se utilizó para determinar el contenido de Materia Orgánica Total (MOT). La pérdida de peso experimentada por la muestra durante estas reacciones es fácilmente determinada, pesando el sedimento antes y después de ser quemado. El análisis fue realizado por un laboratorio acreditado bajo NCh-ISO17025.Of2005.

Mediante la misma metodología descrita en el párrafo anterior se obtuvo el Carbono Orgánico Total (COT), aplicando el factor de *Van Bemmelen* a la Materia Orgánica Total obtenida.

Con la información de materia orgánica total (g) y carbono orgánico total (g) y la ayuda del interpolador Kriging (geoestadístico Surfer ® Versión 8.0) se elaboraron los mapas temáticos representativos de la distribución en los sedimentos marinos de las variables estudiadas.

Para realizar comparación de carbono orgánico total entre las trampas de sedimento y los resultados entregados por las modelaciones del programa DEPOMOD se utilizó un factor de escala de transformación el cual convierte *gramos de carbono* (entregado por laboratorio externo) de las trampas de sedimento a *gramos de carbono por cada m<sup>2</sup>*, utilizando la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{1}{\pi r^2}\right) = 105,226 \quad \text{Ecu-01}$$

Donde

$r^2$  = radio al cuadrado del área del tubo de la trampa de sedimento (radio = 0,11/2 m).

Para los cálculos de COT en el sedimento, al factor correspondió a:

$$\left(\frac{1}{\pi r^2}\right) = 1169,18 \quad \text{Ecu-02}$$

Donde:

$r^2$  = radio al cuadrado del área del crisol utilizado para calcinar las muestras (radio = 0,033/2 m).

Como se verá más adelante, para estimar la cantidad de carbono orgánico que decanta en el sedimento por metro cuadrado a partir de los tubos de las trampas, se utilizó el área de estos tubos. Sin embargo, para estimar la cantidad de carbono orgánico existente en el sedimento se debió usar el área del crisol utilizado para calcinar las muestras. Esto, se realizó porque se debe llevar toda la información a una relación peso/peso o peso/volumen, y en el caso de las dragas con sedimento, ambas variables son desconocidas, pues se desconocen estos valores para el sedimento que realmente sale en cada draga, pudiendo corregirse esta carencia con el área los datos utilizados en calcinar las muestras.

#### **4.4.- Potencial de Hidrógeno (pH) y Potencial de Óxido-Reducción (Redox)**

Se realizaron mediciones de pH y Redox en todas las estaciones de muestreo. Para tal efecto, en el momento de obtener las muestras de sedimento, se efectuaron *in situ* mediciones de pH y Redox, directamente del contenido de la draga, utilizando un equipo Hanna Instrument HI 991003.

#### **4.5.-Información obtenida desde CPS e INFA**

Se realizó un consolidado obtenido desde la Caracterización Preliminar del Sitio (CPS) y los Informes Ambientales (INFA) proporcionada por la empresa participante del proyecto. En los cuales se extrajo información correspondiente a las variables anteriormente mencionadas, las cuales son de importancia para este proyecto y además, los datos de batimetría.

#### **4.6.- Correntometría Euleriana**

Para la obtención de los campos de corrientes se realizó el estudio de correntometría euleriana, utilizando un correntómetro Acústico ADCP Nortek modelo Aquadopp Profiler con longitud de onda de 600 KHz (FIGURA 3), el cual realiza la medición y grabación de las corrientes en forma continua dentro de toda la columna de agua, hasta una máxima profundidad de 60 metros, dependiendo de la morfología del lugar y concentración de partículas suspendidas dentro de la columna. Este instrumento es un perfilador acústico que realiza el procesamiento de datos de acuerdo a la emisión de ondas en forma de impulsos sonoros, obteniendo variaciones en la frecuencia basados en el efecto Doppler, registrándose la medición de la velocidad de las masas de agua y su dirección a través de la

transmisión de impulsos cortos de sonido el cual es reflejado por las partículas presentes en el agua (zooplancton, sedimento en suspensión, etc.). El equipo puede entregar además de las velocidades y direcciones de las corrientes, datos como registro de la presión hidrostática de la columna. La fórmula que relaciona la velocidad con la frecuencia es:

$$F_d = 2 * F_s \left( \frac{V}{C} \right)$$

Ecu-03

Donde:

- $F_d$**  : Desplazamiento Doppler en frecuencia
- $F_s$**  : Frecuencia del sonido cuando todo está en calma
- $V$**  : Velocidad relativa (m/seg.)
- $C$**  : Velocidad del sonido (m/seg)

El equipo se instaló de acuerdo a las recomendaciones realizadas por Cris Cromey y el Attachment VIII, Site and Hydrographic Survey Requirements, del manual de cultivo de peces de la Scottish Environment Protection Agency (SEPA). Los puntos de instalación del equipo medidor de corrientes que se presentan en cada uno de los planos, los que representan tanto las jaulas de cultivo como la instalación de las trampas de sedimento dispuestas para cada uno de los centros de cultivo estudiado.

**FIGURA N°3.-** Correntómetro ADCP utilizado en el estudio.



Fuente: Registro fotográfico POCH Ambiental S.A. 2012

En resumen, el ADCP permite establecer y registrar las corrientes presentes en diferentes celdas o capas de ancho configurable a lo largo de la columna de agua, permitiendo una completa caracterización de la magnitud y dirección de la corriente.

El objetivo de este estudio fue obtener información oceanográfica física (correntometría metodología euleriana) del área de estudio, obteniéndose así datos de entrada al modelo

DEPOMOD, los cuales representen el comportamiento de circulación del cuerpo de agua de cada Centro de cultivo durante el tiempo de fondeo, y de esta manera, determinar el probable comportamiento de los elementos sedimentables y su depositación en el fondo marino.

El instrumento fue programado para realizar mediciones de magnitud y dirección de la corriente cada 10 minutos en celdas de 3 m.

#### **4.7.- Batimetría**

El perfil batimétrico del fondo marino de cada una de las áreas de estudio se obtuvo de las respectivas CPS y permitió representar la forma espacial del fondo y cumplir con los requisitos de entrada de esta variable al modelo.

Para la representación de la batimetría se utilizó el software Surfer® Versión 8.0 para mostrar primariamente la batimetría del sector. Este software por su parte, no permitió realizar cálculos numéricos en su interior, por lo que se reprogramaron los resultados a partir de software matemático para generar un complemento más acabado y sencillo que apunta a modelar gráfica y matemáticamente la morfología del sector, confeccionando el cálculo de las coordenadas máximas y mínimas del Este y el Oeste, y creando la grilla para la simulación en DEPOMOD.

#### **4.8.- DEPOMOD**

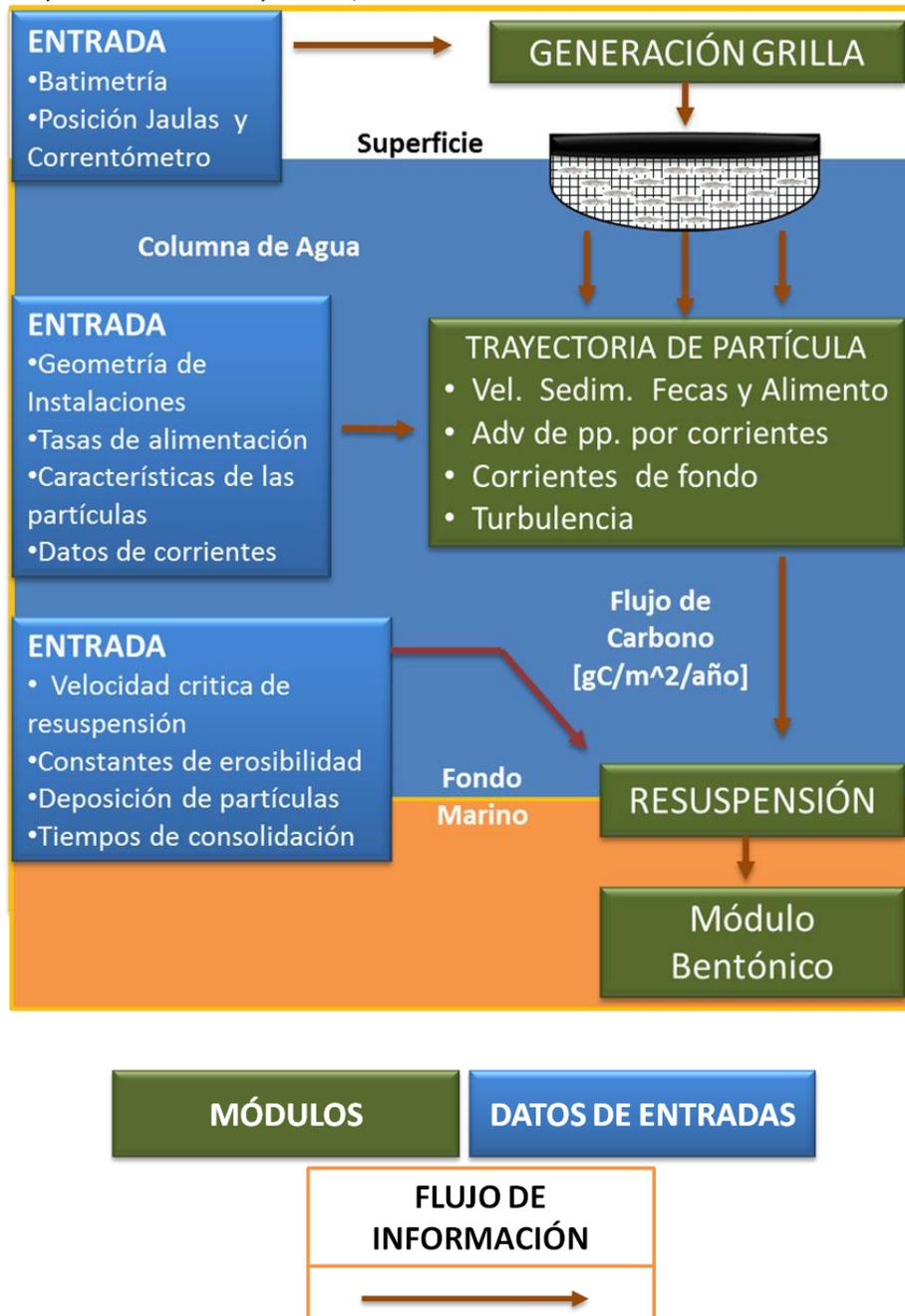
Del gran espectro de modelos actualmente utilizados para determinar el proceso de depositación de residuos orgánicos liberados al medio marino como consecuencia de la producción de peces, sin duda el modelo más utilizado es DEPOMOD (Cromey *et al.*, 1999, 2000, 2002a,b). Este modelo fue desarrollado en Escocia por la Asociación de Ciencias Marinas, Dunstaffnage Marine Laboratory in Oban, y actualmente es utilizado por el SEPA (Scottish Environment Protection Agency), organismo público escocés que entre otros tiene por objetivo proteger el medio ambiente y regular las actividades que pueden causar impactos negativos en la calidad del aire, tierra y agua. Otra de sus funciones es regular las descargas e impacto producido por la liberación de material orgánico al medio acuático producido por el cultivo de salmónidos. En particular, para regular la industria salmonicultura utiliza como base fundamental de su gestión el modelo DEPOMOD, para establecer los límites de producción de un sitio en particular y de este modo prevenir daños permanentes en el medio.

DEPOMOD, actualmente está siendo utilizado principalmente en Escocia, Canadá, Nueva Zelanda, Australia y Chile, orientándose tanto a la regulación de los impactos ambientales producidos por la industria, como a procesos de investigación y planificación de la producción de salmónidos.

El modelo DEPOMOD predice la depositación 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 ello, combina las condiciones geográficas e hidrográficas locales con los volúmenes de compuestos orgánicos totales liberados (material fecal y alimento no consumido), trazando un mapa de acumulación o flujos de sedimentación de residuos en la grilla de fondo marino. El modelo está estructurado básicamente en cuatro componentes o módulos que se acoplan entre sí para estimar las concentraciones de Carbono Orgánico Total (COT) en el fondo. Estos módulos se definen como generación de grilla, trayectoria de partículas, resuspensión y módulo de respuesta bentónica.

Cromey (2002), propone que la cuantificación de la dispersión de los residuos liberados por los Centros de cultivo pueden ser estimados conectando los tres primeros módulos propuestos, tal como se presenta en la FIGURA N°4, estimando la concentración de COT en el bentos. Estos módulos por su parte, requieren de información independiente y su posterior acoplamiento para generar sus resultados.

**FIGURA N°4.** Esquema de integración de los módulos de utilizados por el modelo DEPOMOD, adaptado de Cromey et al., 2002<sup>a</sup>.



Fuente: Adaptado de Cromey et al., 2002.

El modelo de simulación presentado requiere de un entorno Windows 95 o plataformas posteriores de Windows para realizar los cálculos y entregar los resultados.

Cabe destacar además, que el modelo Depomod corresponde, según la clasificación de escalas del proyecto Ecasa Toolbox, a una escala de tipo "Zona A", manifestando que el

modelo es capaz de representar sólo áreas pequeñas o generar resultados a una escala local.

Para comprender la dimensión de los resultados del modelo, se presentan a continuación las escalas que pueden representar distintos modelos de fuentes puntuales de contaminación.

**Zona A:** Localizado cerca de los trenes de jaulas estudiados, los tiempos de residencia o deposición de los residuos pueden estimarse en unas horas; en regiones de dispersión baja o moderada, las partículas caen al fondo marino dentro de esta zona, y su huella es definida con eficacia, pudiendo ser representada por una elipse de impacto, donde las corrientes de marea distribuyen los desperdicios solubles durante un período mareal.

**Zona B:** Cuerpos de agua pequeños o fiordos, que pueden ser tratados como homogéneos, con tiempos de residencia en el agua de los residuos de unos días a varias semanas. Un período de tiempo suficientemente alto para que el enriquecimiento nutritivo coincida con el crecimiento realizado de fitoplancton; estos fenómenos se producen en aguas de la costa, zonas que pueden ser estimadas según corrientes persistentes y dispersas, incluyendo flujos a escala mesomareal y macromareal.

**Zona C:** Escala más extensa o regional. Utiliza modelos hidrodinámicos de gran escala con tiempos de residencia en el agua que pueden durar semanas o meses, lo cual es tiempo suficientemente alto para que se pueda dar paso a la ocurrencia de procesos hidrodinámicos y bentónicos complejos. Potencialmente afecta al estudio de las zonas B y provee las condiciones para tratarlas.

#### **4.8.1 .-Grilla del Modelo**

El módulo Generación de Grilla permite incorporar y ajustar la información de profundidad (batimetría), posición de las balsas jaulas y posiciones de muestreo, 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 los módulos de trayectoria.

## 4.8.2 .-Módulo de Trayectoria

El módulo de Trayectoria de Partícula básicamente 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 que producen las corrientes marinas del sector, y sus desplazamientos horizontales y verticales se rigen a partir de ecuaciones numéricas del modelo.

Las estimaciones de alimento y fecas que son liberadas al medio pueden expresarse como se muestra a continuación.

Dada una entrada de alimento  $F$ , las tasas de residuos de alimento y material fecal son las siguientes:

$$F_c = F(1 - F_w)(1 - F_{wasted}) \quad Ecu-04$$

$$W_{fd} = F(1 - F_w)F_{wasted} \quad Ecu-05$$

$$W_{fae} = F_c(1 - F_{dig}) \quad Ecu-06$$

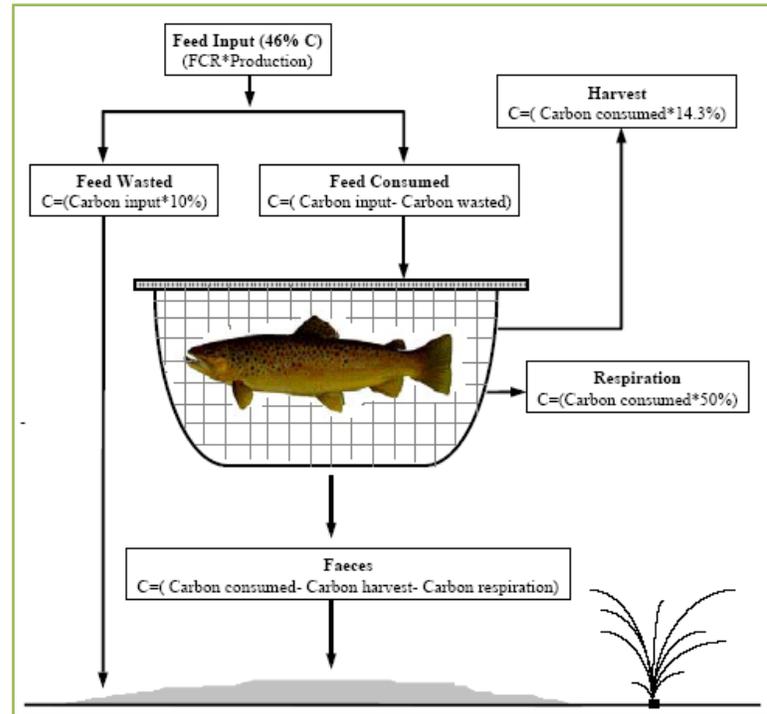
Donde:

- $F$  : Es la tasa total de alimento entregado (Kg/día/Jaula).
- $F_c$  : Es la tasa de alimento consumido de acuerdo a una tasa de alimento entregado (Kg/día/Jaula).
- $F_w$  : Porcentaje de agua en el alimento
- $F_{wasted}$  : Porcentaje de residuos en el alimento.
- $W_{fd}$  : Alimento no consumido (Kg/día/Jaula).
- $W_{fae}$  : 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.

Se asume que del total ingresado a la jaula como alimento para peces, existe una cantidad de residuos de fabricación en el alimento, la que puede expresarse en un porcentaje de la ración diaria; así mismo, asume el supuesto de que existe una cantidad de agua en la misma ración y que igualmente puede expresarse como porcentaje de la misma. Dado que las unidades de concentraciones finales en el fondo estarán medidas en concentración de Carbono Orgánico Total (COT), ambas proporciones no intervienen en el modelo una vez que son descontadas de la ración.

Otra manera de comprender balance de material liberado al medio marino, lo explica Pérez *et al.* (2002), reportando que existen principalmente dos vías de escape de material orgánico que posteriormente decantan en el fondo marino, una es el alimento no consumido por los peces, y la otra, las fecas producidas por los peces cultivados (ver FIGURA N°5).

**FIGURA N°5.-Modelo de balance de masas Pérez et al. (2002).**



Fuente: Pérez *et al.*, 2002.

Según Cromey *et al.* (2002), es conveniente para la modelación horizontal de partículas en la columna de agua considerar las corrientes marinas como la suma de dos componentes, una variación relativamente baja de la componente de la marea y fuerza del viento, pero una variación relativamente más rápida es 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:

$$P_{(x,y,t+1)} = P_{(x,y,t)} + \mathbf{u}_{(z,t+1)} \delta t + \mathbf{rw}_{paso(x)} + \mathbf{v}_{(z,t+1)} \delta t + \mathbf{rw}_{paso(y)} \quad Ecu-07$$

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

$$P_{(z,t+1)} = P_{(z,t)} + vs\delta t + rw_{paso(z)}$$

Ecu-08

La longitud del paso en el modelo de turbulencia aleatoria Walk Model, (Allen ,1982) es dependiente del tiempo en que la partícula permanece en el campo de turbulencia y un coeficiente de dispersión:

$$rw_{paso}(x) = rw_{dir}\sqrt{2k_x\delta t}$$

Ecu-09

Donde:

- $rw_{paso}(x)$  : Tamaño del paso en la dirección  $x$  en (m)  
 $rw_{dir}$  : Paso de la dirección + o -, determinada por el modelo generador aleatorio  
 $K_x$  : Coeficiente de dispersión en ( $m^2/seg$ )  
 $\delta t$  : Paso del tiempo en el campo de turbulencia en (seg)

### 4.8.3 .- Resuspensión de Partículas.

La resuspensión es un proceso físico común, que ocurre en todas partes del medio ambiente marino tanto en playas costeras como en mar profundo (Gross *et al.*, 1988; Thomsen *et al.*, 1994). La resuspensión ocurre cuando la tensión de corte (fricción del agua contra el fondo marino), es bastante alta para mover las partículas de sedimentos. Así, la resuspensión conduce a un transporte a lo largo del suelo marino producido por estas corrientes. La cantidad de cualquier material particulado resuspendido depende de varios factores, como lo son la erosión del sedimento y velocidades de tensión (Wainright, 1990).

La resuspensión puede ser causada por acontecimientos naturales, como viento fuerte, corrientes de marea y actividades biológicas (Graf y Rosenberg, 1997), o por perturbaciones antropogénicas como pesca de arrastre y dragado, además los resultados obtenidos por Hopkinson (1985), confirmaron que la resuspensión contribuye a un transporte de materia orgánica del bentos a la columna de agua. Sin embargo, cabe destacar que en nuestro caso, el no considerar la resuspensión sería lo más coherente con los resultados obtenidos en las trampas de sedimento, en términos de flujo de sedimentación de COT, dado que el sedimento colectado en las trampas no se encuentra afectado por este fenómeno.

## 5 .- ESCENARIOS

Los escenarios consisten en observar los resultados de las simulaciones realizando cambios a las variables de entrada del modelo, lo cual permite establecer el comportamiento de un proceso de acuerdo a dichas variaciones, además de observar el efecto de estas variaciones en los resultados.

Dentro de los múltiples escenarios que pudiesen ser evaluados por el modelo DEPOMOD, y con el objeto de representar algunos de ellos que se ajusten a la realidad de la industria y que permitan dar cuenta de los comportamientos dispersivos de cada uno de los sitios, en la Tabla N°1 se presentan los escenarios simulados.

**Tabla N°1.-Escenarios simulados.**

<b>Escenarios</b>			
<b>Escenarios de simulación Aplicados en Modelo DEPOMOD</b>	<b>Centro 1</b>	<b>Centro 2</b>	<b>Centro 3</b>
Datos Default del Modelo	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Perdida de Alimento del 1%	<b>X</b>		
Perdida de Alimento del 3%	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Perdida de Alimento del 5%	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Perdida de Alimento del 10%	<b>X</b>		
Perdida de Alimento del 15%	<b>X</b>		
Vacante - Periodo de Muestreo	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Llenante - Periodo de Muestreo	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Ciclo Completo Máxima Producción	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Variación de los Factores de dispersión	<b>X</b>		
Velocidad de hundimiento de fecas Variable	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Simulación con Módulo 100	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Simulación con Módulo 101	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>

En lo particular, para la impresión de este informe se presentan los dos escenarios de mayor interés, periodo de instalación de trampas de sedimentación, y escenario de ciclo completo, sin embargo, las demás simulaciones se ofrecen en el respaldo magnético anexado a este informe (Anexo VI).

## 6 . CAPITULO I - CENTRO 1

### 6.1 .-Caracterización sedimento escenario actual

#### 6.1.1 .-Granulometría

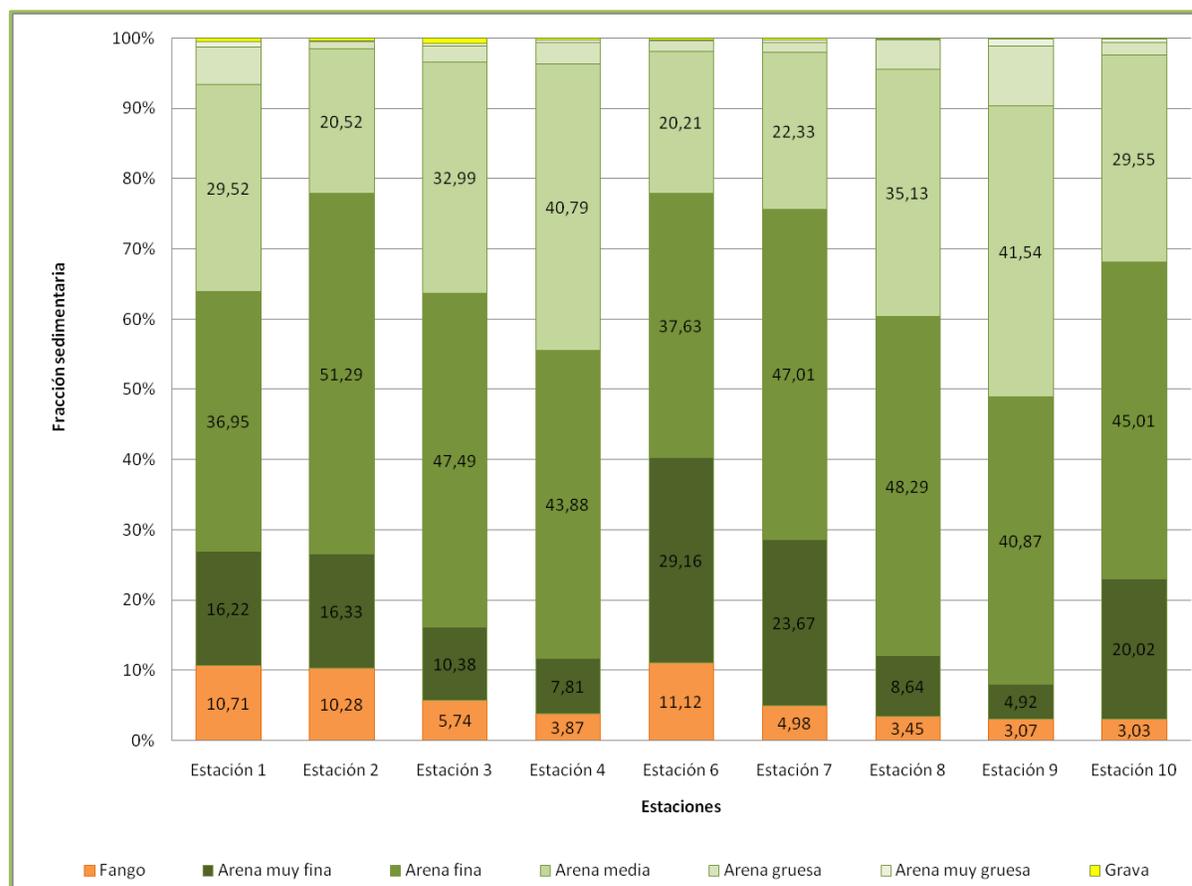
Los valores individuales obtenidos del análisis granulométrico del sedimento se presentan en la Tabla N°2. En general, los resultados indicaron que la fracción predominante corresponde a Arena fina (phi 3), con un valor promedio de todas las estaciones correspondiente al 44,27%, donde la Estación 2 es la que mayor porcentaje tiene, llegando al 51,29% (ver FIGURA N°6). Referente a la fracción Fango (phi 5), los valores promedio se encuentran en un rango desde 3,03% en la Estación 10 a 11,12% en la Estación 6. Cabe destacar que en valores individuales de esta fracción, el mayor valor se encuentra en la Réplica 2 de la Estación 1, llegando a 29,31%.

**Tabla N°2.-** *Granulometría del sedimento<sup>1</sup> (%)*

Estación	Réplica	Grava	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Fango
E1	R1	0,08	0,80	6,17	35,02	44,28	12,70	0,95
	R2	0,84	0,46	2,84	18,15	24,00	24,39	29,31
	R3	0,66	0,98	6,95	35,38	42,58	11,58	1,87
E2	R1	0,71	0,13	0,98	20,28	52,13	16,41	9,36
	R2	0,36	0,12	1,14	21,46	51,30	15,68	9,94
	R3	0,22	0,16	0,94	19,81	50,44	16,89	11,54
E3	R1	0,38	0,25	1,37	25,73	52,30	13,04	6,93
	R2	0,98	0,20	1,92	27,54	51,86	13,13	4,37
	R3	0,76	0,70	3,62	45,71	38,31	4,98	5,91
E4	R1	0,25	0,40	3,37	48,51	42,29	4,28	0,89
	R2	0,51	0,58	4,09	48,28	39,13	4,46	2,95
	R3	0,05	0,13	1,60	25,57	50,22	14,68	7,76
E6	R1	0,38	0,16	1,56	20,85	38,15	28,07	10,83
	R2	0,10	0,27	1,49	20,57	37,71	29,24	10,62
	R3	0,10	0,16	1,40	19,22	37,03	30,18	11,90
E7	R1	0,03	0,21	1,47	22,71	49,20	23,33	3,05
	R2	0,70	0,23	1,28	21,21	43,93	24,28	8,36
	R3	0,21	0,36	1,56	23,07	47,89	23,39	3,52
E8	R1	0,03	0,15	4,90	38,20	46,49	6,95	3,27
	R2	0,02	0,14	3,67	33,05	48,80	9,69	4,62
	R3	0,19	0,20	4,16	34,14	49,57	9,28	2,46
E9	R1	0,09	0,91	8,52	41,70	38,38	3,90	6,50
	R2	0,06	0,79	7,85	40,49	44,26	6,25	0,29
	R3	0,26	1,18	9,12	42,42	39,97	4,62	2,43
E10	R1	0,07	0,07	1,82	28,80	45,09	20,68	3,47
	R2	0,00	0,05	1,87	31,29	44,65	19,15	2,98
	R3	0,05	1,77	1,47	28,56	45,28	20,23	2,63

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 076-12. Anexo IV.

<sup>1</sup>Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4) (0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm).

**FIGURA N°6.- Distribución porcentual de las fracciones de sedimento. <sup>2</sup>**

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 076-12. Anexo IV.

### 6.1.2.-Materia Orgánica Total y Carbono Orgánico Total

La Tabla N°3 registra los valores obtenidos en cada una de las réplicas por estación correspondientes a las variables Materia Orgánica Total (g) y Carbono Orgánico Total (g). El contenido de Materia Orgánica Total en el sedimento registró valores que van desde los 0,08 g (E4-R1) a 0,69 g (E1-R2). En general, los mayores valores se apreciaron en la Estación 1, tal como se observa en la FIGURA N° 7. El Carbono Orgánico Total sigue la misma tendencia, donde la Réplica 2 de la Estación 1 es la que obtiene el mayor porcentaje, siendo esta estación la que posee mayores valores (FIGURA N° 8).

<sup>2</sup> Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4) (0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm).

**Tabla N°3.- Resultados del análisis de materia orgánica en el sedimento. MOT: Materia Orgánica Total; COT: Carbono Orgánico Total.**

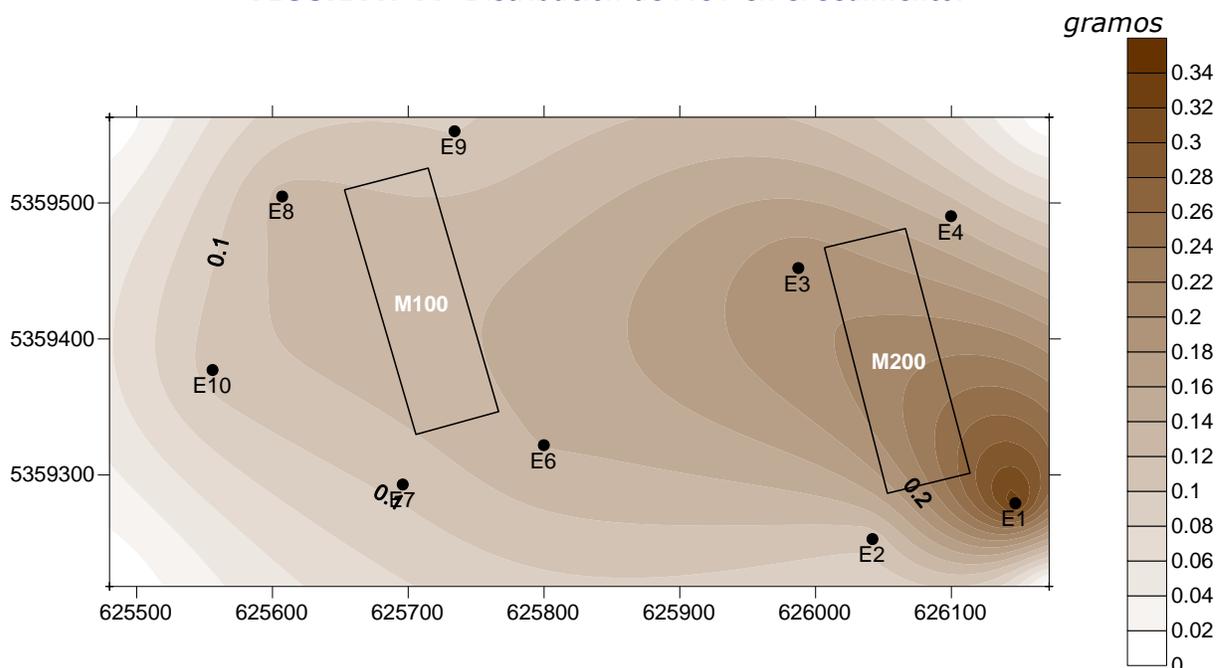
Estación	E1			E2			E3			E4		
Réplica	R1	R2	R3									
<b>M.O.T. (g)</b>	0,16	0,69	0,14	0,10	0,11	0,11	0,28	0,17	0,14	0,08	0,11	0,21
<b>C.O.T (g)</b>	0,09	0,40	0,08	0,06	0,06	0,07	0,16	0,10	0,08	0,05	0,06	0,12

**Tabla 3 b.- Resultados del análisis de materia orgánica en el sedimento. MOT: Materia Orgánica Total; COT: Carbono Orgánico Total.**

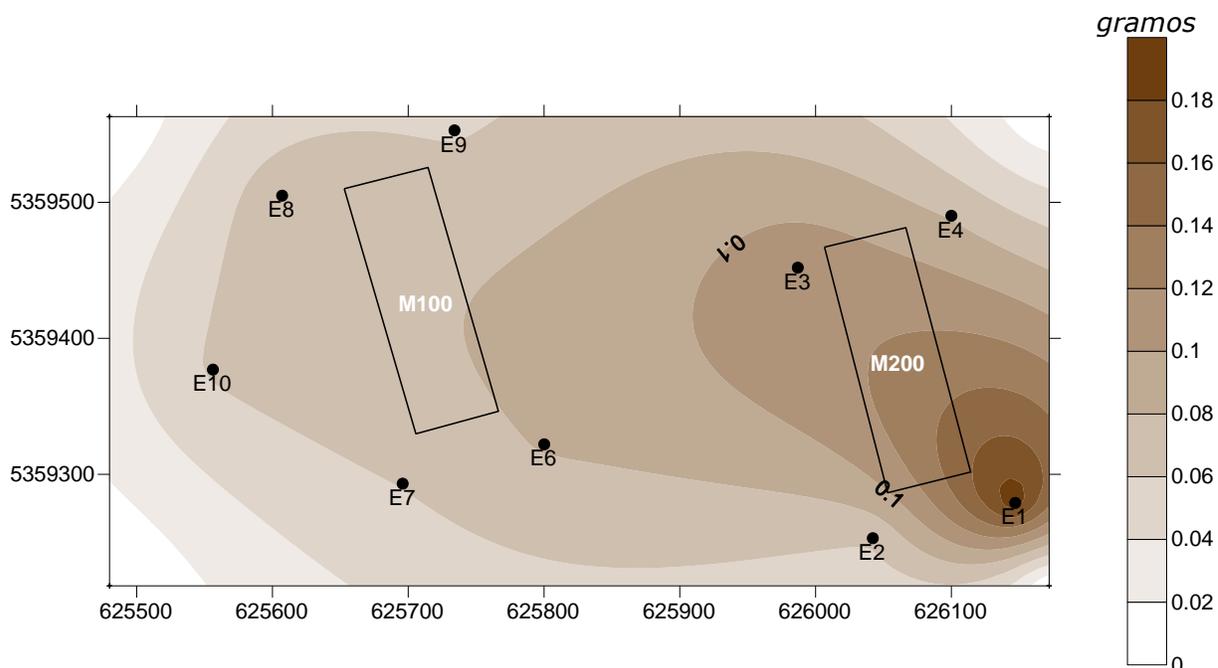
Estación	E6			E7			E8			E9			E10		
Réplica	R1	R2	R3												
<b>M.O.T.(g)</b>	0,12	0,13	0,17	0,09	0,12	0,10	0,13	0,13	0,12	0,09	0,09	0,11	0,12	0,10	0,10
<b>C.O.T (g)</b>	0,07	0,07	0,10	0,05	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 093-12. Anexo IV.

**FIGURA N°7.- Distribución de MOT en el sedimento.**



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 076-12. Anexo IV.

**FIGURA N°8.-** Distribución de COT en el sedimento.

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 076-12. Anexo IV.

### 6.1.3 PISTON CORER

Los datos obtenidos de Materia Orgánica y Carbono Orgánico se presentan en la tabla siguiente.

**Tabla N°4.-** Materia Orgánica y Carbono Orgánico obtenido del muestreo con core.

Estación	Réplica	Peso seco muestra (g)	Materia Orgánica (%)	C.O.T (%)
E1	R1	s/d*	s/d	s/d
E2	R1	s/d	s/d	s/d
E3	R1	10,772	1,22	0,71
E4	R1	s/d	s/d	s/d
E5	R1	7,518	1,25	0,73
E6	R1	s/d	s/d	s/d
E7	R1	8,809	1,10	0,64
E8	R1	7,355	1,35	0,78
E9	R1	7,575	1,25	0,73
E10	R1	7,310	1,82	1,06

\*=Sin dato debido a que el sedimento presentó características de fondo duro.

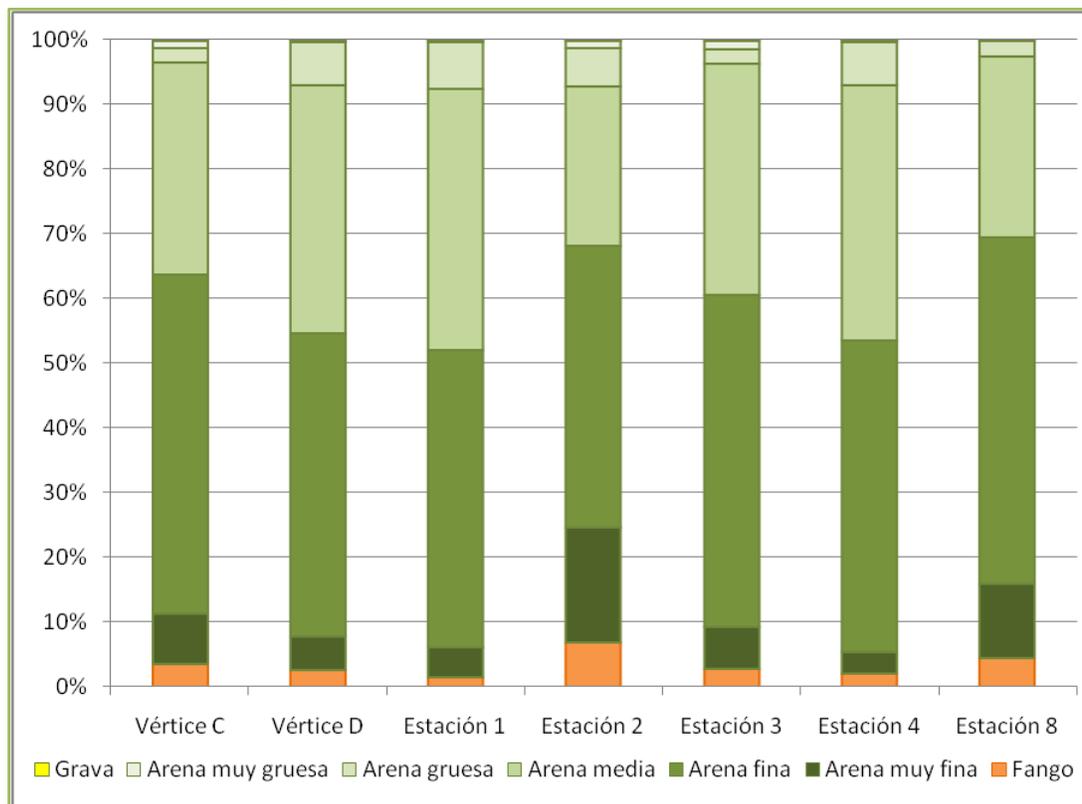
Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 106-12. Anexo IV.

## 6.2.-Caracterización sedimento según CPS

### 6.2.1.-Granulometría

La FIGURA N°9 muestra la granulometría obtenida de la CPS 2011, donde se puede apreciar que las fracciones sedimentarias predominantes corresponden a Arena fina (48,75%) y Arena media (34,2%).

**FIGURA N°9.-** Distribución porcentual de las fracciones de sedimento de acuerdo a CPS. <sup>3</sup>



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de CPS Centro 1 cuyos datos brutos se presentan en el Anexo III.

<sup>3</sup> Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4) (0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm).

## 6.2.2 .-Materia orgánica total

La Materia Orgánica se observa en la Tabla N°5, cuyos valores cumplen con los requisitos normativos dispuestos en la Res. Exe. N° 3612/09.

**Tabla N°5.- Materia orgánica (%) presente en la CPS 2011.**

Estación N°	Vértice C	Vértice D	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 8
Materia orgánica (%)	1,16	1,49	1,30	1,58	1,20	1,37	2,36

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de CPS Centro 1cuyos datos crudos se presentan en el Anexo III.

## 6.2.3 pH Y REDOX

**Tabla N°6.- Valores de pH y Redox presente en la CPS 2011.**

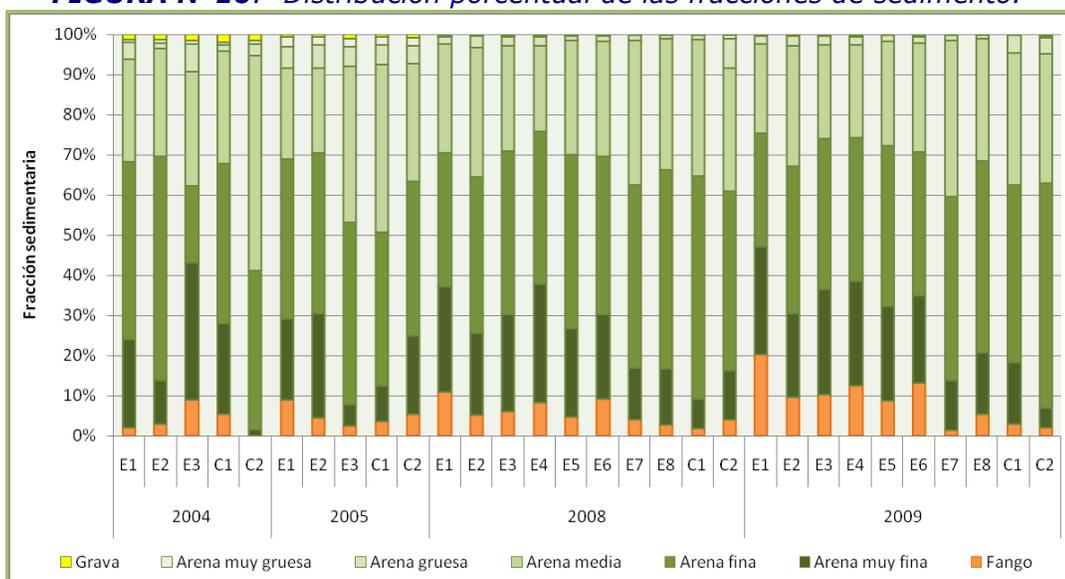
Estación	pH	Potencial REDOX Eh (NHE)
Vértice C	7,71	56
Vertice D	7,61	167
1	7,69	143
2	7,32	54
3	7,48	144
4	7,75	145
8	7,15	-63

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de CPS Centro 1, cuyos datos crudos se presentan en el Anexo III.

## 6.3 Caracterización sedimento según histórico de INFA

### 6.3.1 Granulometría

En la FIGURA N°10 se presenta la granulometría de los Informes Ambientales entregados desde el año 2004 al año 2009. En ellas se puede apreciar que no presenta modificaciones sustantivas a través de los años, mostrando un marcado predominio de las fracciones de arenas muy finas (Phi 4) y finas (Phi 3).

**FIGURA N°10.- Distribución porcentual de las fracciones de sedimento. <sup>4</sup>**

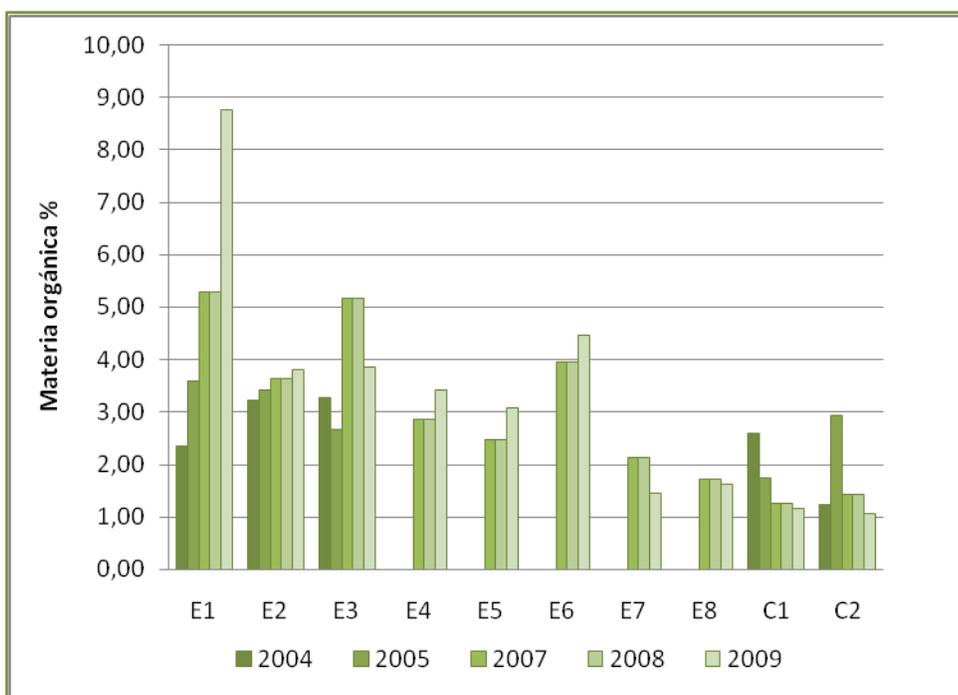
Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informes Ambientales Centro 1, cuyos datos crudos se presentan en el Anexo III.

### 6.3.2 Materia orgánica

En la FIGURA N°11 se presenta el porcentaje de materia orgánica (promedio de las réplicas) obtenida en las INFAs, pudiéndose apreciar que ninguna estación sobrepasa el límite de aceptabilidad estipulado en la Res. Ex. N°3612/09, destacándose una leve disminución del porcentaje en los años.

<sup>4</sup> Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4) (0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm).

**FIGURA N°11.-** Porcentajes de materia orgánica obtenidos de los Informes Ambientales.

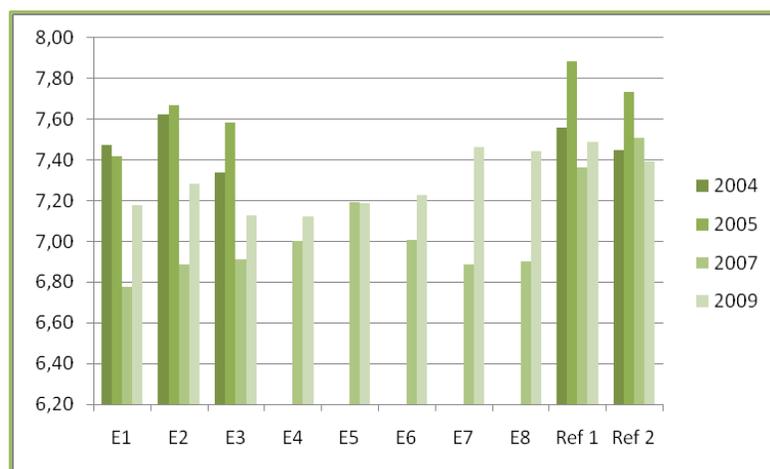


Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informes Ambientales Centro 1, cuyos datos crudos se presentan en el Anexo III.

### 6.3.3 pH Y REDOX.

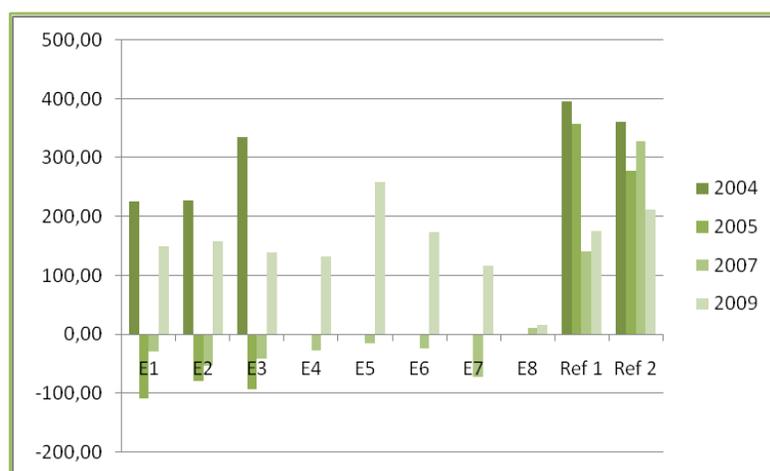
El registro histórico de valores de pH y Redox (corregido), obtenidos de los informes ambientales, se puede observar en las Figuras N°12 y N°13.

**FIGURA N°12.-** Valores de pH obtenidos de los Informes Ambientales.



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informes Ambientales Centro 1, cuyos datos crudos se presentan en Anexo III.

**FIGURA N°13.- Valores de Potencial Redox obtenidos de los Informes Ambientales.**



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informes Ambientales Centro 1, cuyos datos crudos se presentan en el Anexo III.

## 6.4 Comunidades bentónicas

### 6.4.1 Caracterización macrofauna escenario actual

En el Anexo IV se adjunta el Informe de Ensayo que contiene el detalle de los resultados de la composición taxonómica registrada en las muestras de sedimento, indicándose la densidad y la biomasa por estación y réplica. Por otro lado, en la Tabla N°7 se presentan los índices comunitarios calculados.

Se determinaron 47 taxa, pertenecientes a 6 Phyla: Annelida (61,8%), Mollusca (29,3%), Arthropoda (6,3%), Echinodermata (2,0%), Nemertea (0,6%) y Sipuncula (0,1%) (Ver FIGURA N°14). Los Phyla mejor representados en cuanto a riqueza de especies fueron Annelida (18 taxa), Arthropoda (14 taxa) y Mollusca (10 taxa); le siguen Echinodermata (3 taxa), Nemertea (1 taxón) y Sipuncula (1 taxón).

Considerando todas las muestras analizadas y la determinación taxonómica hasta nivel de familia, el taxón predominante en términos de abundancia correspondió a Capitellidae, representada por la especie *Capitella capitata*, con una abundancia porcentual del 22,7%, concentrándose mayoritariamente en las estación E1, E3 y E4, registrándose 600 ind/m<sup>2</sup>, 1280 ind/m<sup>2</sup> y 370 ind/m<sup>2</sup>, respectivamente.

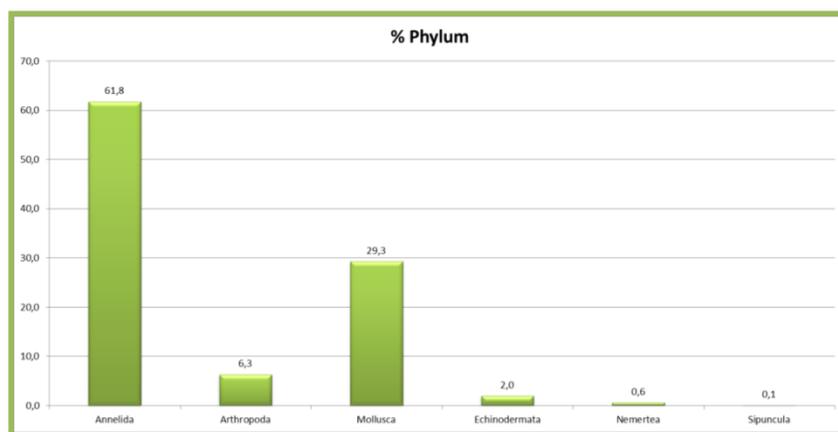
Con respecto a la Riqueza específica, los valores más elevados se presentaron en la estación E9, observándose hasta 18 taxa en la réplica 2. La menor cantidad de especies de detectó en la estación E1, exhibiendo hasta 2 taxa en su réplica 1. Por otro lado, las mayores

abundancias se presentaron en las estaciones E3, E6 y E9, con 1700 ind/m<sup>2</sup>, 1800 ind/m<sup>2</sup> y 1510 ind/m<sup>2</sup>, respectivamente; el mayor valor individual de abundancia se exhibe en la réplica 2 de la estación E9 (890 ind/m<sup>2</sup>), dado mayoritariamente por *Tharyx sp.* Referente al índice de Diversidad, los mayor valores se registraron en la estación E9, exhibiéndose en mayor valor individual en su réplica 2 ( $H'=3,426$ ) El menor valor individual de Diversidad se asocia a la estación con menor riqueza de especies, registrándose un  $H'=0,297$  (E1-R1).

El índice de Dominancia mostró su máximo valor en la réplica 1 de la estación E1 ( $D'=0,900$ ), fenómeno dado por predominancia de *Capitella capitata* en dicha estación. Los valores más bajos de dominancia se relacionan con las estaciones con mayor diversidad, E7, E9 y E10 ( $D'<0,2$ ).

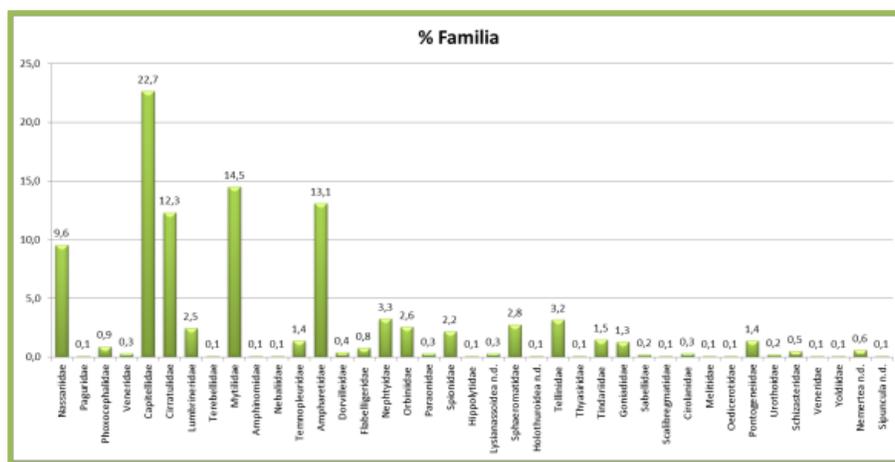
Por último, la Equidad registra su máximo valor en la réplica 1 de la estación E7 ( $J'=0,985$ ), mientras que su valor más bajo se observa en la réplica 3 de la estación E1 ( $J'=0,273$ ).

**FIGURA N°14-** Abundancia porcentual a nivel de Phylum.



Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Ensayo Centro 1, adjunto en el Anexo IV.

**FIGURA N°15.-** Abundancia porcentual hasta nivel de Familia.



Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Ensayo Centro 1, adjunto en el Anexo IV.

**Tabla N°7.- Índices Comunitarios (Riqueza de especies, Abundancia, Índice de Diversidad, Índice de Dominancia e Índice de Equidad) en cada una de las réplicas.**

Código de muestra	Riqueza (N° spp.)	Abundancia (ind./m <sup>2</sup> )	Índice de Diversidad (H') (log <sub>2</sub> )	Índice de Dominancia (D') (Lambda')	Índice de Equidad (J')
E1-R1	2	190	0,297	0,900	0,297
E1-R2	4	160	1,670	0,379	0,835
E1-R3	4	360	0,546	0,842	0,273
E2-R1	8	250	2,629	0,190	0,876
E2-R2	9	360	2,646	0,222	0,835
E2-R3	11	330	2,884	0,189	0,834
E3-R1	9	580	1,582	0,539	0,499
E3-R2	7	370	1,708	0,454	0,608
E3-R3	7	750	1,018	0,693	0,363
E4-R1	7	310	2,316	0,246	0,825
E4-R2	11	570	2,873	0,174	0,830
E4-R3	10	360	2,657	0,217	0,800
E6-R1	10	570	2,384	0,289	0,718
E6-R2	8	560	1,415	0,577	0,472
E6-R3	11	670	2,300	0,266	0,665
E7-R1	9	100	3,122	0,111	0,985
E7-R2	11	330	2,896	0,186	0,837
E7-R3	7	160	2,656	0,167	0,946
E8-R1	13	460	2,670	0,266	0,722
E8-R2	11	440	2,587	0,235	0,748
E8-R3	3	70	1,379	0,420	0,870
E9-R1	12	340	3,290	0,120	0,918
E9-R2	18	890	3,426	0,132	0,822
E9-R3	13	280	3,266	0,135	0,883
E10-R1	12	180	3,303	0,125	0,921
E10-R2	8	220	2,607	0,203	0,869
E10-R3	10	290	3,038	0,139	0,915

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Ensayo Centro 1, adjunto en el Anexo IV.

### 6.4.2 Índice AMBI

Para evaluar el estado de calidad ambiental de los fondos de sustrato blando, hemos utilizado el índice AMBI desarrollado por Borja *et al.* (2000). Esta clasificación se basa en la sensibilidad de la macrofauna a un gradiente creciente de estrés, dividiendo a los organismos en cinco grupos.

Se ha realizado el cálculo del Índice de Calidad Ambiental (AMBI), mediante el cual logramos apreciar que hay estaciones que resultan perturbadas ligeramente (Estaciones 2, 6, 7, 9 y

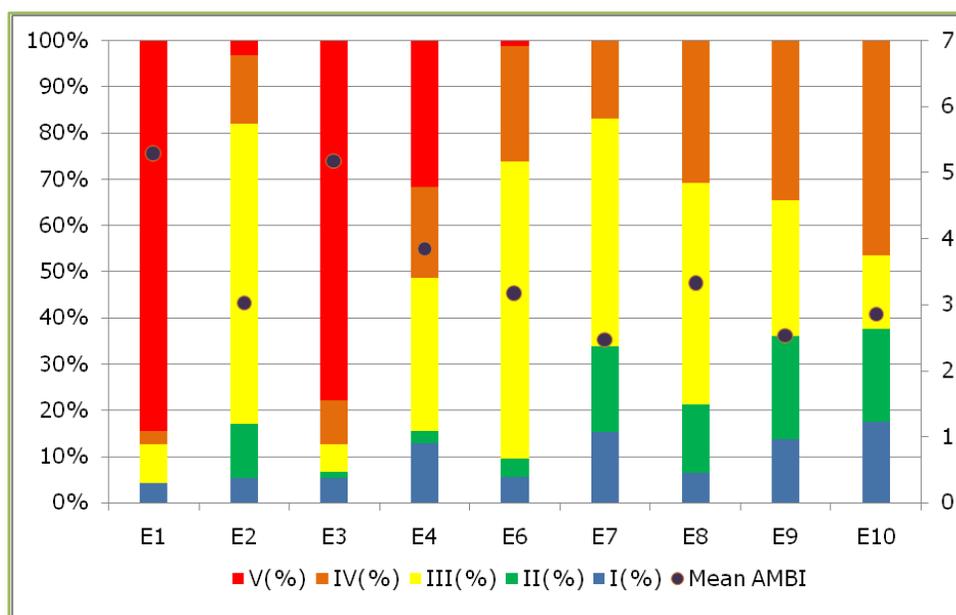
10), debido al gran porcentaje de especies incluidas en el grupo III; también hay estaciones perturbadas moderadamente (Estaciones 4 y 8) y fuertemente (Estaciones 1 y 3) (Tabla N°8), lo cual se debe al gran porcentaje de especies incluidas en el grupo IV y V (FIGURA N°16) respectivamente; ésta última obtiene el mayor valor en la Estación 1, llegando a 84,50% debiéndose principalmente al gran contenido de la especie *Capitella capitata*.

**Tabla N°8.- Índice de calidad ambiental (AMBI) calculado.**

Estaciones	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)	V (%)	Promedio AMBI	BI de promedio AMBI	Tipo de perturbación
E1	4,20	0	8,50	2,80	84,50	5,28	5	Fuertemente perturbada
E2	5,30	11,70	64,90	14,90	3,20	3,03	2	Levemente perturbada
E3	5,40	1,20	6,00	9,60	77,70	5,18	5	Fuertemente perturbada
E4	12,80	2,60	33,30	19,70	31,60	3,85	3	Moderadamente perturbada
E6	5,60	3,90	64,40	25,00	1,10	3,16	2	Levemente perturbada
E7	15,30	18,60	49,20	16,90	0	2,47	2	Levemente perturbada
E8	6,40	14,90	47,90	30,90	0	3,32	3	Moderadamente perturbada
E9	13,70	22,30	29,50	34,50	0	2,53	2	Levemente perturbada
E10	17,40	20,30	15,90	46,40	0	2,86	2	Levemente perturbada
Promedio	9,57	10,61	35,51	22,30	22,01	3,52	2,89	

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Ensayo Centro 1, utilizando el programa AMBI versión 5.0, cuyos datos crudos se encuentran en el Anexo III.

**FIGURA N°16. - Porcentajes de los diferentes grupos ecológicos de las comunidades del sedimento en el Centro 1 y el índice biótico resultante para cada una de ellas.**

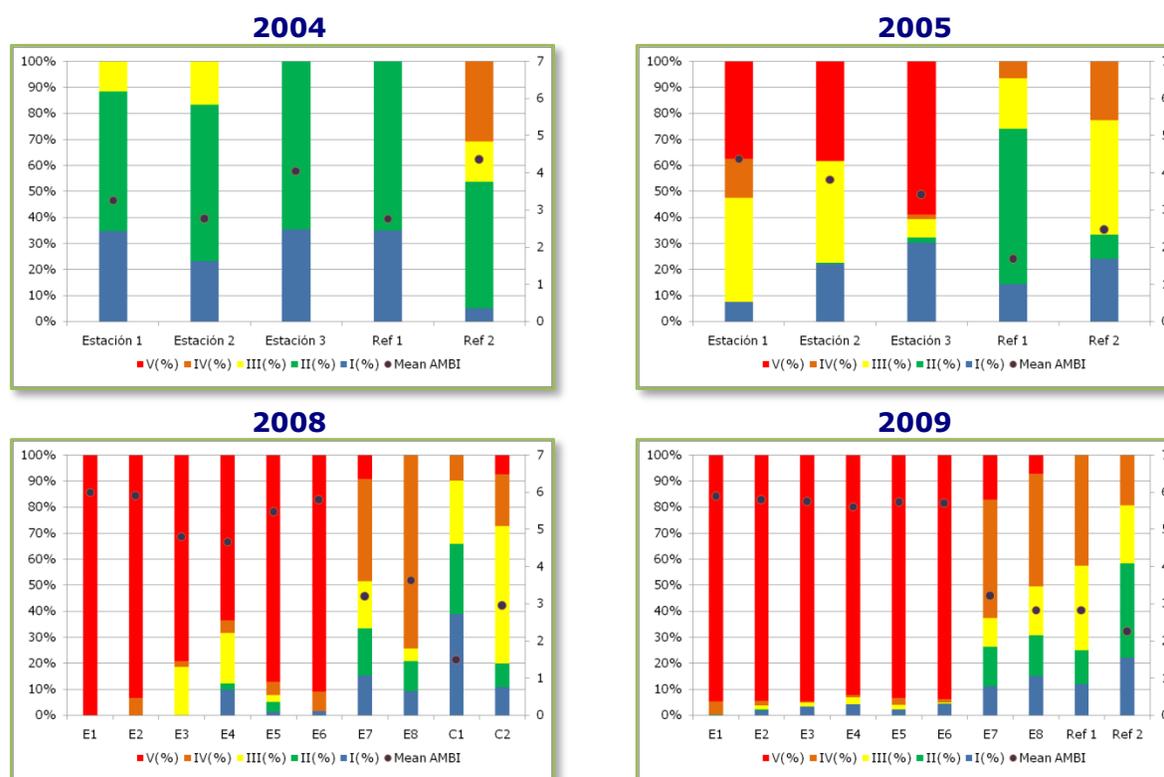


Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Ensayo Centro 1, utilizando el programa AMBI versión 5.0, cuyos datos crudos se encuentran en el Anexo III.

### 6.4.3 Evolución o cambio histórico (INFA)

Para poder efectuar un análisis de la macrofauna se calculó el Índice AMBI para todos los informes ambientales. En ellos se logró apreciar que la evolución de los sedimentos en relación a la composición de especies de grupos IV y V del AMBI ha ido en aumento (FIGURA N°17), así como también el índice biótico resultante es cada vez más cercano a 6, clasificando al bentos como Fuertemente Perturbado.

**FIGURA N°17.-** Porcentajes de los diferentes grupos ecológicos de las comunidades del sedimento en INFA del Centro 1 y el índice biótico resultante para cada una de ellas.



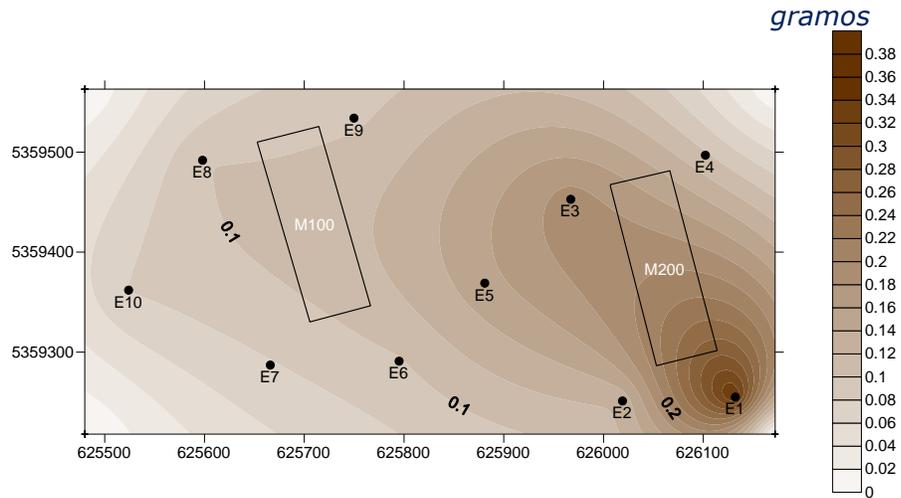
Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Información Ambiental (INFA) Centro 1, utilizando el programa AMBI versión 5.0, cuyos datos crudos se encuentran en el Anexo III.

### 6.5 Trampas de sedimento

Se obtuvieron mapas temáticos de la distribución de Materia Orgánica Total (g) y Carbono Orgánico Total (figuras N°18 y N°19 respectivamente), en relación a los valores encontrados en las trampas de sedimentos dispuestas en cada estación de muestreo.

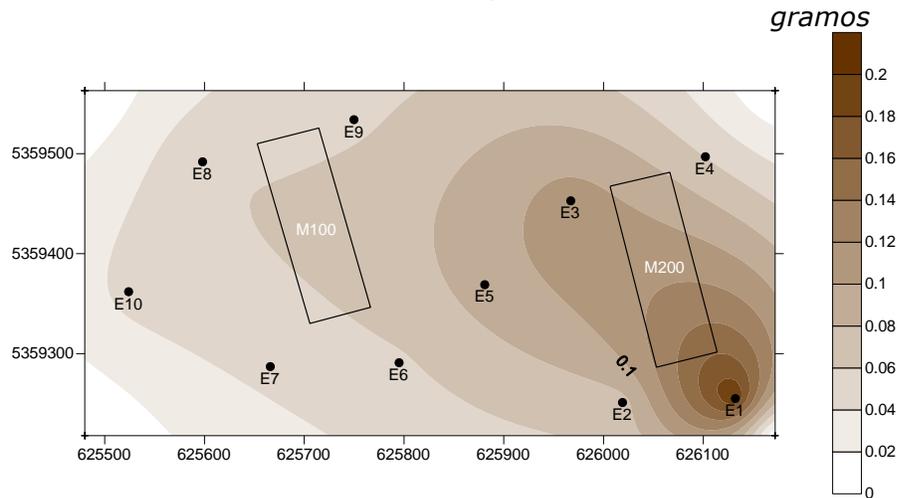
En estas Figuras, es posible apreciar que los valores mayores se concentran bajo el Módulo 200, específicamente en la Estación 1, situación que se condice con los resultados del muestreo de sedimentos.

**FIGURA N°18.-** Distribución de Materia Orgánica Total en relación a los valores encontrados en las trampas de sedimento.



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 077-12. Anexo IV.

**FIGURA N°19.-** Distribución de Carbono Orgánico Total en relación a los valores encontrados en las trampas de sedimento.



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 077-12. Anexo IV.

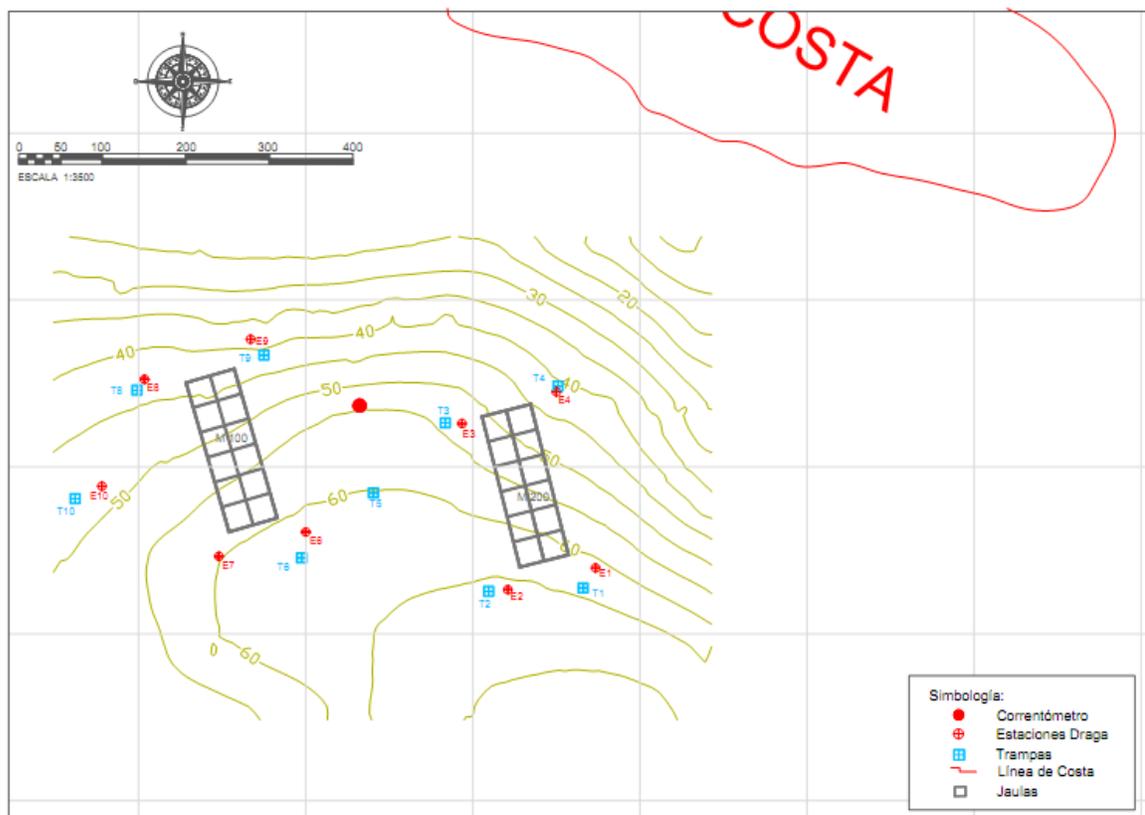
## **6.6 SIMULACIONES DEPOMOD CENTRO 1**

De los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas al Centro 1, se ha escogido el escenario de simulación que mejor representaría el proceso de dispersión de material particulado en el fondo marino en el área de estudio. Esta simulación tiene el código res0B1\_c1, encontrándose el detalle en el Anexo VI de este informe. Esta simulación considera valores por defecto del modelo, información de corrientes durante el periodo de estudio de este Centro y pérdidas de alimento del 5% y velocidades de sedimentación de fecas variable. Como se puede observar, se ha simulado con estas condiciones con el objeto adicional de intervenir lo menos posible las salidas del modelo, de tal modo que la efectividad de la modelación esté dada en términos de su actual uso en la industria chilena. A continuación se exhibe el proceso de simulación llevado a cabo para este centro.

### **6.6.1 Módulo generador de la grilla**

Hay que recordar que este módulo básicamente incorpora, las profundidades del sector, coordenadas de ubicación de las jaulas y coordenadas de las estaciones de muestreo dispuestas en el área de estudio.

**FIGURA N°20.-** Batimetría, ubicación de trampas de sedimento, extracción de muestras con draga y ubicación de la instalación del correntómetro para el Centro 1.



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Batimetría presentada en CPS y muestreo realizado al Centro 1. Se anexan datos crudos de Batimetría en Anexo III.

Dentro de la información utilizada para generar la grilla que representa la topografía submarina del Centro 1, puede mencionarse que la batimetría del sector, presenta una distribución relativamente homogénea de las isóbatas, pero con una inclinación suave que va de norte a sur, hasta los 50 m. Puede observarse también, que la profundidad media del sitio se encuentra entre los 50 y 60 de aproximadamente, y el área de estudio no presenta accidentes importantes que puedan inducir a una acumulación de residuos en algún sector de la grilla. Además, se evidenció la existencia de una pequeña quebrada que tiene una orientación Noroeste – Suroeste.

En lo particular, la grilla mayor y la grilla menor están compuestas por 99x73 y de 98x72 celdas respectivamente, y en ambos casos sus dimensiones corresponden a 8 metros.

### **6.6.1.1 Módulo de trayectoria de la partícula**

El módulo de trayectoria requiere como información de entrada el balance de masa del alimento suministrado durante el periodo de evaluación, velocidad de sedimentación de pellets y fecas, datos de corrientes, factores de dispersión, altura de marea, paso de tiempo entre los registros de corrientes, tiempo de evaluación de la trayectoria de la partícula, longitud de la información de corrientes y dimensiones de las estructuras en términos de ancho, largo y profundidad de las jaulas que componen el cultivo.

En detalle, el Centro de cultivo cuenta con 24 jaulas separadas en dos módulos de 12 jaulas cada uno, con un promedio de peces por jaula de 37.160 individuos por cada jaula, con pesos promedio distintos, los cuales están reflejados a partir del alimento suministrado a cada una de las jaulas. Los demás datos ofrecidos como parámetros de entrada al modelo se presentan en la Tabla N°11, *Parámetros de entrada al modelo simulación del Centro 1*.

Dado que las tasas de alimentación suministrada a cada jaula durante el periodo de evaluación es una de las principales variables, su detalle se presenta a continuación.

**Tabla N°9.-Tasas de alimentación suministrada a cada jaula del Centro 1 durante el período de evaluación.**

		Modulo 100											
		Jaula 101	Jaula 102	Jaula 103	Jaula 104	Jaula 105	Jaula 106	Jaula 107	Jaula 108	Jaula 109	Jaula 110	Jaula 111	Jaula 112
Fecha		Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día
1	2012-8-2	64	107	52	103	62	105	64	104	63	214	62	130
2	2012-8-3	87	129	65	112	83	119	71	107	95	74	90	74
3	2012-8-4	53	81	41	109	58	110	49	101	38	87	38	70
4	2012-8-5	49	81	66	112	57	75	32	50	48	57	47	58
5	2012-8-6	74	117	49	124	42	117	38	104	45	113	41	99
6	2012-8-7	67	84	83	101	66	112	67	114	65	100	67	107
7	2012-8-8	69	115	73	112	74	108	75	127	66	123	70	108
		463	714	429	773	442	746	396	707	420	768	415	646
		Modulo 200											
		Jaula 201	Jaula 202	Jaula 203	Jaula 204	Jaula 205	Jaula 206	Jaula 207	Jaula 208	Jaula 209	Jaula 210	Jaula 211	Jaula 212
Fecha		Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día
1	2012-8-2	306	347	254	196	257	298	200	310	106	316	93	280
2	2012-8-3	205	310	161	235	210	370	159	370	157	371	152	378
3	2012-8-4	320	294	269	311	399	417	109	300	112	412	139	412
4	2012-8-5	281	350	261	288	296	315	200	441	148	408	142	166
5	2012-8-6	244	142	167	128	259	412	210	413	94	291	96	275
6	2012-8-7	80	112	75	107	57	110	56	108	54	90	49	107
7	2012-8-8	142	154	141	152	146	155	107	154	103	150	94	199
		1578	1709	1328	1417	1624	2077	1041	2096	774	2038	765	1817

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012), a partir de los datos proporcionados por el productor.

Con el objeto de ofrecer una presentación gráfica de las tasas de alimentación que han sido suministradas al cultivo durante el periodo de evaluación del el modelo DEPOMOD, se presenta la figura siguiente.

**FIGURA N°21.-** Gráfica del alimento suministrado al Centro 1 durante el período (7 días).



*Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012), a partir de información de producción proporcionada por el productor.*

A partir de los datos de alimentación presentados en la FIGURA anterior, puede observarse que el Módulo 100 –ubicado al Oeste de Módulo 200–, presenta una tasa de alimentación de 6.919 (kg/7días) – 988,4 (kg/día)–, la cual es inferior a lo registrado en el módulo 200, con una tasa de alimentación de 18.624 (kg/7días) –2.609,1 (kg/día)–. A partir de los datos de alimentación proporcionados al cultivo durante el periodo de estudio, se esperaría que la pluma de dispersión de material orgánico concentre sus valores máximos cercanos al Módulo 200, y por el contrario, debiesen esperarse flujos de material orgánico menores en las zonas cercanas al módulo 100.

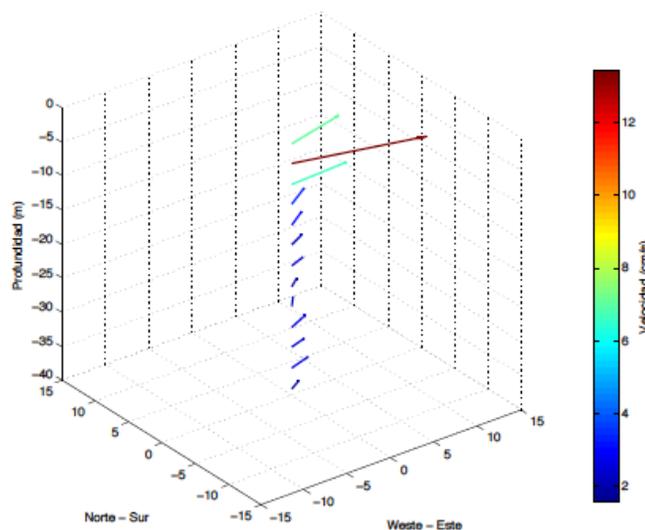
Continuando con la descripción de los parámetros utilizados en el módulo de trayectoria, se han incorporado 5 capas de corrientes para representar la dinámica del sector durante período de estudio. Los criterios y métodos utilizados para definir las capas de corrientes se presentan en el Anexo VIII. Al respecto, cabe mencionar que las magnitudes medias de la velocidad de la corriente presentan valores altos en la superficie, junto con una alta

variabilidad, lo cual se ve reflejado en mayores valores de desviación estándar. Los mayores valores medios de magnitud se presentaron en superficie, con 28,0 y 21,0 cm/s; los valores más bajos presentaron bajo los 18 m de profundidad. El promedio de la magnitud de la velocidad en la columna de agua es de 11,0 cm/s, y su desviación estándar es de 5,9 unidades.

Se observó que el flujo presenta, en forma general, una tendencia predominante hacia la dirección Este (21,6 %), en la mayor parte de las capas registradas, seguida por la dirección Noreste (18,6 %), y Sureste (13,6 %). En base a los datos, es posible establecer una predominancia relativa de las direcciones asociadas al primer y segundo cuadrante direccional.

La mayor frecuencia relativa de los datos registrados, se encontró en el rango correspondiente a los 5,1 a 10,0 cm/s. Las magnitudes sobre 30 cm/s se observan principalmente en superficie (6 m). En la capa profunda la magnitud presenta mayor frecuencia en los rangos menores a 15,0 cm/s.

**FIGURA N°22.-** Gráfico 3D de vector corrientes promedio Centro 1.



*Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012)*

Del gráfico puede desprenderse que los vectores promedios de las corrientes presentan mayores magnitudes en las capas superiores, disminuyendo su intensidad a medida que aumenta la profundidad. Se debe destacar que la dirección predominante de la corriente, permitiría inferir que la depositación de los residuos orgánicos liberados del cultivo deberían alojarse en dirección Este-Norte.

A raíz de que el modelo limita la incorporación de datos de corrientes a 5 capas, el agrupamiento según el criterio de selección de capas de corrientes se resume en la Tabla N° 10.

**Tabla N°10.-Capas de corrientes utilizadas en la simulación realizada al Centro 1**

<b>Capas DEPOMOD</b>	<b>Capas de medición de corrientes</b>
Capa 1	Capa 1
Capa 2	Capa 2
Capa 3	Capa 3
Capa 4	Capa 4 a 8
Capa 5	Capa 9 a 13

*Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012)*

Dentro de los valores utilizados para simular la dispersión de los residuos en el fondo marino a partir del modelo DEPOMOD, los parámetros utilizados fueron los indicados en la tabla siguiente.

**Tabla N°11.-Parámetros de entrada al modelo del Centro 1.**

<b>Parámetros de Simulación</b>		
	Unidad	
Generación de la Grilla		
Major Grid	m	99x73
Major Grid Resolución de la Celda	m	8m
Minor Grid	m	98x72
Minor Grid Resolución de la Celda	m	8m
Fuente de la Batimetría		CPS
Número de Módulos	Unidades	2
Número de Jaulas Por Módulo	Unidades	12
Número Total de Jaulas del Cultivo	Unidades	24
Trayectoria de Partícula	Unidad	
Contenido de Agua en el Alimento	%	9
Digestibilidad	%	85
Porcentaje de Alimento no Consumido	%	5
Porcentaje de Carbono como Fecas	%	30
Número de Dietas Suministradas al Cultivo	Unidades	1
Tamaño del Pellets del Alimento Entregado	mm	4.1
Velocidad de Hundimiento del Pellets Proporcionado	m/s	0.104
Tamaño de la Fecas	mm	1 mm
Velocidad de Hundimiento de las Fecas	m/s	0.032 ±0.01
Número de Partículas Simuladas	N°	15
Tipo de Correntómetro		ADCP (Nortek, 600 KHz)
Número de Capas Utilizadas para la Simulación	Unidades	5
Profundidades de las Capas de Corrientes	m	48.5,45.5,42.5,33.5,18.5
Profundidad total del Punto de Fondeo del Correntómetro	m	52
Longitud de los datos de Corrientes	Unidades	889
Paso del tiempo de los datos de Corrientes	s	600
Altura media de la Marea	m	3
Evaluación de la exactitud de la trayectoria	s	60
Coeficiente de Dispersión Dirección Horizontal x (Kx)	m <sup>2</sup>	0,100
Coeficiente de Dispersión Dirección Horizontal y (Ky)	m <sup>2</sup>	0,100
Coeficiente de Dispersión Dirección Vertical (Kz)	m <sup>2</sup>	0,001
Periodo de tiempo utilizado para la Simulación	días	7
Alimento Entregado durante el periodo de estudio	Kg/día	3597,57
Tipo de Jaula	r-c	Rectangular
Largo de cada Jaula	m	30
Ancho de cada Jaula	m	30
Profundidad de cada Jaula	m	18
Resuspensión		
Loops para corridas del modelo	N°	5
Modelo de Resuspensión	Estado	Off
Unidad de Flujo para la Salida del Modelo		g C/m <sup>2</sup>
Modelo de Producción Primaria		Off
Utilización de Optimizador de Memoria		Off

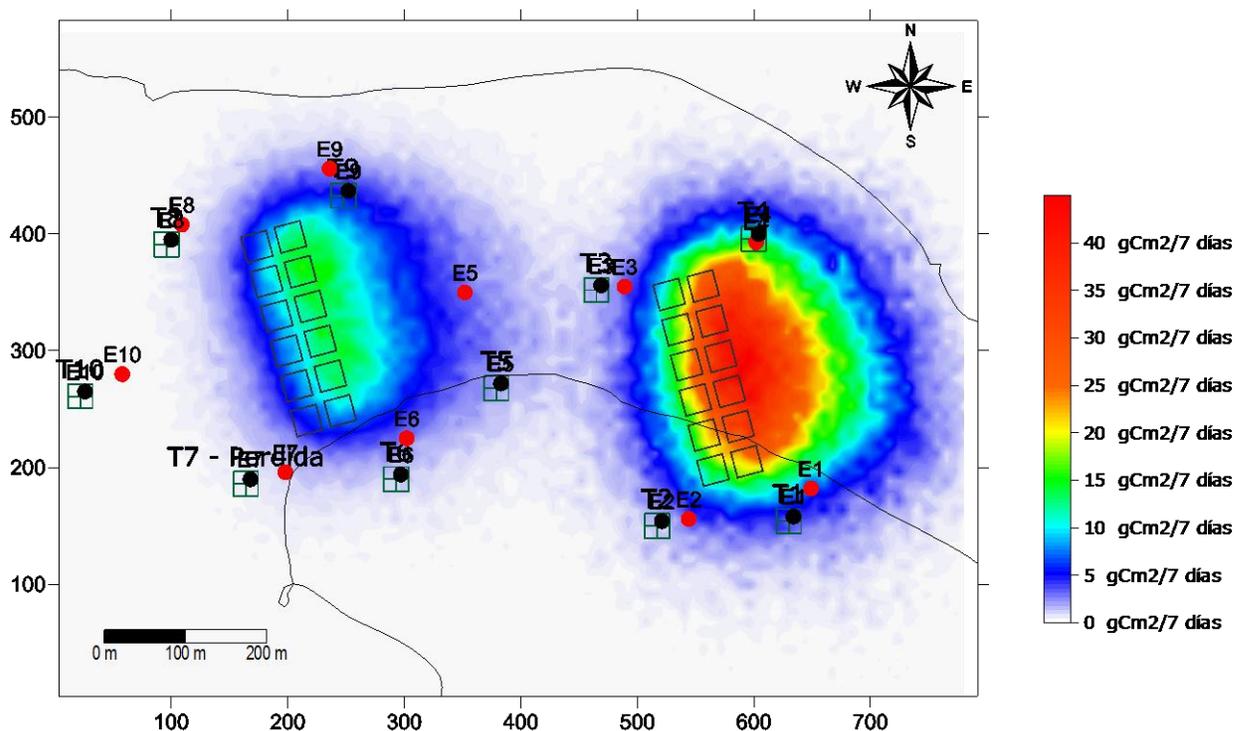
### 6.6.1.2 Módulo de resuspensión

Tal como se mencionó en el punto 4.7.3, los resultados de flujo de material orgánico obtenidos de las trampas de sedimento durante el periodo de estudio, no se encuentran influenciados por resuspensión, por lo que no se considera tal efecto en los resultados. Por lo tanto, éstas y las demás simulaciones no incorporan el proceso de resuspensión, no

obstante, este módulo debe igualmente ser utilizado para finalizar el proceso de simulación de dispersión de partículas en el fondo marino, utilizando para ello, 5 *loops* en cada una de las corridas.

Una vez incorporados todos los parámetros al modelo DEPOMOD, los resultados de la simulación para el Centro 1 fue siguiente:

**FIGURA N°23.-** Mapa de depositación de carbono orgánico total (COT) en el fondo marino del Centro 1.



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012)

En la figura anterior es posible visualizar claramente que los máximos valores se exhiben en dirección Este-Norte, coherente con la dirección de predominante de la corriente y zonas con mayores tasas de alimentación durante el período de evaluación del modelo DEPOMOD.

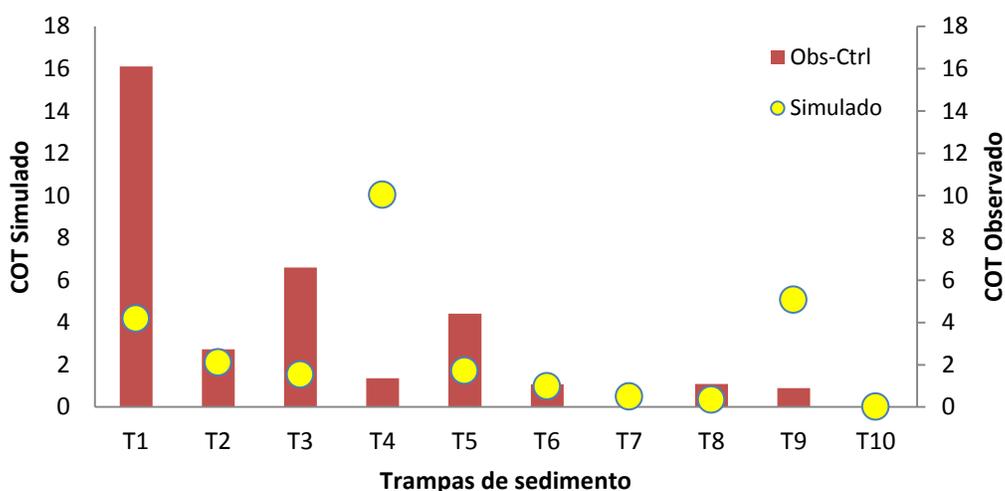
Los valores máximos registrados por esta simulación, fueron de 588 (gC/m<sup>2</sup>/7días), 84 (gC/m<sup>2</sup>/día), y se ubicó en la coordenada 588E y 276N. En particular, y dado que es posible diferenciar entre los valores de sedimentación del M100 y M200, el valor máximo que representaría al M100 es de 19,16 (gC/m<sup>2</sup>/7días) 2,74 (gC/m<sup>2</sup>/día), ubicándose en la coordenada 228E y 356N.

Para determinar si existe correlación entre los flujos de COT captados por las trampas de sedimento dispuestas en el Centro 1 durante el periodo de evaluación del modelo DEPOMOD y los valores de la simulación, es preciso comparar ambos resultados en virtud de que el modelo ofrece salidas que se aproxima a la realidad del fenómeno.

**Tabla N°12.-** Resultados de lo observado v/s predicho en la simulación

Trampa	COT (g/m <sup>2</sup> )	
	Valor Observado en las trampas	Valor Predicho por el Modelo
T1	9,1	16,8
T2	9,1	2,3
T3	13,0	6,2
T4	13,1	14,2
T5	17,0	22,3
T6	8,9	4,3
T7	16,3	11,3
T8	11,6	4,6
T9	11,7	9,7
T10	-	-
T11	9,8	5,0

**FIGURA N°24.-** Observado v/s predicho por el modelo (promedios).



Si bien los valores observados (valores de campo obtenidos en las trampas de sedimento) y los valores predichos por la simulación (valores registrados por la salida del modelo DEPOMOD-, no reflejan una perfecta correlación, sí estos dan cuenta que existiría una tendencia que confirmaría una relación directa entre los resultados del modelo y los valores obtenidos en las trampas de sedimento. Hay que destacar que a partir de la comparación de los resultados obtenidos por el modelo DEPOMOD y un tamaño de muestra  $n=9$  (9 trampas de sedimento con 3 réplicas), se desea representar una superficie de 28 hectáreas, lo que de alguna manera es muy difícil de lograr. Los detalles de los valores de campo para cada una de las trampas dispuestas en el Centro 1 para cada una de las simulaciones realizadas se encuentran respaldadas en el Anexo VI.

## **7 CAPITULO II- CENTRO 2**

### **7.1 Caracterización sedimento escenario actual**

#### **7.1.1 Granulometría**

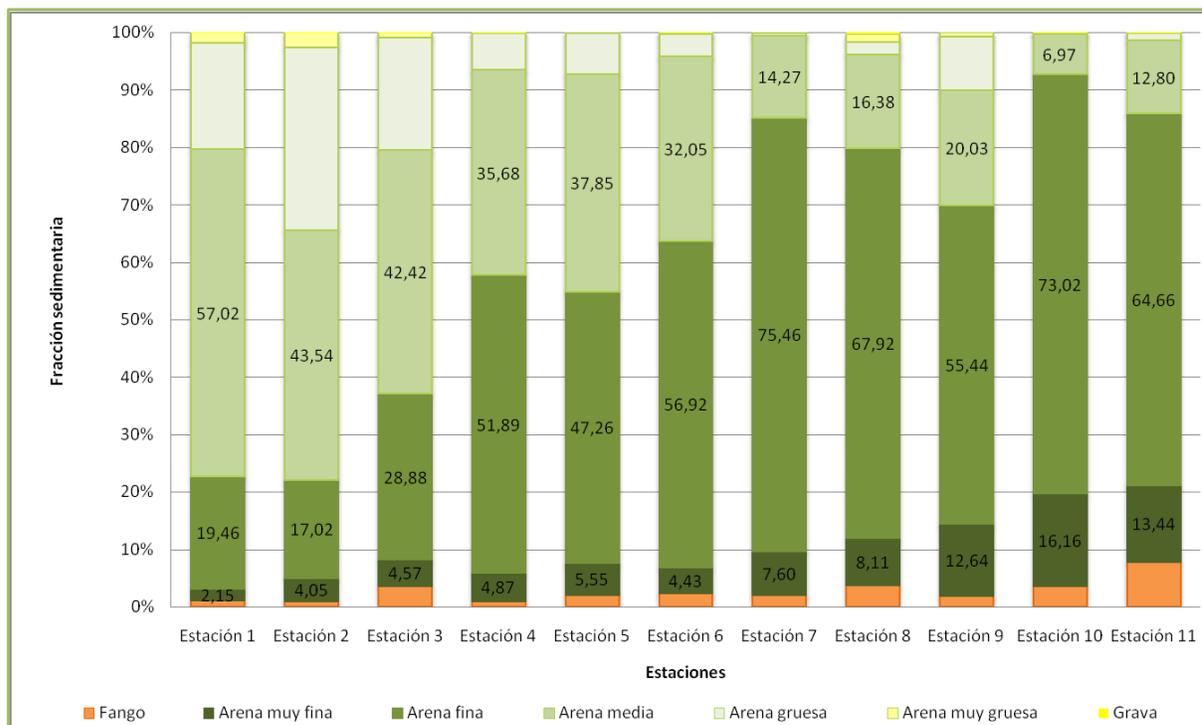
Los valores individuales obtenidos del análisis granulométrico del sedimento se presentan en la Tabla N°13. En general, los resultados indicaron que la fracción predominante corresponde a Arena fina ( $\phi$  3), con un valor promedio de todas las estaciones correspondiente al 50,72%, donde la Estación 7 es la que mayor porcentaje tiene, llegando al 75,46% (ver FIGURA N°25). Referente a la fracción Fango ( $\phi$  5), está no supera el 8% considerando el promedio de sus réplicas en cada estación, encontrándose valores desde 0,94% (E-2) a 7,72% en la Estación 11.

**Tabla N°13.- Granulometría del sedimento (%).** Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4) (0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm).

Estación	Réplica	Grava	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Fango
E1	R1	0,10	2,36	20,16	56,09	18,58	2,12	0,61
	R2	0,04	1,83	18,62	56,55	19,37	2,14	1,44
	R3	0,00	1,16	16,84	58,43	20,44	2,20	0,92
E2	R1	0,04	2,63	30,69	44,38	17,72	4,06	0,48
	R2	0,09	2,71	32,26	43,18	17,22	4,29	0,25
	R3	0,02	2,40	32,50	43,07	16,13	3,78	2,10
E3	R1	0,06	0,93	19,51	43,41	29,77	4,56	1,77
	R2	0,00	1,04	19,61	40,96	28,57	4,75	5,06
	R3	0,00	0,97	19,46	42,89	28,30	4,40	3,98
E4	R1	0,00	0,13	5,96	35,05	53,39	5,21	0,26
	R2	0,01	0,14	6,56	36,00	50,87	4,86	1,55
	R3	0,01	0,22	6,74	35,98	51,40	4,55	1,10
E5	R1	0,00	0,16	6,89	37,86	47,25	5,68	2,15
	R2	0,00	0,19	6,92	37,27	47,43	5,58	2,61
	R3	0,00	0,21	7,57	38,42	47,11	5,39	1,30
E6	R1	0,18	0,22	3,85	32,82	57,90	4,40	0,63
	R2	0,00	0,18	3,77	30,33	58,21	4,56	2,94
	R3	0,01	0,22	4,26	33,00	54,65	4,33	3,53
E7	R1	0,00	0,10	0,41	14,14	76,04	7,73	1,58
	R2	0,00	0,18	0,41	14,24	75,12	7,54	2,50
	R3	0,00	0,24	0,47	14,44	75,24	7,53	2,09
E8	R1	0,16	1,60	2,13	16,69	67,55	7,85	4,02
	R2	0,19	1,26	2,06	15,97	68,17	8,23	4,12
	R3	0,43	1,57	2,12	16,47	68,05	8,24	3,11
E9	R1	0,00	0,89	9,88	19,19	55,10	13,43	1,51
	R2	0,00	0,69	9,50	20,39	54,02	12,14	3,26
	R3	0,00	0,56	8,83	20,49	57,22	12,36	0,55
E10	R1	0,02	0,06	0,39	7,54	73,08	15,26	3,66
	R2	0,00	0,02	0,23	6,83	71,64	15,44	5,85
	R3	0,00	0,04	0,27	6,54	74,34	17,78	1,03
E11	R1	0,00	0,07	1,03	11,55	64,08	14,09	9,17
	R2	0,06	0,16	1,06	11,79	61,93	13,54	11,46
	R3	0,07	0,13	1,59	15,04	67,97	12,68	2,51

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 093-12. Anexo IV.

**FIGURA N° 25.- Distribución porcentual de las fracciones de sedimento. Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4) (0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm).**



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 093-12. Anexo IV

### 7.1.2 Materia orgánica total y carbono orgánico total

El contenido de Materia Orgánica Total en el sedimento se registró con resultados que no presentaron mayor variación entre una estación a otra, registrando un rango desde 0.06 g (E2-R2 y R3) a 0,1 g (E5-R3 y E7-R2) (Tabla N°14). El Carbono Orgánico Total sigue la misma tendencia, cuyo rango se presentó entre los 0.03 g (E2-R3) a los 0.06g (E5-R3 y E7-R2).

En general, la distribución de MOT en el sedimento se concentra bajo ambos módulos de cultivo (FIGURA N°26), siendo el sedimento bajo el Módulo 200 el que presenta mayores valores de COT (FIGURA N°27).

**Tabla 14 a.-** Resultados del análisis de materia orgánica en el sedimento. MOT: Materia Orgánica Total; COT: Carbono Orgánico Total.

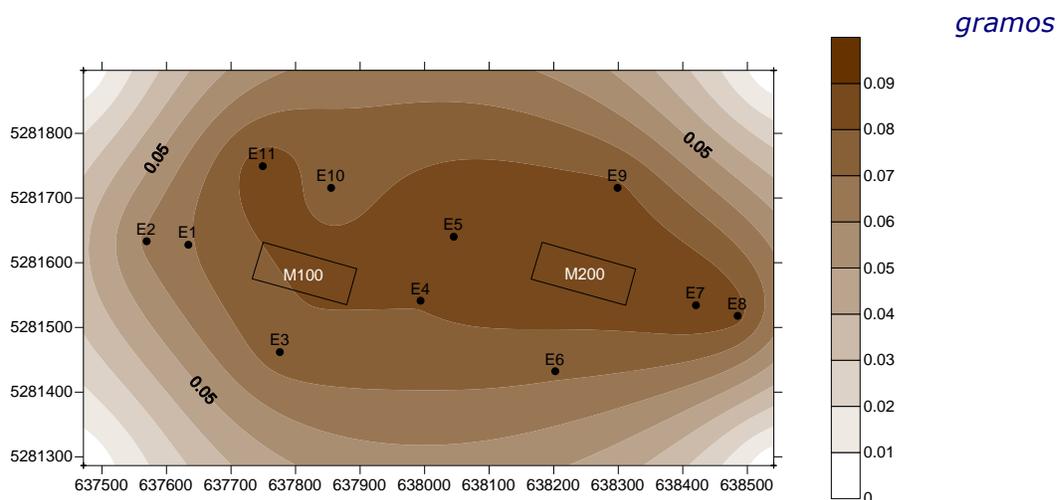
Estación	E1			E2			E3			E4			E5			E6		
Réplica	R1	R2	R3															
MOT (g)	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,08	0,09	0,10	0,07	0,07	0,07
COT (g)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,04	0,04	0,04

**Tabla 14 b.-** Resultados del análisis de materia orgánica en el sedimento. MOT: Materia Orgánica Total; COT: Carbono Orgánico Total.

Estación	E7			E8			E9			E10			E11		
Réplica	R1	R2	R3												
MOT (g)	0,08	0,10	0,08	0,08	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,09	0,08	0,09
COT (g)	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05

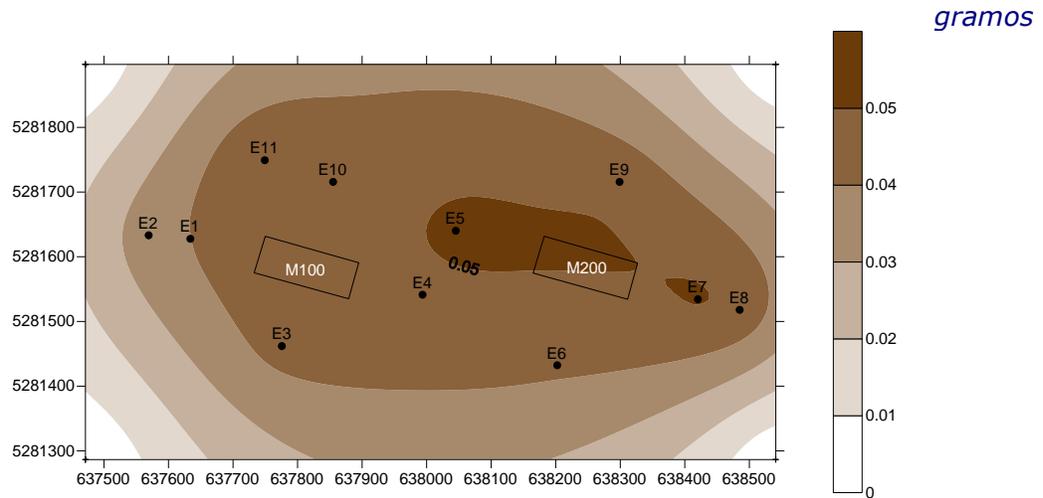
Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 093-12. Anexo IV

**FIGURA N° 26.-** Distribución de MOT en el sedimento.



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 093-12. Anexo IV

**FIGURA N° 27.- Distribución de COT en el sedimento.**



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 093-12. Anexo IV.

### 7.1.3 pH Y REDOX

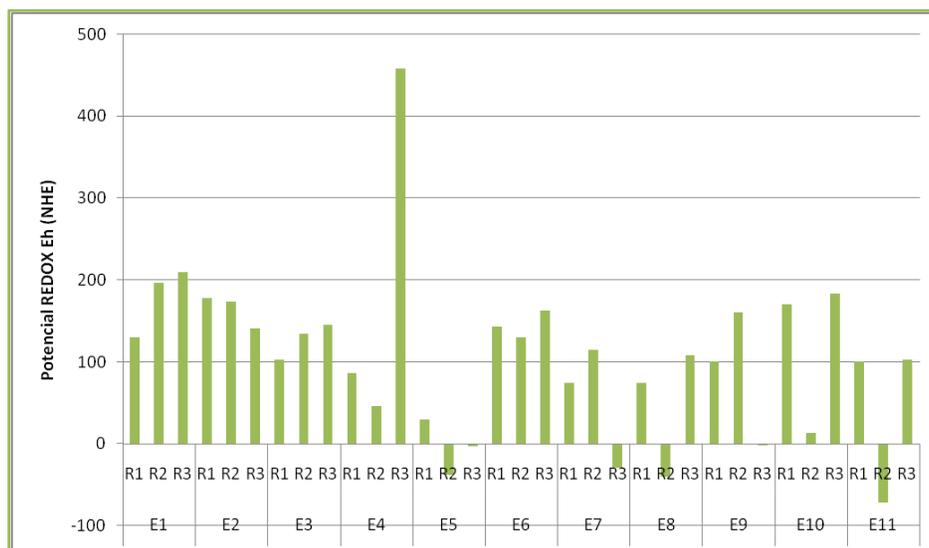
Los valores de pH obtenidos en la campaña de muestro al Centro 2 se observan en la FIGURA N°28, mientras que en la FIGURA N°29 se observan los valores del potencial Redox para cada estación. En general, los valores se encuentran entre el pH 7 al pH 8 en todas las estaciones, mientras que los valores de potencial Redox corregido exhiben valores en su mayoría positivos, en un rango desde -72-mV a 458.

**FIGURA N° 28.- pH registrados en el Centro 2 durante el estudio.**



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos in situ, datos brutos en Anexo III.

**FIGURA N° 29.-** Potencial Redox registrado en el Centro 2 durante el estudio.



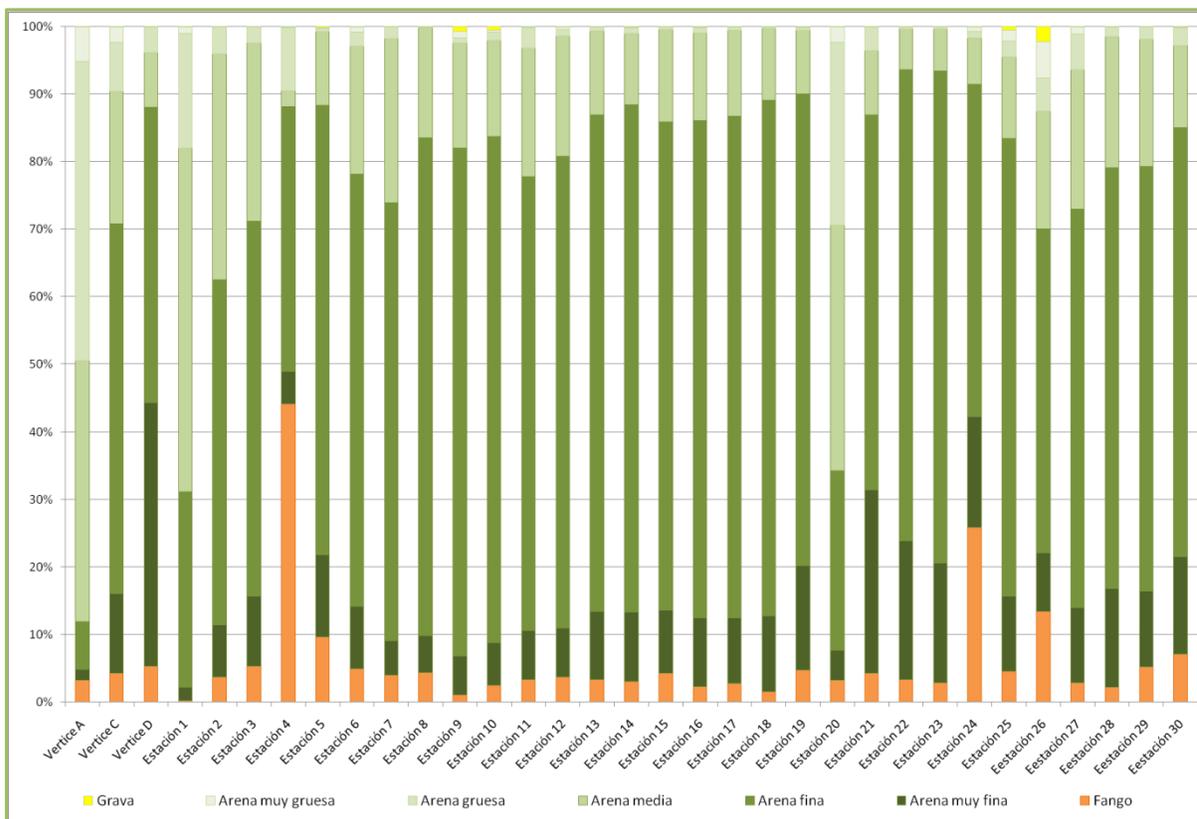
Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos in situ, datos brutos en Anexo III.

## 7.2 Caracterización sedimento según CPS

### 7.2.1 Granulometría

Las fracciones granulométricas indican que se trata de un sustrato donde predomina la Arena Fina (Phi 3) (FIGURA N°30).

**FIGURA N° 30.- Distribución porcentual de las fracciones de sedimento de acuerdo a CPS.**  
 Grava ( $\Phi -1$ ) (4-2mm); Arena muy gruesa ( $\Phi -0$ ) (2-1 mm); Arena gruesa ( $\Phi 1$ ) (1-0,5mm); Arena media ( $\Phi 2$ ) (0,5-0,25mm); Arena fina ( $\Phi 3$ ) (0,25-0,125mm); Arena muy fina ( $\Phi 4$ ) (0,125-0,062mm); Fango ( $\Phi 5$ ) (<0,062mm).



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de CPS Centro 2cuyos datos brutos se anexan en Anexo III.

### 7.2.2 pH y Redox

Los valores de pH y Redox cumplen con los límites establecidos en la R. Exe. N°3612/09; obteniendo valores cercanos a 7 y mayores a 50 mV respectivamente (Tabla N°15).

### 7.2.3 pH y Redox

Los valores de Materia Orgánica (Tabla N°16 y N°17) se mantienen cercanos al 1%, donde el rango observado corresponde a 0,9% a 2,2%

**Tabla N°15.- Valores de pH y Redox en sedimento de acuerdo a CPS.**

Estación	pH	Potencial REDOX Eh (NHE)
A	7,3	271
C	7,4	102
D	7,3	312
E1	7,3	334
E2	7,2	93
E3	7,2	129
E4	6,9	65
E5	6,8	91
E6	7,1	52
E7	7,4	81
E8	7,4	59
E9	7,6	68
E10	7,5	74
E11	7,2	161
E12	7,4	99
E13	7,5	79
E14	6,9	111
E15	7,4	98
E16	7,5	119
E17	7,3	172
E18	7,4	115
E19	7,3	133
E20	7,3	368
E21	7,2	381
E22	7,1	76
E23	7,3	89
E24	7,4	72
E25	7,4	175
E26	7,1	267
E27	7,2	86
E28	7,3	95
E29	6,9	113
E30	7,3	77

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de CPS Centro 2cuyos datos brutos se anexan en Anexo III.

**Tabla 16- Valores de Materia Orgánica Total (MOT) (%) de acuerdo a CPS.**

Estación N°	VA	VC	VD	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15
MOT (%)	1,1	0,9	0,7	0,9	1,0	1,5	1,3	1,9	1,3	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1

**Tabla 17- Valores de Materia Orgánica Total (MOT) (%) de acuerdo a CPS**

Estación N°	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30
MOT (%)	1,0	1,2	1,0	1,3	0,9	0,9	1,1	1,0	2,2	1,1	1,3	1,1	1,1	1,1	1,1

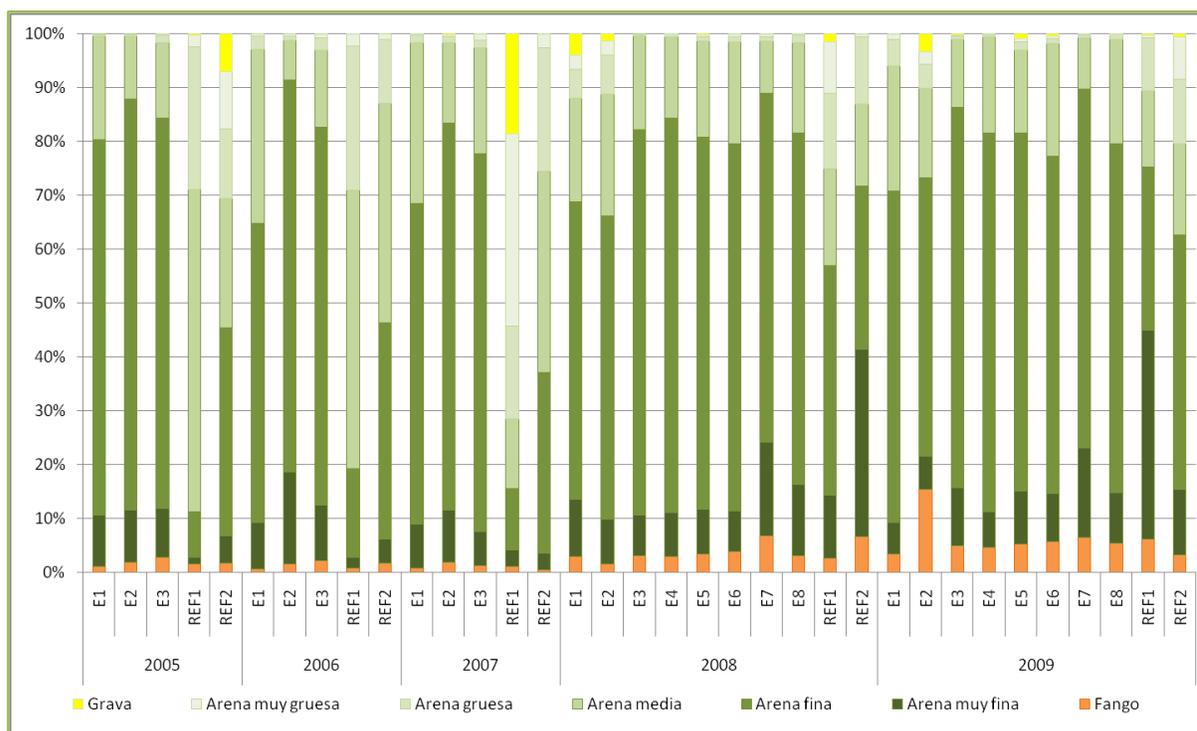
Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de CPS Centro 2cuyos datos brutos se anexan en Anexo III.

## 7.3 Caracterización sedimento según histórico de INFA

### 7.3.1 Granulometría

La FIGURA N°31 representa la granulometría obtenida de la Información Ambiental presentada en los años 2005, 2006, 2007, 2008 y 2009. En ellas se puede apreciar que no existen modificaciones sustantivas a través de los años, siendo la Arena Fina (Phi 3) la que mejor representa cada uno de los escenarios a través de los años.

**FIGURA N° 31.-** Distribución porcentual de las fracciones de sedimento de acuerdo a los Informes Ambientales (INFA). Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4) (0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm).



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informes Ambientales Centro 2, cuyos datos brutos se anexan en Anexo III.

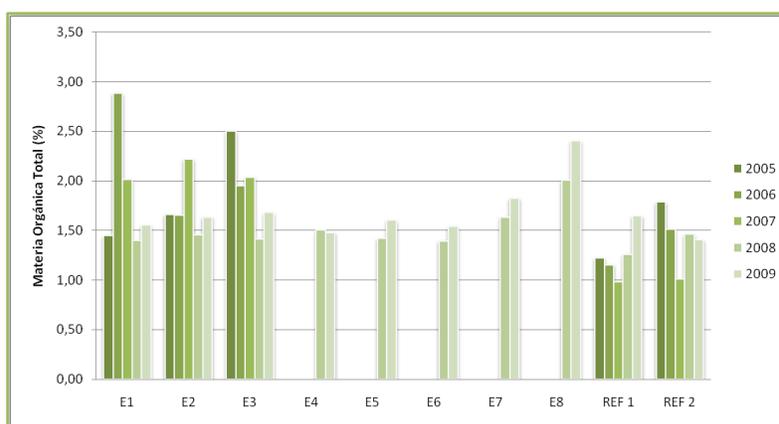
### 7.3.2 Materia orgánica total

El contenido de materia orgánica en los años no ha registrado variaciones evidentes de manera gráfica (FIGURA N°32), y sus valores han cumplido con las R. Exe. N° 3612/09.

### 7.3.3 pH Y REDOX

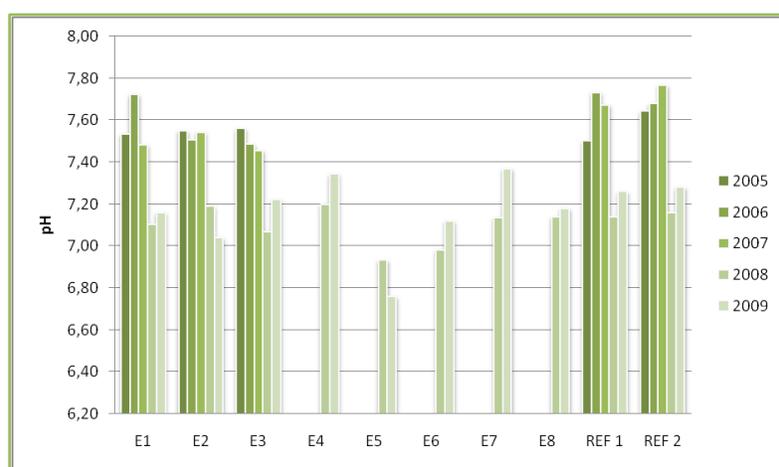
En relación a los valores de pH Y REDOX (figuras N°33 y N°34, respectivamente), estos cumplen con los valores establecidos en la R. Exe. N° 3612/09, observándose un aumento en ambas variables en los últimos años.

**FIGURA N° 32 .-** *Materia Orgánica Total (%) registrados en los Informes Ambientales.*



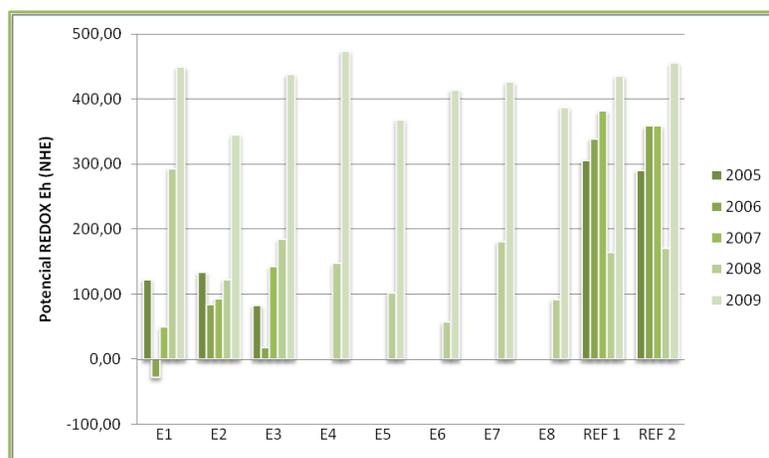
Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informes Ambientales Centro 2, cuyos datos brutos se adjuntan en el Anexo III.

**FIGURA N° 33.-** *Valores de pH registrados en los Informes Ambientales.*



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informes Ambientales Centro 2, cuyos datos brutos se adjuntan en el Anexo III.

**FIGURA N° 34.-** Valores Potencial REDOX Eh registrados en los Informes Ambientales.



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informes Ambientales Centro 2, cuyos datos brutos se adjuntan en el Anexo III.

## 7.4 Comunidades bentónicas

### 7.4.1 Caracterización macrofauna escenario actual

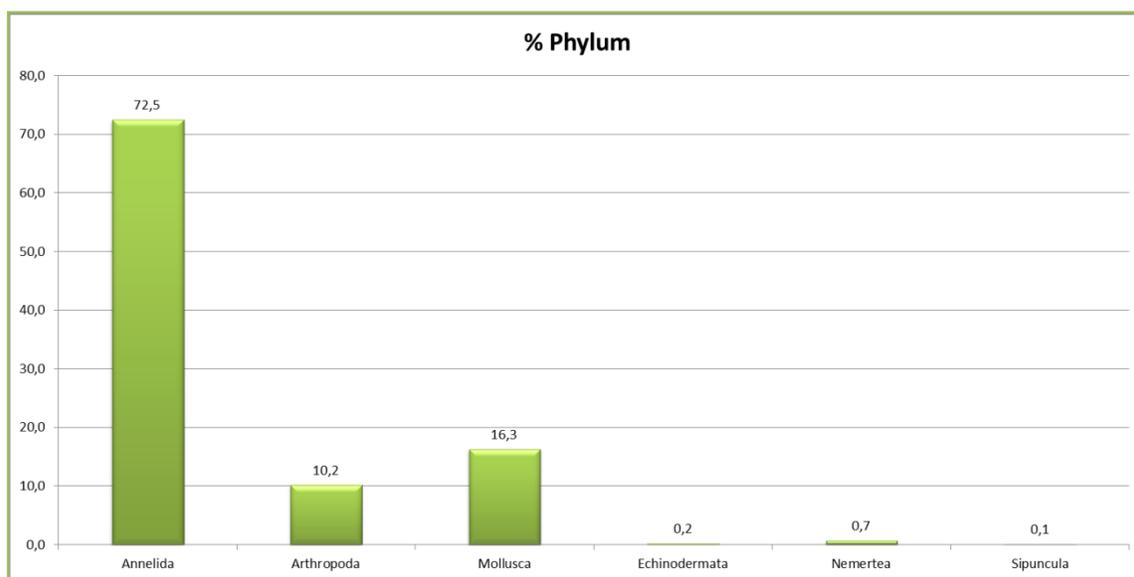
Se adjunta en el Anexo VI el Informe de Ensayo que contiene el detalle de los resultados de la composición taxonómica registrada en las muestras de sedimento, indicándose la densidad y la biomasa por estación y réplica. Por otro lado, en la Tabla N°18 se presentan los índices comunitarios calculados.

Se determinaron 53 taxa, pertenecientes a 6 Phyla: Annelida (72,5%), Mollusca (16,3%), Arthropoda (10,2%), Nemertea (0,7%), Echinodermata (0,2%) y Sipuncula (0,1%) (Ver FIGURA N°35). Los Phyla mejor representados en cuanto a riqueza de especies fueron Annelida (20 taxa), Mollusca (15 taxa) y Arthropoda (14 taxa); le siguen Echinodermata (3 taxa), Nemertea y Sipuncula (estos dos últimos con 1 taxón cada uno).

Considerando todas las muestras analizadas y la determinación taxonómica hasta nivel de familia, el taxón predominante en términos de abundancia correspondió a Cirratulidae, representada mayoritariamente por la especie *Cirriformia* sp., con una abundancia porcentual del 49,9% (ver FIGURA N°36). La especie mencionada se concentró en altas abundancias en las estaciones T5, T8, T10 y T11, registrándose 1360 ind/m<sup>2</sup>, 1050 ind/m<sup>2</sup>, 1290 ind/m<sup>2</sup> y 1150 ind/m<sup>2</sup>, respectivamente.

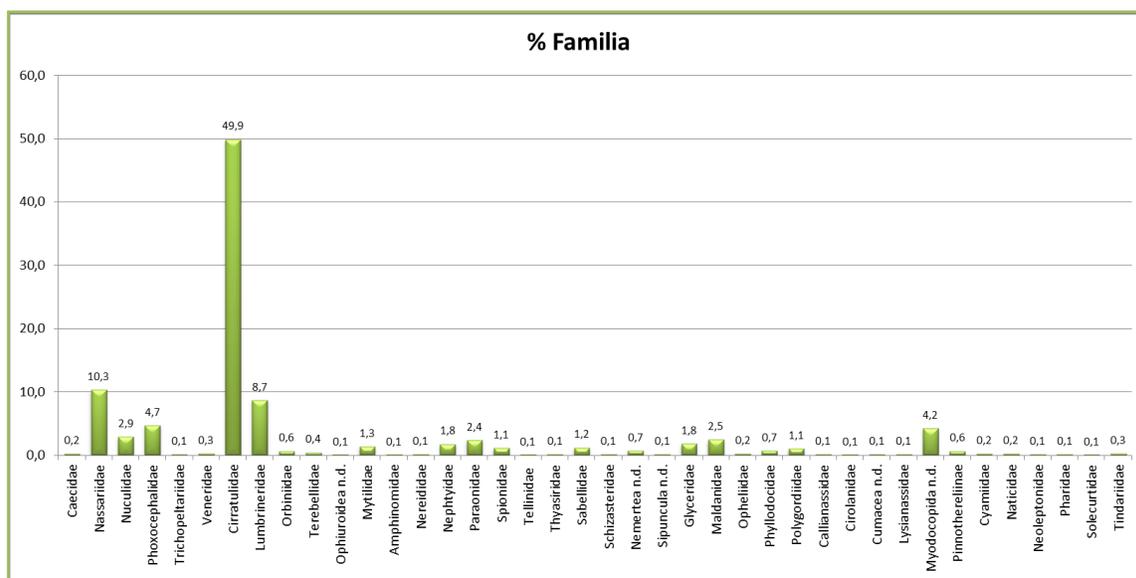
Con respecto a la Riqueza específica, los valores más elevados se presentaron en las estaciones T1 y T2, observándose hasta 17 taxa en las réplicas T1-R2 y T2-R1. La menor cantidad de especies se detectó en T4-R2 (4 taxa) (ver Tabla N°18). Por otro lado, la mayor abundancia se presentó en la estación T5, con 2200 ind/m<sup>2</sup>, dado mayoritariamente por *Cirriformia* sp. Referente al índice de Diversidad, los mayores valores se registraron en las estaciones T1 y T2, exhibiéndose el mayor valor individual en la réplica 2 de T1 ( $H'=3,694$ ), (ver Tabla N°18). El menor valor individual de Diversidad se asocia a la estación T10 (réplica 1), registrándose un  $H'=0,833$ . El índice de Dominancia mostró su máximo valor en la réplica 1 de la estación T10 ( $D'=0,762$ ), fenómeno dado por la predominancia de *Cirriformia* sp. (ver Tabla N°18). Los valores más bajos de dominancia se relacionan con las estaciones con mayor diversidad, T1 y T2 ( $D'<0,2$ ). Por último, la Equidad registra su máximo valor en la réplica 3 de la estación T2 ( $J'=0,922$ ), mientras que su valor más bajo se observa en la réplica 1 de la estación T10 ( $J'=0,322$ ) (ver Tabla N°18).

**FIGURA N° 35.- Abundancia porcentual a nivel de Phylum.**



Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Ensayo Centro 2, adjunto en Anexo IV.

**FIGURA N° 36.- Abundancia porcentual hasta nivel de Familia.**



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Ensayo Centro 2, adjunto en Anexo IV.

**Tabla N°18.- Índices Comunitarios (Riqueza de especies, Abundancia, Índice de Diversidad, Índice de Dominancia e Índice de Equidad) en cada una de las réplicas.**

Código de muestra	Riqueza (N° spp.)	Abundancia (ind./m <sup>2</sup> )	Índice de Diversidad (H') (log <sub>2</sub> )	Índice de Dominancia (D') (Lambda')	Índice de Equidad (J')
T1-R1	12	320	3,053	0,167	0,851
T1-R2	17	360	3,694	0,099	0,904
T1-R3	16	490	3,063	0,193	0,766
T2-R1	17	470	3,484	0,126	0,852
T2-R2	12	550	2,951	0,165	0,823
T2-R3	16	400	3,686	0,091	0,922
T3-R1	5	70	2,128	0,255	0,917
T3-R2	18	640	3,567	0,124	0,856
T3-R3	15	610	3,073	0,171	0,787
T4-R1	9	410	2,088	0,361	0,659
T4-R2	4	190	1,457	0,454	0,729
T4-R3	8	130	2,719	0,177	0,906
T5-R1	13	1150	2,112	0,412	0,571
T5-R2	12	510	2,710	0,254	0,756
T5-R3	6	540	1,385	0,564	0,536
T6-R1	8	340	1,941	0,408	0,647
T6-R2	8	190	2,524	0,231	0,841
T6-R3	12	390	2,759	0,213	0,770
T7-R1	8	330	2,420	0,258	0,807
T7-R2	10	310	2,414	0,301	0,727
T7-R3	7	190	2,313	0,254	0,824
T8-R1	10	590	1,713	0,518	0,516
T8-R2	6	230	1,892	0,351	0,732
T8-R3	9	610	1,123	0,702	0,354
T9-R1	5	170	1,614	0,450	0,695
T9-R2	7	320	2,039	0,326	0,726
T9-R3	7	370	2,314	0,251	0,824
T10-R1	6	620	0,833	0,762	0,322
T10-R2	5	320	1,323	0,545	0,570
T10-R3	5	660	1,111	0,636	0,479
T11-R1	10	700	1,848	0,454	0,556
T11-R2	10	530	1,999	0,414	0,602
T11-R3	13	550	2,079	0,442	0,562

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Ensayo Centro 2, adjunto en Anexo IV.

## 7.4.2 Índice AMBI

Para evaluar el estado de calidad ambiental de los fondos de sustrato, hemos utilizado el índice AMBI desarrollado por Borja *et al.* (2000). Esta clasificación se basa en la sensibilidad de la macrofauna a un gradiente creciente de estrés, dividiendo a los organismos en cinco grupos.

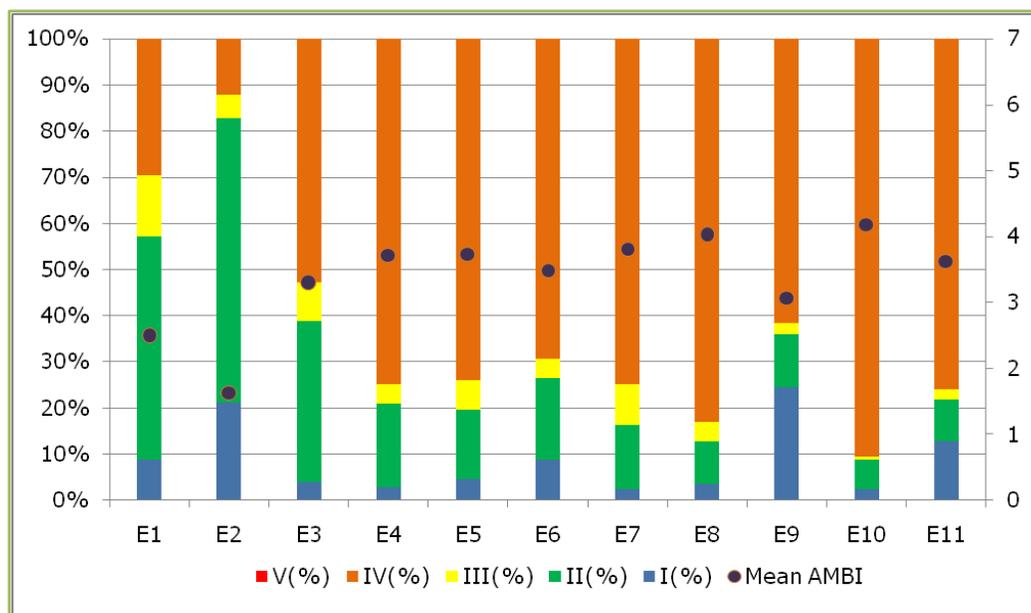
Se ha realizado el cálculo del Índice de Calidad Ambiental (AMBI), mediante éste logramos apreciar que hay estaciones que resultan perturbadas ligeramente (estaciones 1, 2, 3 y 9), esto se debe al gran porcentaje de especies incluidas en el grupo II, y estaciones perturbadas moderadamente (estaciones 4, 5, 6, 7, 8 y 10), lo cual se debe al gran porcentaje de especies incluidas en el grupo IV (FIGURA N°37). No se apreciaron especies dentro del grupo V.

**Tabla N°19.- Índice de calidad ambiental (AMBI) calculado.**

Estaciones	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)	V (%)	Promedio AMBI	BI de promedio AMBI	Tipo de perturbación
Estación 1	8,9	48,2	13,4	29,5	0	2,489	2	Levemente perturbado
Estación 2	21,3	61,7	5	12,1	0	1,633	2	Levemente perturbado
Estación 3	3,9	34,9	8,5	52,7	0	3,3	2	Levemente perturbado
Estación 4	2,8	18,1	4,2	75	0	3,723	3	Moderadamente perturbado
Estación 5	4,6	15,1	6,4	73,9	0	3,739	3	Moderadamente perturbado
Estación 6	8,8	17,6	4,4	69,2	0	3,493	3	Moderadamente perturbado
Estación 7	2,5	13,8	8,8	75	0	3,816	3	Moderadamente perturbado
Estación 8	3,5	9,2	4,2	83,1	0	4,02	3	Moderadamente perturbado
Estación 9	24,4	11,6	2,3	61,6	0	3,073	2	Levemente perturbado
Estación 10	2,5	6,3	0,6	90,6	0	4,189	3	Moderadamente perturbado
Promedio	8,74	22,32	5,45	63,50	0,00	3,37	2,64	

*Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Ensayo Centro 2, utilizando el programa AMBI versión 5.0, cuyos datos brutos se encuentran en el Anexo III.*

**FIGURA N° 37.-** Porcentajes de los diferentes grupos ecológicos de las comunidades del sedimento en el Centro 2 y el índice biótico resultante para cada una de ellas.

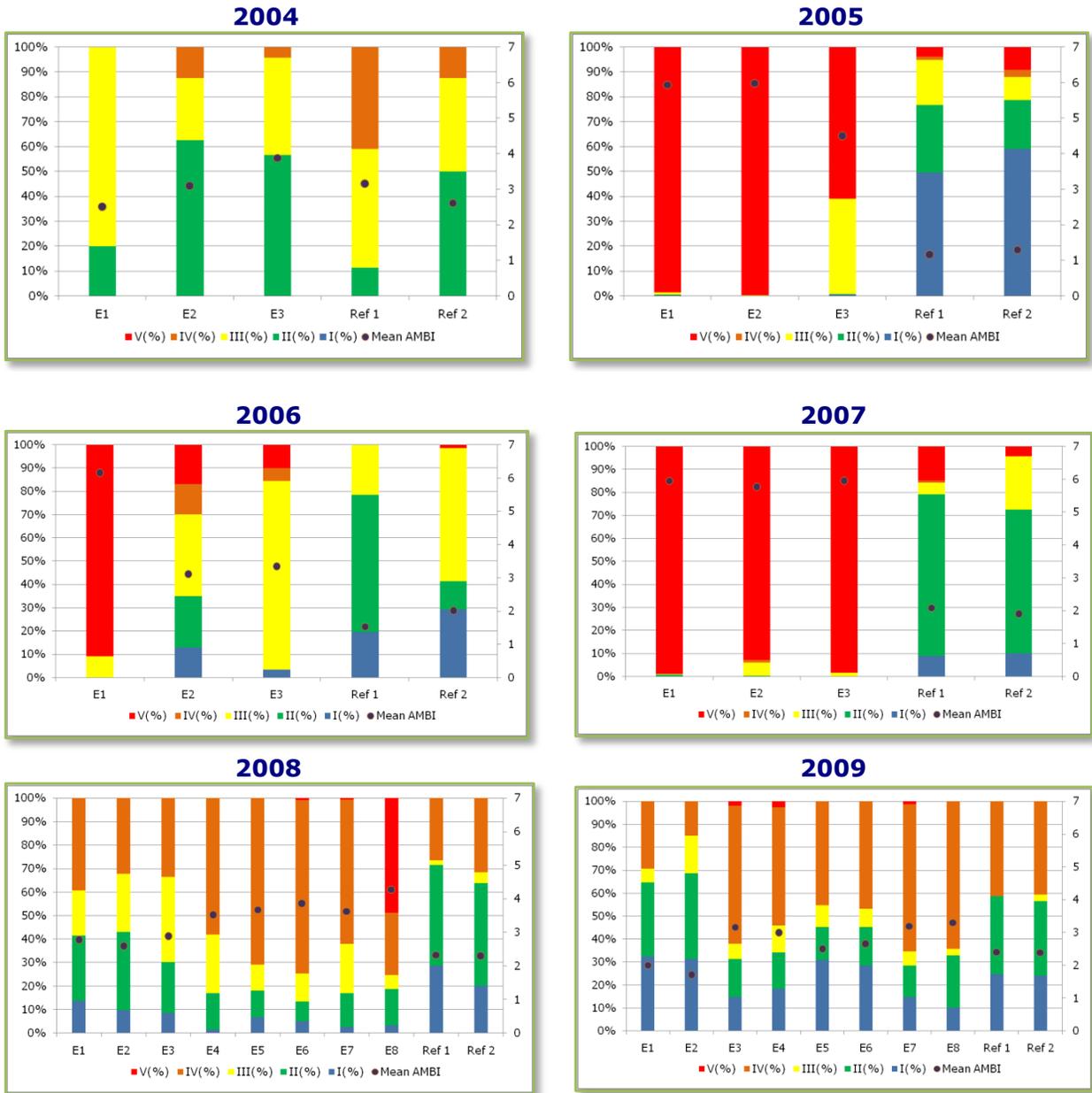


Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Ensayo Centro 2, utilizando el programa AMBI versión 5.0, cuyos datos brutos se encuentran en el Anexo III.

## 7.5 Evolución o cambio histórico (INFA)

Para poder efectuar un análisis de la macrofauna se calculó el Índice AMBI para todos los informes ambientales. En ellos se logró apreciar que la evolución de los sedimentos en relación a la composición de especies de grupos IV ha ido en aumento (FIGURA N°38), mientras que las especies del grupo V han disminuido; lo cual coincide con la ausencia de estas especies encontradas en el estudio actual. El índice biótico resultante ha superado el valor 4, clasificando al sedimento como moderadamente perturbado.

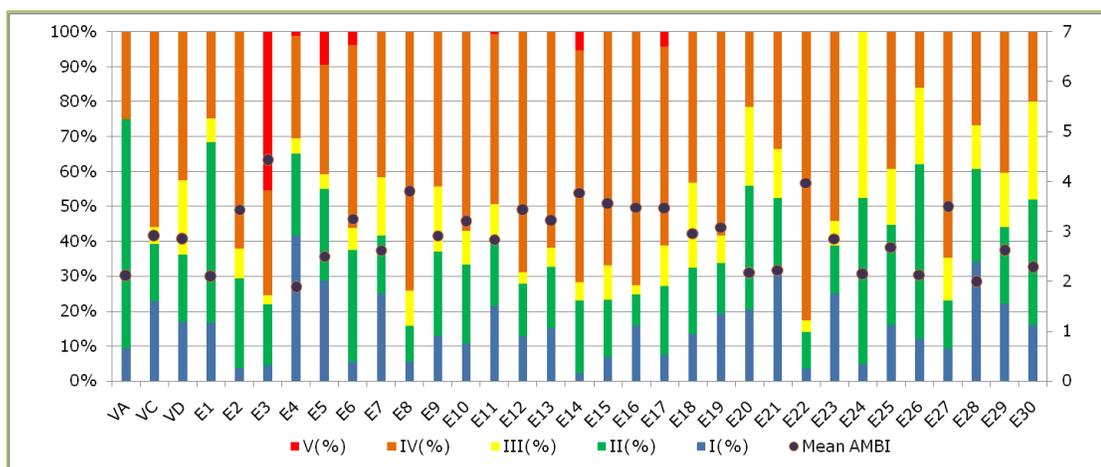
**FIGURA N° 38a.-** Porcentajes de los diferentes grupos ecológicos de las comunidades del sedimento en INFA y CPS del Centro 2 y el índice biótico resultante para cada una de ellas.



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Información Ambiental (INFA) Centro 2, utilizando el programa AMBI versión 5.0, cuyos datos brutos se encuentran en el Anexo III.

**FIGURA N° 38b.-** Porcentajes de los diferentes grupos ecológicos de las comunidades del sedimento en INFA y CPS del Centro 2 y el índice biótico resultante para cada una de ellas.

**CPS 2012**



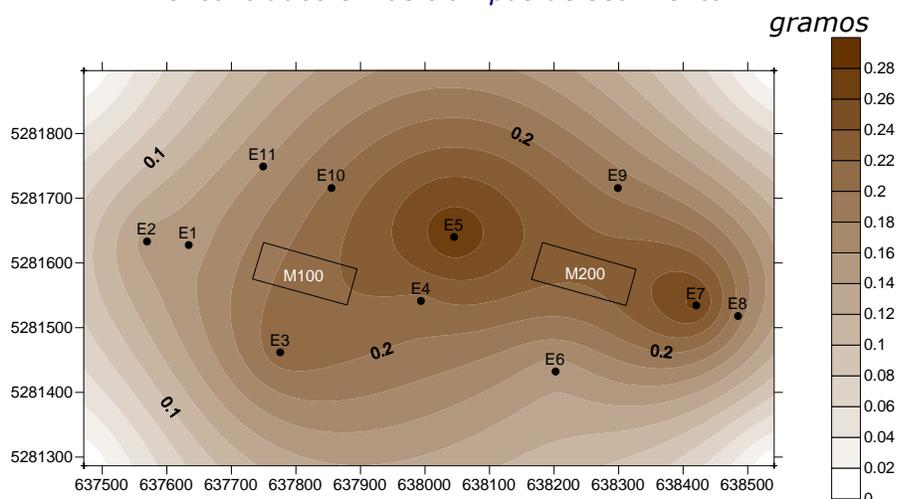
Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de CPS Centro 2, utilizando el programa AMBI versión 5.0, cuyos datos brutos se encuentran en el Anexo III.

**7.6 Trampas de sedimento**

Se obtuvieron mapas temáticos de la distribución de Materia Orgánica Total (g) y Carbono Orgánico Total (figuras N°39 y N°40 respectivamente), en relación a los valores encontrados en las trampas de sedimentos dispuestas en cada estación de muestreo.

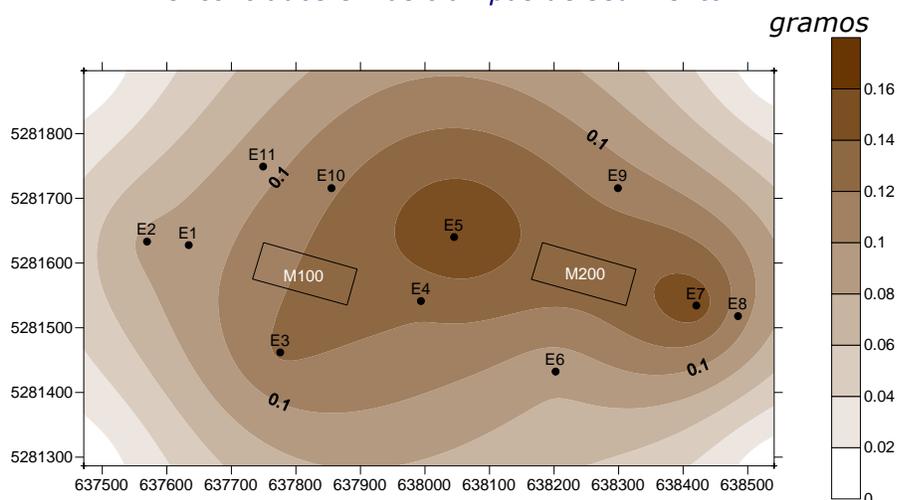
En estas figuras, es posible apreciar que los valores mayores se concentran en las estaciones 5 y 7 en ambos casos, situación similar a los resultados del muestreo de sedimentos.

**FIGURA N° 39.-** Distribución de Materia Orgánica Total en relación a los valores encontrados en las trampas de sedimento.



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 094-12. Anexo IV.

**FIGURA N° 40.-** Distribución de Carbono orgánico Total en relación a los valores encontrados en las trampas de sedimento.



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 094-12. Anexo IV.

## 7.7 SIMULACIONES DEPOMOD CENTRO 2

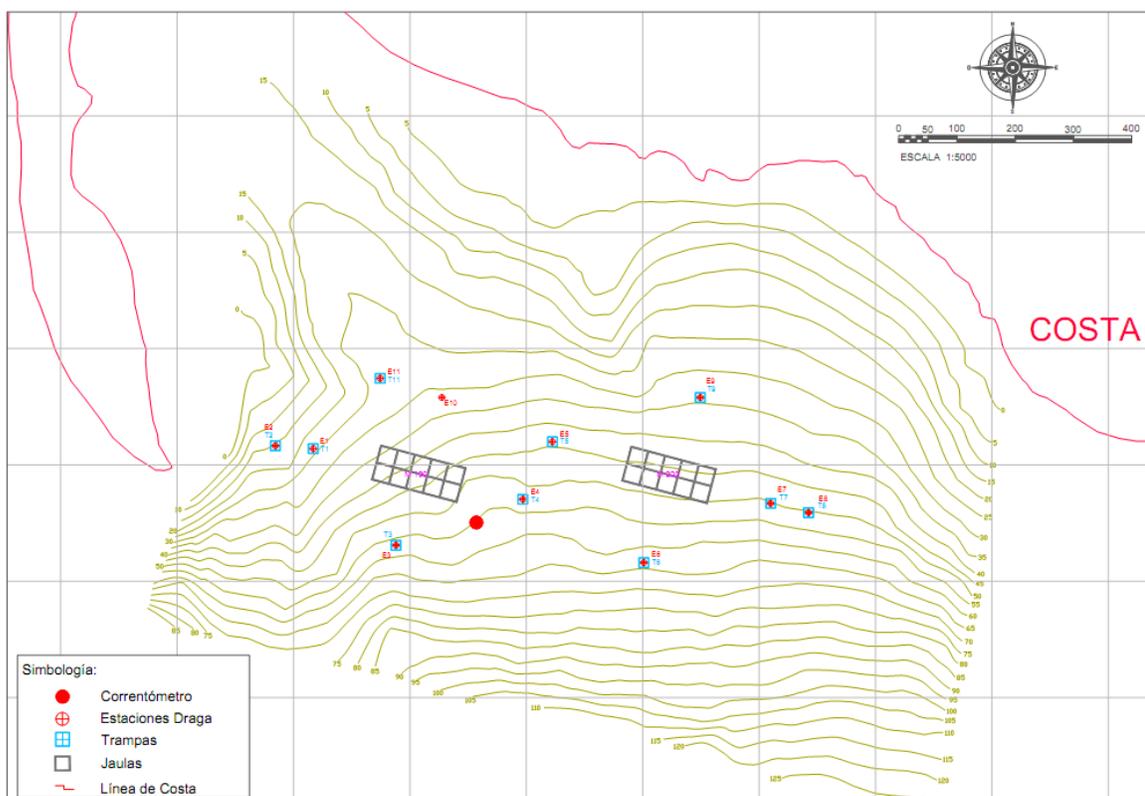
De los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas al Centro 2, se ha escogido el escenario de simulación que mejor representaría el proceso de dispersión de material particulado en el fondo marino en el área de estudio. Esta simulación tiene como código res0B1\_c2, la cual se puede consultar en detalle en los Anexo VI de este informe. Esta simulación considera valores por defecto del modelo, información de corrientes durante el

periodo de estudio de este centro (11días), pérdidas de alimento del 5% y velocidades de sedimentación de fecas variable. Como se observa, se ha simulado con estas condiciones con el objeto además de intervenir lo menos posible las salidas del modelo, de tal modo que la efectividad de la modelación se base en términos de su actual uso en la industria acuícola de nuestro país. A continuación se exhibe el proceso de simulación llevado a cabo para este centro.

### 7.7.1 Módulo generador de la grilla

Este módulo básicamente incorpora, las profundidades del sector, coordenadas de ubicación de las jaulas y coordenadas de las estaciones de muestreo dispuestas en el área de estudio.

**FIGURA N° 41.-** Batimetría y ubicación de trampas de sedimento, extracción de muestras con draga y ubicación de la instalación del correntómetro Centro 2



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Batimetría presentada en GPS y Muestreo realizado al Centro 2. Se anexan datos crudos de Batimetría en Anexo III.

Dentro de la información utilizada para generar la grilla que representa la topografía submarina del Centro 2, puede mencionarse que la batimetría del sector presenta una distribución relativamente homogénea de las isobatas a partir de los 30 m, con una pendiente moderada a fuerte que va desde Noroeste a Sureste. La distribución de las isobatas en el área cercana a la costa muestra una quebrada y una plataforma entre 10 y 15 m. Puede observarse además que la profundidad media de sitio es de aproximadamente unos 45 a 50 metros, sin accidentes importantes que puedan inducir a una acumulación de residuos en algún sector de la grilla. Además, de la figura anterior puede desprenderse la existencia de una pequeña depresión que tiene una orientación Noroeste – Suroeste.

En lo particular, la grilla principal se compuso de 99x86 celdas, y la minor grid fue compuesta de 98x85 celdas, ambas con tamaños de 14.7 metros.

#### **7.7.1.1 Módulo de trayectoria de la partícula**

El módulo de trayectoria requiere como información de entrada el balance de masa del alimento suministrado durante el período de evaluación, velocidad de sedimentación de pellets y fecas, datos de corrientes, factores de dispersión, altura de marea, paso de tiempo entre los registros de corrientes, tiempo de evaluación de la trayectoria de la partícula, longitud de la información de corrientes y dimensiones de las estructuras en términos de ancho, largo y profundidad de las jaulas que componen el cultivo.

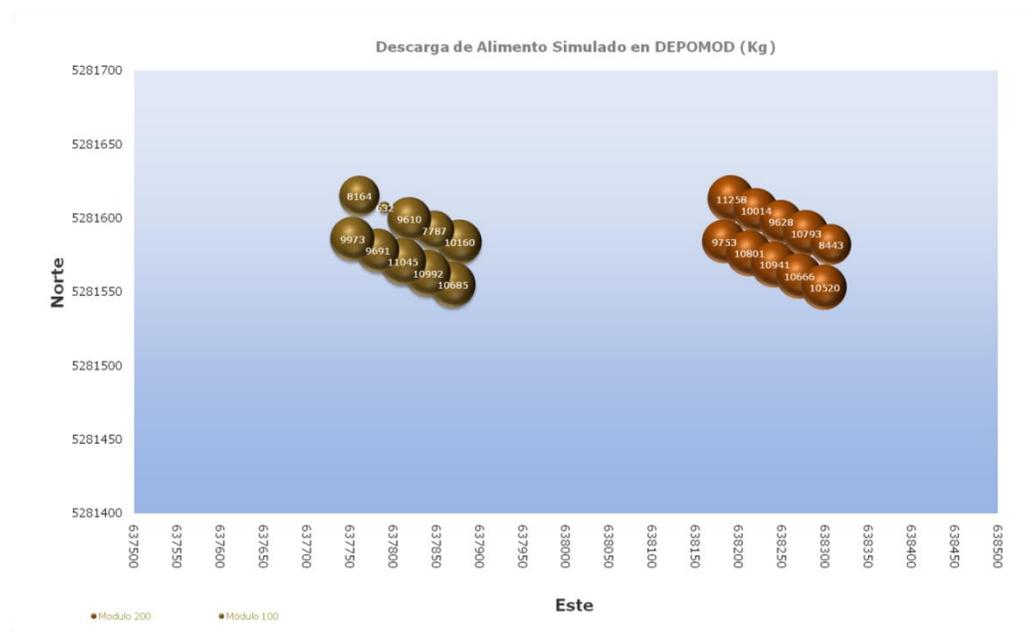
En detalle, el centro de cultivo 2 cuenta con 20 jaulas separadas en dos módulos de 10 jaulas cada uno con dimensiones de 30x30x18 metros. Dado que las tasas de alimentación suministrada a cada jaula durante el período de evaluación es una de las principales variables, su detalle se presenta en la Tabla N°20.

**Tabla N°20.-Valores de producción utilizados durante el período de simulación Centro 2**

		<b>Módulo 100</b>									
		Jaula 101	Jaula 102	Jaula 103	Jaula 104	Jaula 105	Jaula 106	Jaula 107	Jaula 108	Jaula 109	Jaula 110
<b>Fecha</b>		Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día
1	2012-9-26	636	1.117	625	816	573	1.167	632	1.082	622	1.133
2	2012-9-27	1.508	1.482	1.616	1.459	1.604	1.507		1.433	1.518	1.494
3	2012-9-28	1.310	1.079	1.305	991	1.320	1.034		928	1.283	1.076
4	2012-9-29	1.397	825	1.229	1.233	826	857		758	887	789
5	2012-9-30	722	654	665	744	675	586		330	463	435
6	2012-1-1	831	1.414	1.101	1.409	940	1.504		1.122	144	1.046
7	2012-1-2	708	714	481	713	316	722		550	233	573
8	2012-1-3	457	760	765	829	775	880		745	231	776
9	2012-1-4	870	1.067		1.169	874	1.183		1.144	981	1.010
10	2012-1-5	1.001	821		846	993	821		798	1.090	853
11	2012-1-6	720	752		783	714	784		801	712	788
		10160	10685	7787	10992	9610	11045	632	9691	8164	9973
		<b>Módulo 200</b>									
		Jaula 201	Jaula 202	Jaula 203	Jaula 204	Jaula 205	Jaula 206	Jaula 207	Jaula 208	Jaula 209	Jaula 210
<b>Fecha</b>		Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día
1	Kg/día	1.019	679	693	761	840	780	1.026	1.085	748	1.091
2	2012-9-27	1.226	1.211	1.124	1.305	1.024	1.350	1.267	1.297	1.275	1.418
3	2012-9-28	655	761	771	817	795	824	786	804	653	839
4	2012-9-29	977	688	734	945	615	910	829	811	524	591
5	2012-9-30	927	954	1.081	1.090	887	1.034	977	852	692	598
6	2012-1-1	1.219	1.159	1.114	1.393	1.107	1.183	1.118	1.184	836	869
7	2012-1-2	945	947	741	931	949	1.205	966	1.032	711	1.314
8	2012-1-3	1.126	602	860	802	702	852	893	850	517	1.014
9	2012-1-4	1.298	1.098	1.070	1.057	1.063	1.057	1.166	1.039	953	1.028
10	2012-1-5	1.130	963	1.069	947	1.012	933	1.029	957	996	990
11	2012-1-6	736	691	757	753	634	813	736	755	538	768
		11258	9753	10014	10801	9628	10941	10793	10666	8443	10520

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos proporcionados por el productor.

**FIGURA N° 42.-** Gráfica del alimento suministrado al Centro 2 durante el período (11 días)



Fuente: Elaborado a partir de información de producción proporcionada por el productor que participa del estudio.

A partir de los datos de alimentación presentados de la figura anterior, puede observarse que ambos módulos presentan una tasa de alimentación similar al módulo de 200, por lo que esperaríamos que la pluma de dispersión de material orgánico sea similar en cada una de las zonas que alojan los módulos. El módulo 100 por su parte, recibió 88 toneladas durante los 11 días en que se desarrolló la investigación, equivalente a una tasa promedio de 8.873 (kg de alimento/día). Por otro lado, el módulo 200 registró una alimentación de 102 toneladas durante el mismo período, lo cual genera un flujo de alimento diario de 10,28 toneladas de alimento/día. A partir de los datos de alimentación proporcionados al cultivo durante el período de estudio, se esperaríamos que la pluma de dispersión de material orgánico concentre sus valores en ambos sectores del cultivo (M100 y M200).

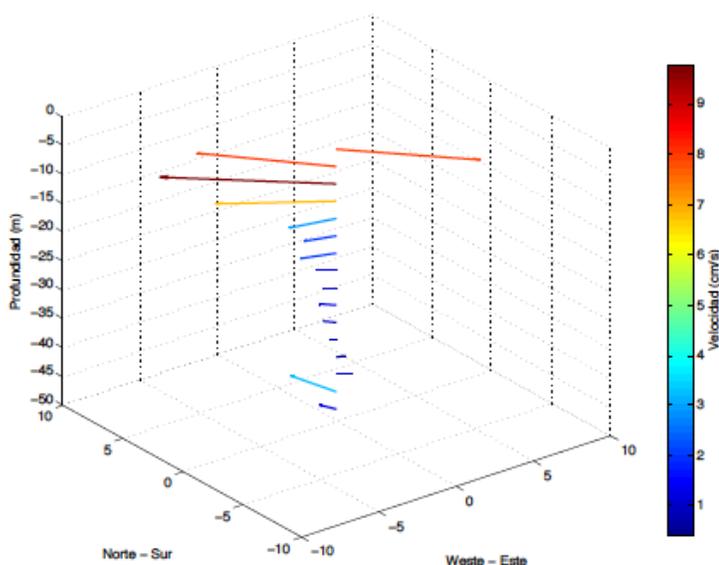
Continuando con la descripción de los parámetros utilizados en el módulo de trayectoria, se han incorporado 5 capas de corrientes para representar la dinámica del sector durante el período de estudio. Los criterios y métodos utilizados para definir las capas de corrientes, se presentan en los Antecedentes del Inicio del Informe. Al respecto, podemos mencionar que las magnitudes medias de la velocidad de la corriente presentan valores altos en la superficie, junto con una alta variabilidad, lo cual se refleja en los valores de desviación

estándar. Los mayores valores medios de magnitud se presentaron en superficie, con 30,8 y 27,5 cm/s; los valores más bajos presentaron bajo los 18 m de profundidad. El promedio de la magnitud de la velocidad en la columna de agua es de 13,3 cm/s, y su desviación estándar es de 8,3 unidades.

Por otro lado, la mayor frecuencia relativa de los datos registrados, se encontró en el rango correspondiente a los 5,1 a 10,0 cm/s. Las magnitudes sobre 30 cm/s se observan principalmente en superficie (0 a 9 m). En la capa profunda la magnitud presenta mayor frecuencia en los rangos menores a 15,0 cm/s.

Se observó que el flujo tiene, en forma general, una tendencia predominante hacia la dirección Oeste (17,0 %), preferentemente en toda la columna de agua, seguida por la dirección Noroeste (15,5 %). En base a los datos, es posible establecer una predominancia relativa de las direcciones asociadas al cuarto cuadrante direccional.

**FIGURA N° 43.-** Gráfico 3D de vector corrientes promedio Centro 2



*Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012)*

Del gráfico anterior se desprende que los vectores promedios de las corrientes presentan mayores magnitudes en las capas superiores, disminuyendo su intensidad a medida que aumenta la profundidad. En la parte superior, la capa 1 extraída se ofrece como una capa distinta a las demás, debido a su magnitud y distinta orientación.

Junto a lo anterior, y utilizando el mismo criterio de selección de capas para realizar la simulación el Centro 2, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla N°21.-Capas de corrientes utilizadas en la simulación realizada al Centro 2**

<b>Capas DEPOMOD</b>	<b>Capas de medición de corrientes</b>
Capa 1	Capa 1
Capa 2	Capa 2 a 4
Capa 3	Capa 5 a 6
Capa 4	Capa 8 a 14
Capa 5	Capa 15 a 16

*Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012)*

Dentro de los valores utilizados para simular la dispersión de los residuos en el fondo marino a partir del modelo DEPOMOD, los parámetros que se utilizaron para aquello fueron los siguientes:

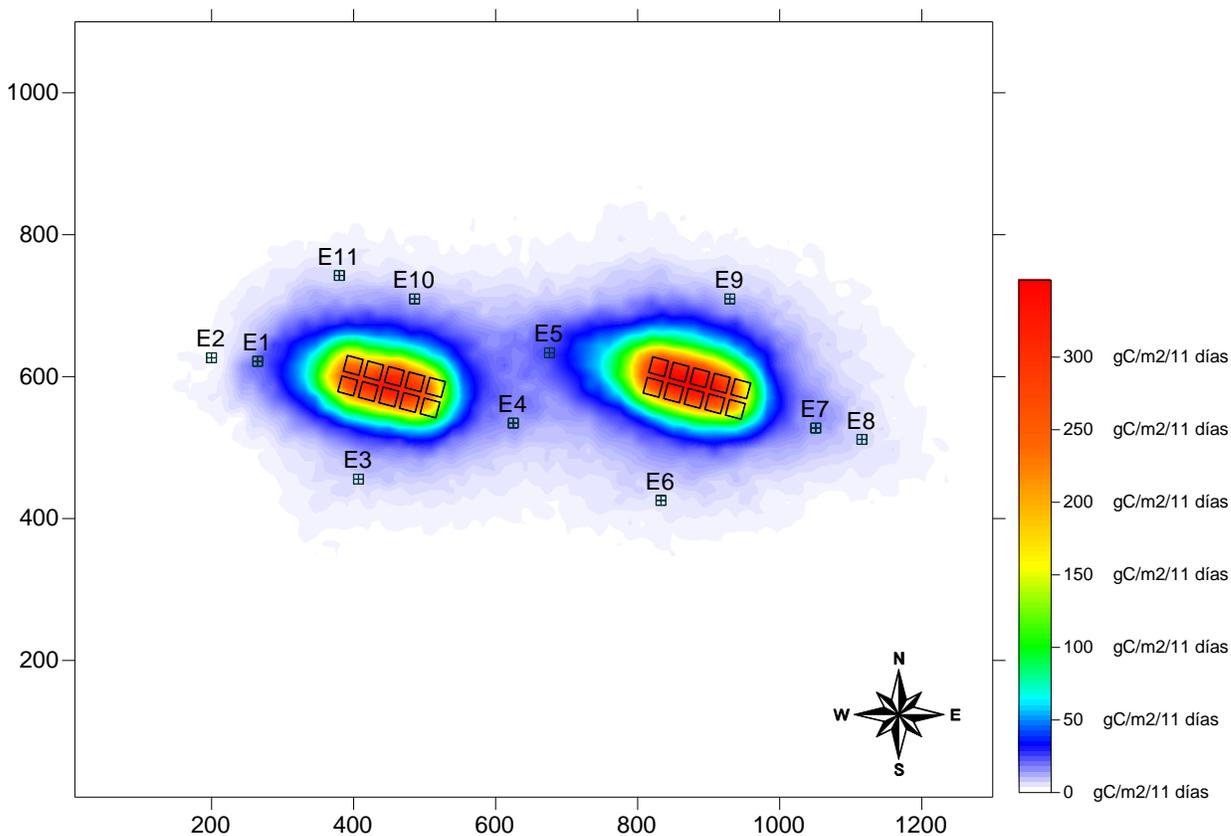
**Tabla N°22.-Parámetros de entrada al modelo del Centro 2.**

<b>Parámetros de Simulación Centro 2</b>		
	Unidad	
Generación de la Grilla		
Mayor Grid	m	99x86
Mayor Grid Resolución de la Celda	m	14.7m
Minor Grid	m	98x85
Minor Grid Resolución de la Celda	m	14.7m
Fuente de la Batimetría		CPS
Número de Módulos	Unidades	2
Número de Jaulas Por Módulo	Unidades	10
Número Total de Jaulas del Cultivo	Unidades	20
Trayectoria de Partícula	Unidad	
Contenido de Agua en el Alimento	%	9
Digestibilidad	%	85
Porcentaje de Alimento no Consumido	%	5
Porcentaje de Carbono como Fecas	%	30
Número de Dietas Suministradas al Cultivo	Unidades	1
Tamaño del Pellets del Alimento Entregado	mm	12
Velocidad de Hundimiento del Pellets Proporcionado	m/s	0.152
Tamaño de la Fecas	mm	1 mm
Velocidad de Hundimiento de las Fecas	m/s	0.032 ±0.01
Número de Partículas Simuladas	N°	15
Tipo de Correntómetro		ADCP (Nortek, 600 KHz)
Número de Capas Utilizadas para la Simulación	Unidades	5
Profundidades de las Capas de Corrientes	m	51.5-45.5-36.5-21.5-8.0
Profundidad total del Punto de Fondeo del Correntómetro	m	55
Longitud de los datos de Corrientes	Unidades	1440
Paso del tiempo de los datos de Corrientes	s	600
Altura media de la Marea	m	3
Evaluación de la exactitud de la trayectoria	s	60
Coeficiente de Dispersión Dirección Horizontal x (Kx)	m <sup>2</sup>	0,100
Coeficiente de Dispersión Dirección Horizontal y (Ky)	m <sup>2</sup>	0,100
Coeficiente de Dispersión Dirección Vertical (Kz)	m <sup>2</sup>	0,001
Periodo de tiempo utilizado para la Simulación	días	11
Alimento Entregado durante el periodo de estudio	Kg/día	487608
Tipo de Jaula	r-c	Rectangular
Largo de cada Jaula	m	30
Ancho de cada Jaula	m	30
Profundidad de cada Jaula	m	18
Resuspensión		
Loops para corridas del modelo	N°	5
Modelo de Resuspensión	Estado	Off
Unidad de Flujo para la Salida del Modelo		g C/m <sup>2</sup>
Modelo de Producción Primaria		Off
Utilización de Optimizador de Memoria		Off

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012)

Una vez incorporados todos los parámetros al modelo DEPOMOD, los resultados de la simulación para el Centro 2 fueron los siguientes:

**FIGURA N° 44.-** Mapa de depositación de flujo de carbono orgánico total (COT) en el fondo marino del Centro 2



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012)

En la figura anterior es posible visualizar claramente que los máximos valores se concentran relativamente homogéneos alrededor de las balsas jaulas.

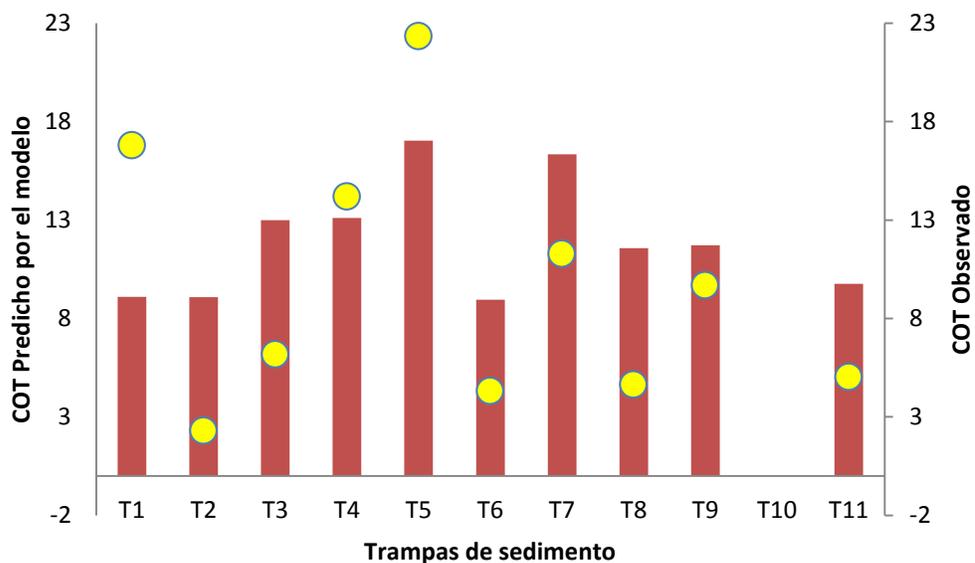
A partir de la simulación, los valores máximos registrados por la simulación durante el período de evaluación del modelo, fue de 352,9 (gC/m<sup>2</sup>/11días) y su punto se ubicó en la coordenada 880.6E y 584.6N. En particular, para este caso al parecer el flujo de material orgánico bajo las balsas jaulas pareciera ser muy similar, sin embargo, el máximo registrado en el sector del módulo 100 (módulo que se encuentra al Oeste), es de 335,26 (g/m<sup>2</sup>/11días), y se ubica en la coordenada 451.4E y 584.6N. A partir de las diferencias en los máximos registrados bajo un módulo y otro, podría inferirse que el M100 presenta mejores condiciones dispersivas que el módulo M200.

Los valores obtenidos de flujo de carbono orgánico en las trampas de sedimento dispuestas en el Centro 2, fueron los siguientes:

**Tabla N°23.-Capas de corrientes utilizadas en la simulación realizada al Centro 2**

Trampa	COT (g/m <sup>2</sup> )	
	Valor Observado en las trampas	Valor Predicho por el Modelo
T1	9,1	16,8
T2	9,1	2,3
T3	13,0	6,2
T4	13,1	14,2
T5	17,0	22,3
T6	8,9	4,3
T7	16,3	11,3
T8	11,6	4,6
T9	11,7	9,7
T10	-	-
T11	9,8	5,0

- Trampa extraviada.

**FIGURA N° 45.- Valor observado v/s valor predicho por el modelo (promedios)**

A partir de la comparación de los resultados obtenidos por el modelo DEPOMOD y un tamaño de muestra  $n=10$  (11 estaciones y una trampa extraviada), se hace difícil encontrar una relación entre los valores simulados y los valores observados; sin embargo, si

consideráramos los valores encontrados en la trampa T1 como *outliers*, sin duda obtendríamos una alta correlación entre lo predicho y lo observado en las trampas de sedimento y los valores predichos.

Los detalles de los valores de campo para cada una de las trampas dispuestas en el Centro 2 y un extensivo análisis a cada una de las simulaciones realizadas se encuentran respaldados en el Anexo VI.

## **8 CAPITULO III- CENTRO 3**

### **8.1 Caracterización sedimento escenario actual**

#### **8.1.1 Granulometría**

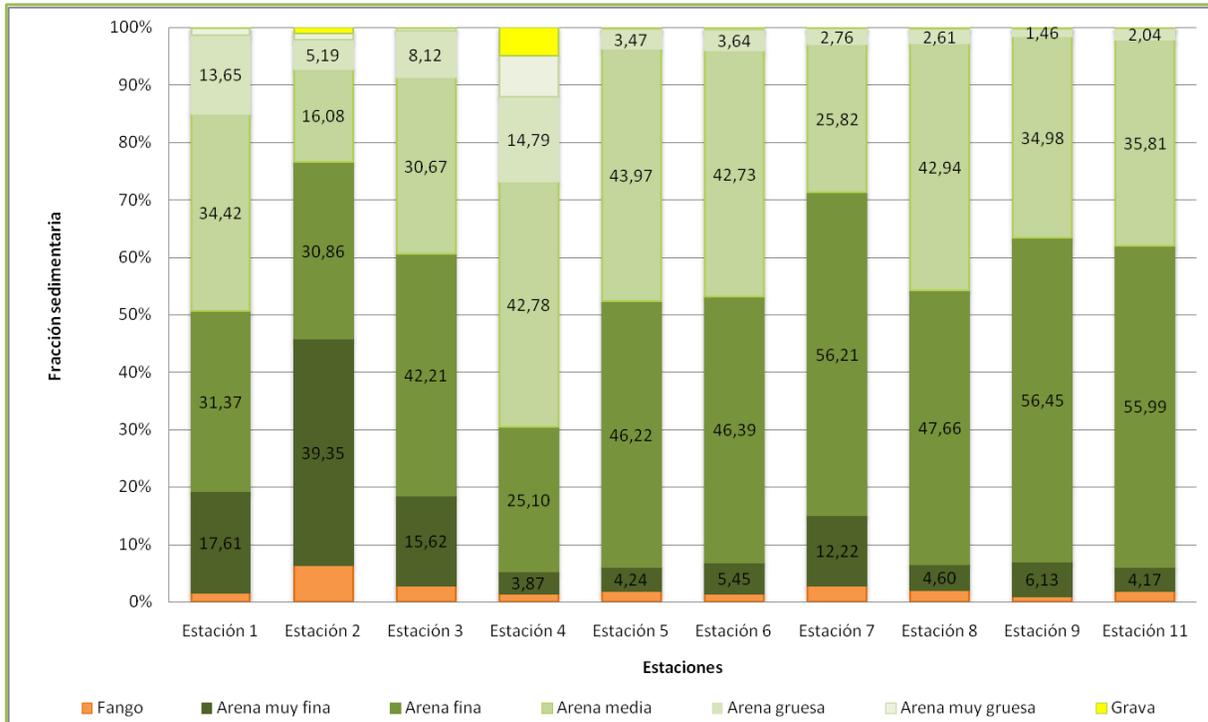
Los valores individuales obtenidos del análisis granulométrico del sedimento se presentan en la Tabla N°24. En general, los resultados indicaron que la fracción predominante corresponde a Arena fina ( $\phi$  3), con un valor promedio de todas las estaciones correspondiente al 43.85%, donde la Estación 9 es la que mayor porcentaje tiene, llegando al 56.45% (ver FIGURA N°46). Referente a la fracción Fango ( $\phi$  5), ésta no supera el 7% considerando el promedio de sus réplicas en cada estación, encontrándose valores desde 0.82% (E-9) a 6.40% en la Estación 2.

**Tabla N°24.- Granulometría del sedimento (%).** Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4)(0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm).

Estación	Réplica	Grava	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Fango
E1	R1	0,03	1,53	13,92	34,12	31,51	18,30	0,60
	R2	0,00	1,07	12,57	33,61	32,02	18,80	1,94
	R3	0,02	1,54	14,45	35,53	30,58	15,73	2,16
E2	R1	2,15	1,20	5,39	16,56	30,73	38,24	5,74
	R2	0,37	1,23	5,88	17,37	31,06	37,63	6,48
	R3	0,67	0,77	4,31	14,32	30,78	42,17	6,97
E3	R1	0,07	0,43	7,26	29,10	42,26	17,20	3,69
	R2	0,03	0,60	8,63	31,82	41,80	14,33	2,80
	R3	0,06	0,66	8,48	31,09	42,58	15,32	1,81
E4	R1	4,26	7,04	14,54	42,80	26,61	4,40	0,36
	R2	3,55	6,60	14,59	42,42	25,47	3,99	3,39
	R3	7,22	7,46	15,25	43,13	23,21	3,22	0,51
E5	R1	0,11	0,21	3,52	43,26	46,92	4,51	1,47
	R2	0,01	0,30	3,52	44,81	45,49	3,85	2,02
	R3	0,01	0,29	3,36	43,84	46,25	4,35	1,90
E6	R1	0,00	0,34	3,05	41,36	48,78	6,07	0,42
	R2	0,09	0,41	4,00	42,83	44,99	5,12	2,57
	R3	0,09	0,47	3,88	43,99	45,40	5,15	1,02
E7	R1	0,02	0,14	2,84	27,11	55,26	11,44	3,19
	R2	0,04	0,26	2,63	25,37	57,32	12,14	2,24
	R3	0,00	0,14	2,80	24,98	56,06	13,07	2,95
E8	R1	0,09	0,27	2,47	42,59	47,99	4,44	2,16
	R2	0,02	0,17	2,58	42,40	48,10	4,73	2,01
	R3	0,03	0,19	2,78	43,82	46,89	4,63	1,66
E9	R1	0,00	0,06	1,50	37,65	55,56	4,89	0,34
	R2	0,00	0,07	1,57	35,14	55,83	6,36	1,04
	R3	0,27	0,08	1,32	32,14	57,95	7,13	1,09
E11	R1	0,01	0,06	1,84	37,23	56,86	3,29	0,71
	R2	0,03	0,06	1,76	32,57	56,54	5,39	3,65
	R3	0,12	0,13	2,51	37,63	54,58	3,84	1,20

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 096-12. Anexo IV.

**FIGURA N° 46 .-** Distribución porcentual de las fracciones de sedimento. Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4)(0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm).



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 096-12. Anexo IV.

### 8.1.2 Materia orgánica total y carbono orgánico total

La Tabla N°25 registra los valores obtenidos en cada una de las réplicas por estación correspondientes a las variables Materia Orgánica Total (g) y Carbono Orgánico Total (g).

El contenido de Materia Orgánica Total en el sedimento registró valores que van desde los 0,06 g (E1-R2) a 0,12g (E2-R2). En general los mayores valores se apreciaron en la Estación 2 como se observa en la FIGURA N° 47. El Carbono Orgánico Total sigue la misma tendencia, donde la Estación 2 es la que obtiene los mayores valores (0.07g) (FIGURA N°48), sin embargo, el rango de los valores no presenta mayores variaciones entre una estaciones a otra, registrándose valores desde 0.04 g a 0.07 g.

**Tabla N°25.- Resultados del análisis de materia orgánica en el sedimento. MOT: Materia Orgánica Total; COT: Carbono Orgánico Total.**

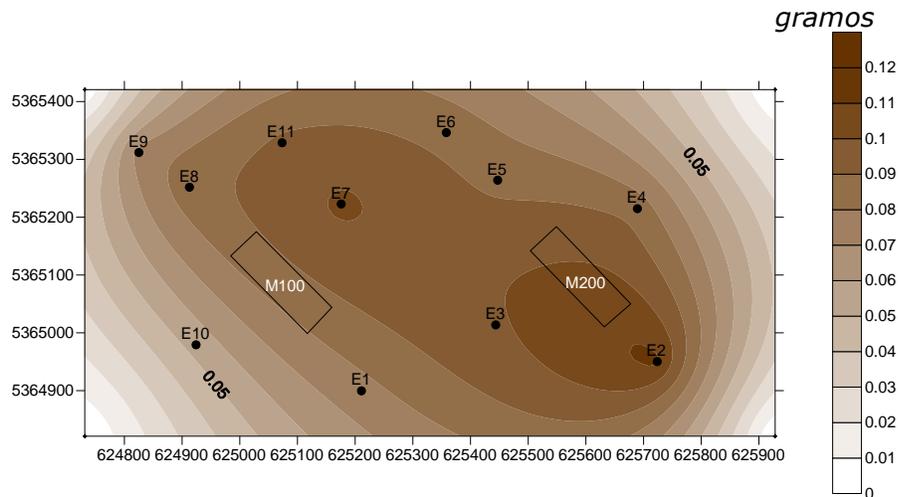
Estación	E1			E2			E3			E4			E5		
Réplica	R1	R2	R3												
MOT (g)	0,08	0,06	0,08	0,11	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,10	0,09	0,09	0,08
COT (g)	0,05	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05

**Tabla N°26.- Resultados del análisis de materia orgánica en el sedimento. MOT: Materia Orgánica Total; COT: Carbono Orgánico Total.**

Estación	E6			E7			E8			E9			E11		
Réplica	R1	R2	R3												
MOT (g)	0,09	0,09	0,08	0,10	0,10	0,10	0,08	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,09	0,09	0,09
COT (g)	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	0,05

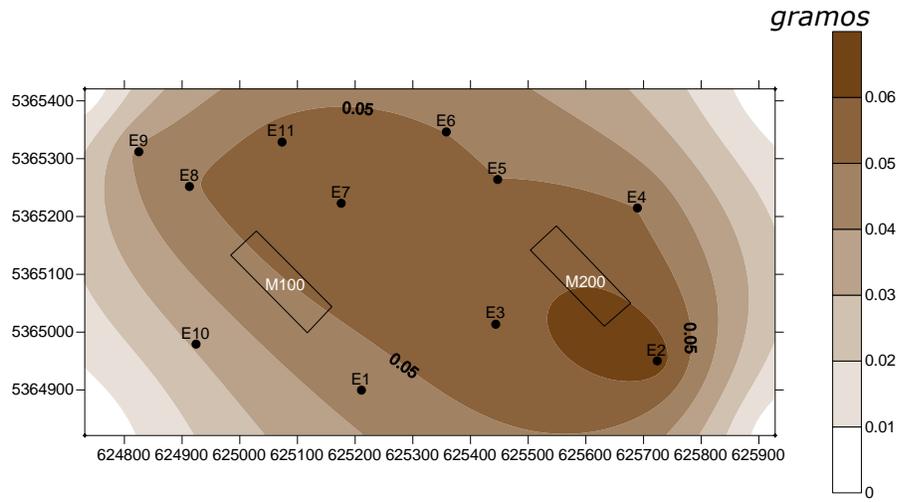
Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 096-12. Anexo IV.

**FIGURA N° 47.- Distribución de MOT en el sedimento.**



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 096-12. Anexo IV.

**FIGURA N° 48 .-** Distribución de COT en el sedimento.



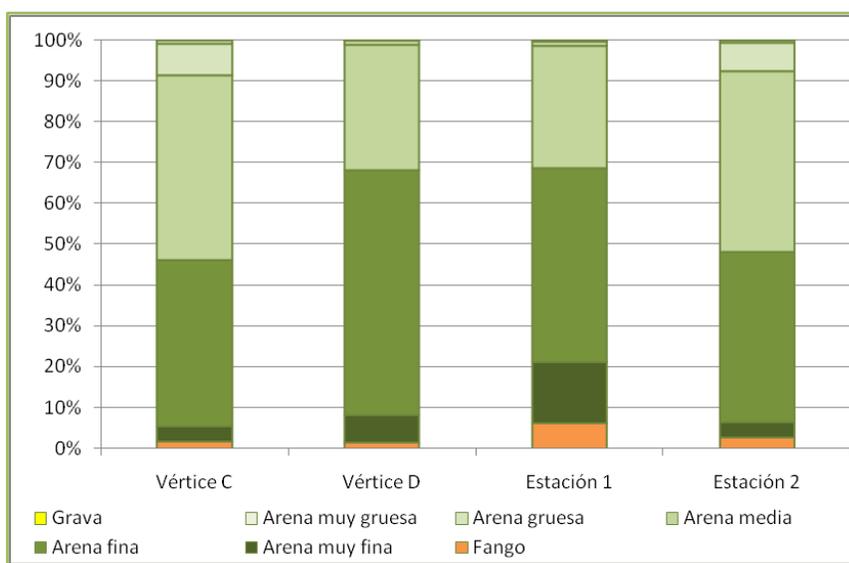
Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 096-12. Anexo IV.

## 8.2 Caracterización sedimento según CPS

### 8.2.1 Granulometría

Las fracciones granulométricas indican que se trata de un sustrato donde predomina la Arena Fina (Phi 3) (FIGURA N°49).

**FIGURA N° 49.-** Distribución porcentual de las fracciones de sedimento de acuerdo a CPS. Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4) (0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm).



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de CPS Centro 3 cuyos datos brutos se anexan en Anexo IV.

### 8.2.2 Materia Orgánica Total

Los valores de Materia Orgánica (Tabla N°27) son mayores al 1%. Donde la Estación que posee menor porcentaje corresponde al Vértice C y la mayor corresponde a la Estación 1 con un valor de 2,16%

**Tabla 27.- Valores de Materia Orgánica Total (MOT) (%) de acuerdo a CPS.**

Estación N°	Vértice C	Vértice D	Estación 1	Estación 2
Materia orgánica (%)	1,04	1,33	2,16	1,30

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de CPS Centro 3 cuyos datos brutos se adjuntan en el Anexo IV.

### 2.3.- pH Y REDOX

Los valores de pH registrados durante la CPS se mueven en un rango desde 7,6 a 7,97; los valores de Potencial Redox son positivos, con un rango que va desde 87 mV a 154 mV (Tabla N°28).

**Tabla N°28.- Valores de pH y Redox en sedimento de acuerdo a CPS.**

Estación	pH	Potencial REDOX Eh (NHE)
Vértice C	7,91	87
Vertice D	7,6	139
1	7,93	107
2	7,97	154

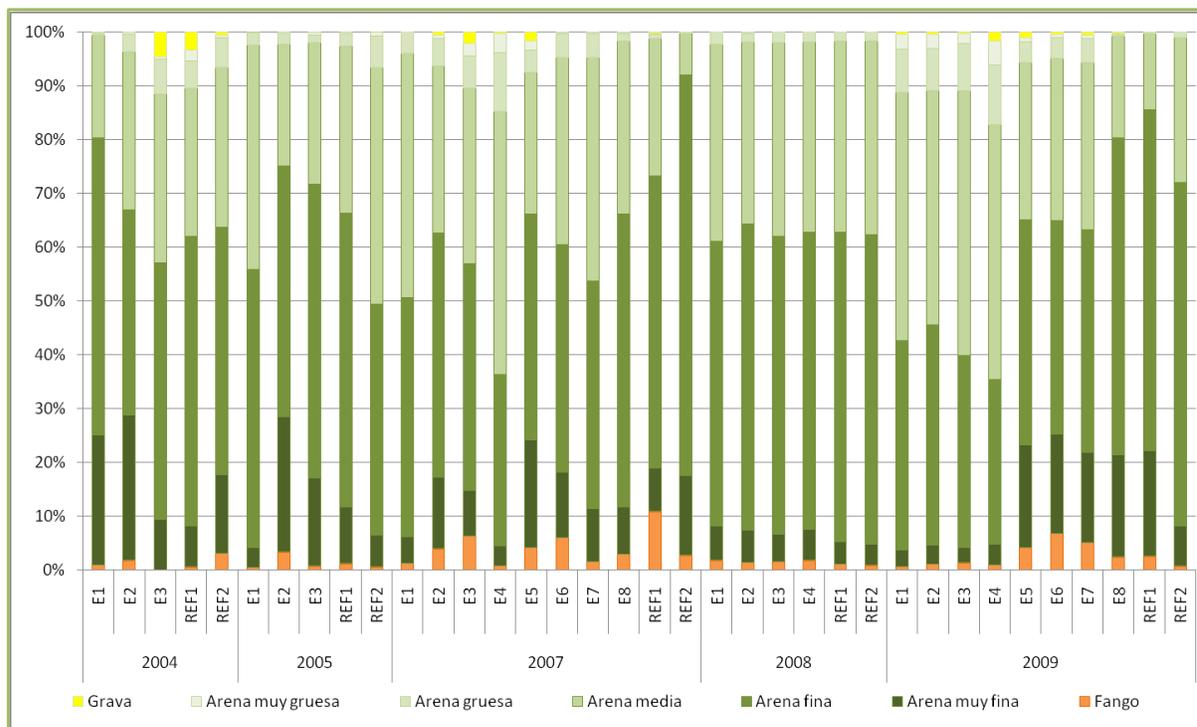
Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de CPS Centro 3 cuyos datos brutos se adjuntan en el Anexo IV.

## 8.3 Caracterización sedimento según histórico de INFA

### 8.3.1 Granulometría

La FIGURA N°50 representa la granulometría obtenida de la Información Ambiental presentada en los años 2004, 2005, 2007, 2008 y 2009. En ellas se puede apreciar que no existen modificaciones sustantivas a través de los años, siendo la Arena Fina (Phi 3) la que mejor representa cada uno de los escenarios a través de los años.

**FIGURA N° 50.-** Distribución porcentual de las fracciones de sedimento de acuerdo a los Informes Ambientales (INFA). Grava (Phi -1) (4-2mm); Arena muy gruesa (Phi -0) (2-1 mm); Arena gruesa (Phi 1) (1-0,5mm); Arena media (Phi 2) (0,5-0,25mm); Arena fina (Phi 3) (0,25-0,125mm); Arena muy fina (Phi 4) (0,125-0,062mm); Fango (Phi 5) (<0,062mm).



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informes Ambientales Centro 3, cuyos datos brutos se adjuntan en el Anexo IV.

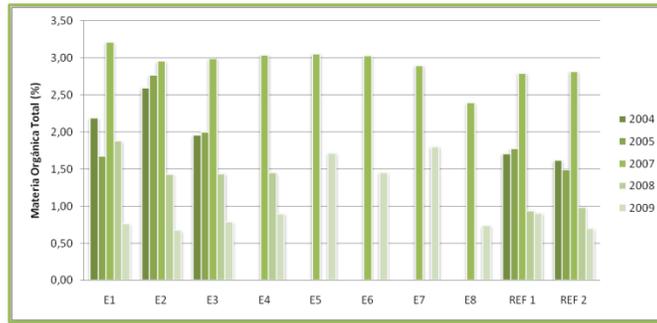
### 8.3.2 Materia Orgánica Total

El contenido de materia orgánica en los años ha registrado un leve descenso (FIGURA N°51), cumpliendo con las Res. Exe. N° 3612/09.

### 8.3.3 pH Y REDOX

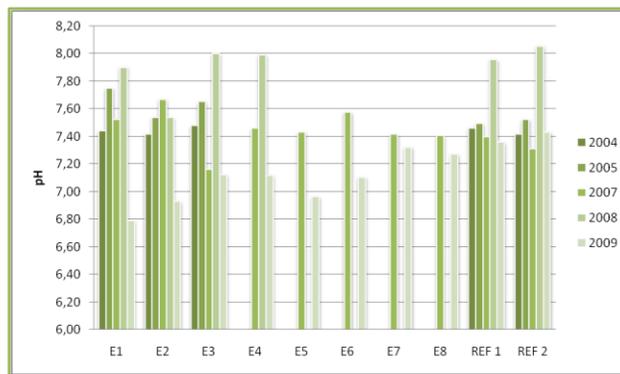
En relación a los valores de pH Y REDOX (figuras N°52 y N°53, respectivamente), estos cumplen con los valores establecidos en la Res. Exe. N°3612/09.

**FIGURA N° 51 .-** *Materia Orgánica Total (%) registrados en los Informes Ambientales.*



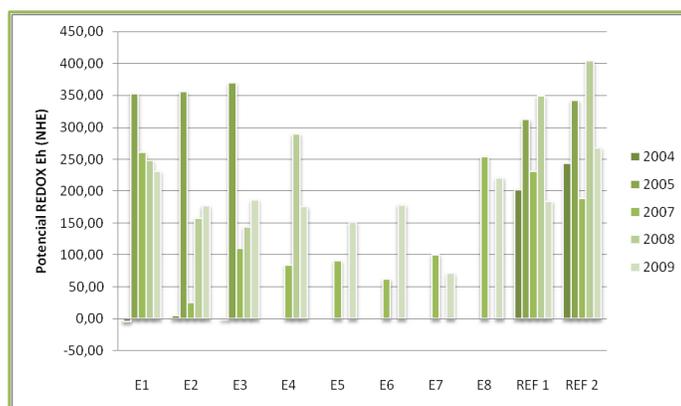
Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informes Ambientales Centro 3, cuyos datos brutos se adjuntan en el Anexo IV.

**FIGURA N° 52.-** *Valores de pH registrados en los Informes Ambientales.*



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informes Ambientales Centro 3, cuyos datos brutos se adjuntan en el Anexo IV.

**FIGURA N° 53 .-** Valores Potencial REDOX Eh registrados en los Informes Ambientales.



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informes Ambientales Centro 3, cuyos datos brutos se adjuntan en el Anexo IV.

## 8.4 Comunidades bentónicas

### 8.4.1 Caracterización macrofauna escenario actual

En el Anexo IV se adjunta el Informe de Ensayo que contiene el detalle de los resultados de la composición taxonómica registrada en las muestras de sedimento, indicándose la densidad y la biomasa por estación y réplica. Por otro lado, en la Tabla N°29 se presentan los índices comunitarios calculados.

Se determinaron 52 taxa, pertenecientes a 6 Phyla: Annelida (68,5%), Mollusca (14,0%), Arthropoda (8,7%), Echinodermata (7,2%), Sipuncula (1,0%), Nemertea (0,4%) y Priapulida (0,1%) (ver FIGURA N°54). Los Phyla mejor representados en cuanto a riqueza de especies fueron Annelida (17 taxa), Arthropoda (14 taxa) y Mollusca (12 taxa); le siguen Echinodermata (5 taxa) y Nemertea (2 taxa); finalmente, Sipuncula y Priapulida estuvieron representadas por un solo taxón.

Considerando todas las muestras analizadas y la determinación taxonómica hasta nivel de familia, el taxón predominante en términos de abundancia correspondió a Cirratulidae, representada mayoritariamente por las especies *Chaetozone setosa* y *Cirriformia sp.*, con una abundancia porcentual del 55,9% (FIGURA N°55). Destaca que en la estación T3, ambas especies mencionadas presentan altas abundancias, siendo a la vez predominantes.

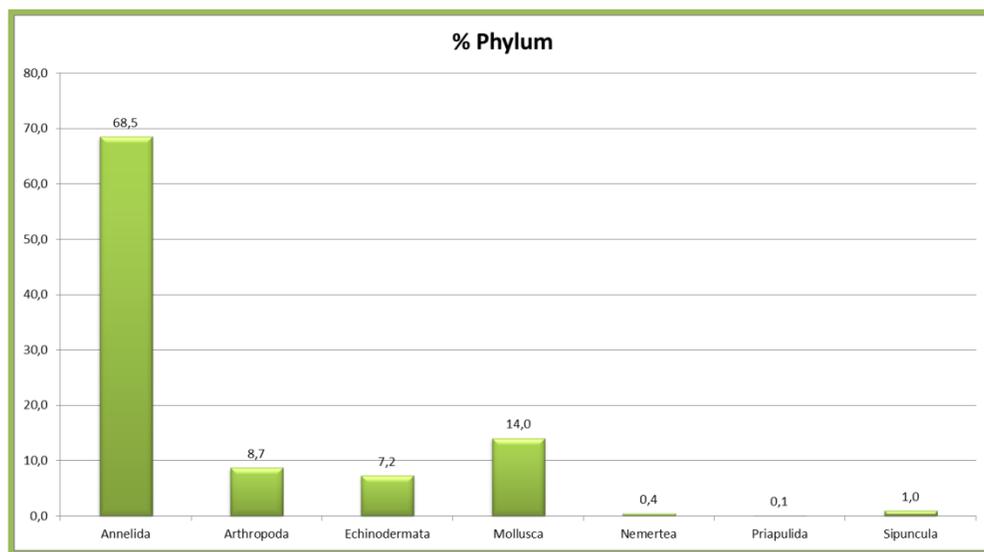
Con respecto a la Riqueza específica, el valor más elevado se presentó en la réplica T4-R3, observándose 15 taxa. La menor cantidad de especies se detectó en T2-R1 y T11-R1 (6 taxa) (Tabla N°29), presentándose también réplicas en donde no se registró fauna. Por otro lado, la mayor abundancia se presentó en la T3-R1, con 900 ind/m<sup>2</sup>, dado mayoritariamente por *Chaetozone setosa* y *Cirriformia* sp.

Referente al índice de Diversidad, el mayor valor se registró en la réplica T4-R3, exhibiéndose un  $H'=3,525$  (Tabla N°29). El menor valor individual de Diversidad se asocia a la réplica T2-R1, registrándose un  $H'=1,305$ .

El índice de Dominancia mostró su máximo valor en la réplica 1 de la estación T2 ( $D'=0,537$ ), fenómeno dado por la predominancia de *Aulacomya atra* (Tabla N°29). El valor más bajo de dominancia se relaciona con la estación T1 (réplica 1) ( $D'=0,103$ ).

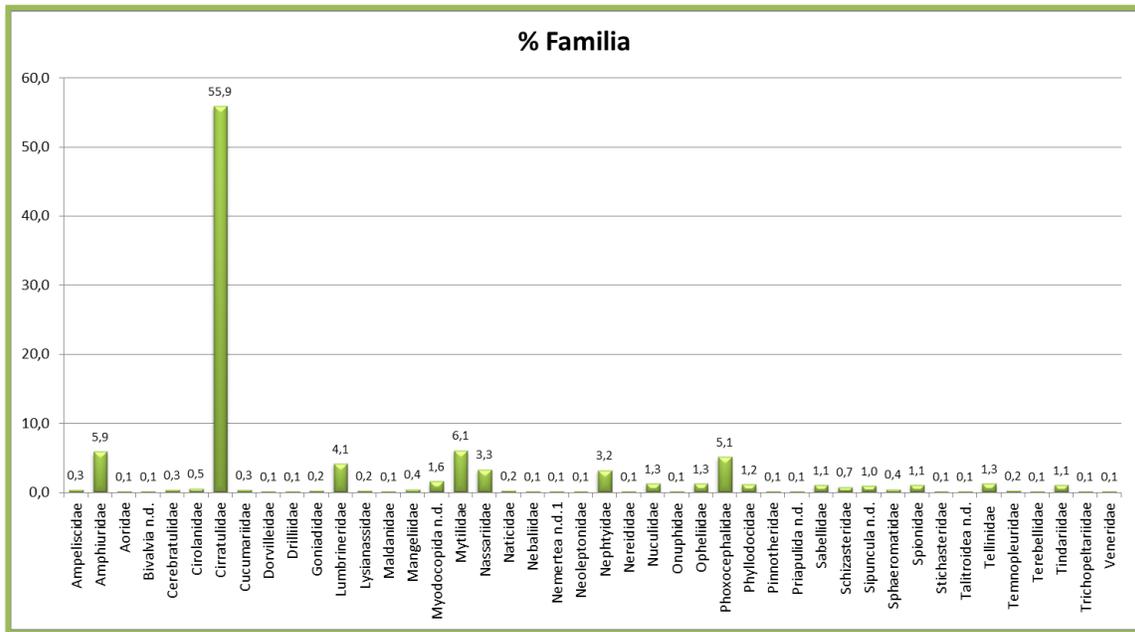
Por último, la Equidad registra su máximo valor en la réplica 2 de la estación T9 ( $J'=0,962$ ), mientras que su valor más bajo se observa en la réplica 3 de la estación T3 ( $J'=0,479$ ) (Tabla N°29).

**FIGURA N° 54 .-** Abundancia porcentual a nivel de Phylum.



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Ensayo Centro 3, adjunto en Anexo IV.

**FIGURA N° 55.-** Abundancia porcentual hasta nivel de Familia.



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Ensayo Centro 3, adjunto en Anexo IV.)

**Tabla 29.- Índices Comunitarios (Riqueza de especies, Abundancia, Índice de Diversidad, Índice de Dominancia e Índice de Equidad) en cada una de las réplicas.**

Código de muestra	Riqueza (Nº spp.)	Abundancia (ind./m <sup>2</sup> )	Índice de Diversidad (H') (log <sub>2</sub> )	Índice de Dominancia (D') (Lambda')	Índice de Equidad (J')
T1-R1	14	330	3,495	0,103	0,918
T1-R2	12	270	3,096	0,160	0,864
T1-R3	7	310	2,107	0,321	0,751
T2-R1	6	700	1,305	0,537	0,505
T2-R2	10	210	3,042	0,139	0,916
T2-R3	14	370	3,167	0,158	0,832
T3-R1	12	900	2,055	0,351	0,573
T3-R2	7	600	1,845	0,354	0,657
T3-R3	11	810	1,657	0,517	0,479
T4-R1	12	310	2,833	0,202	0,790
T4-R2	8	180	2,747	0,168	0,916
T4-R3	15	340	3,525	0,110	0,902
T5-R1	-	-	-	-	-
T5-R2	12	360	3,240	0,132	0,904
T5-R3	9	300	2,746	0,173	0,866
T6-R1	-	-	-	-	-
T6-R2	8	370	2,489	0,212	0,830
T6-R3	-	-	-	-	-
T7-R1	-	-	-	-	-
T7-R2	14	530	2,791	0,233	0,733
T7-R3	0	0	0,000	0,000	0,000
T8-R1	14	620	2,892	0,218	0,760
T8-R2	11	270	2,862	0,179	0,827
T8-R3	14	490	2,833	0,248	0,744
T9-R1	8	100	2,846	0,152	0,949
T9-R2	7	140	2,700	0,157	0,962
T9-R3	8	110	2,845	0,149	0,948
T10-R1	-	-	-	-	-
T10-R2	-	-	-	-	-
T10-R3	-	-	-	-	-
T11-R1	6	350	1,653	0,412	0,640
T11-R2	10	430	2,431	0,257	0,732
T11-R3	-	-	-	-	-

(-) ausencia de fauna.

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Ensayo Centro 3, adjunto en Anexo IV.

## 8.4.2 Índice AMBI

Para evaluar el estado de calidad ambiental de los fondos de sustrato, hemos utilizado el índice AMBI desarrollado por Borja *et al.* (2000). Esta clasificación se basa en la sensibilidad de la macrofauna a un gradiente creciente de estrés, dividiendo a los organismos en cinco grupos.

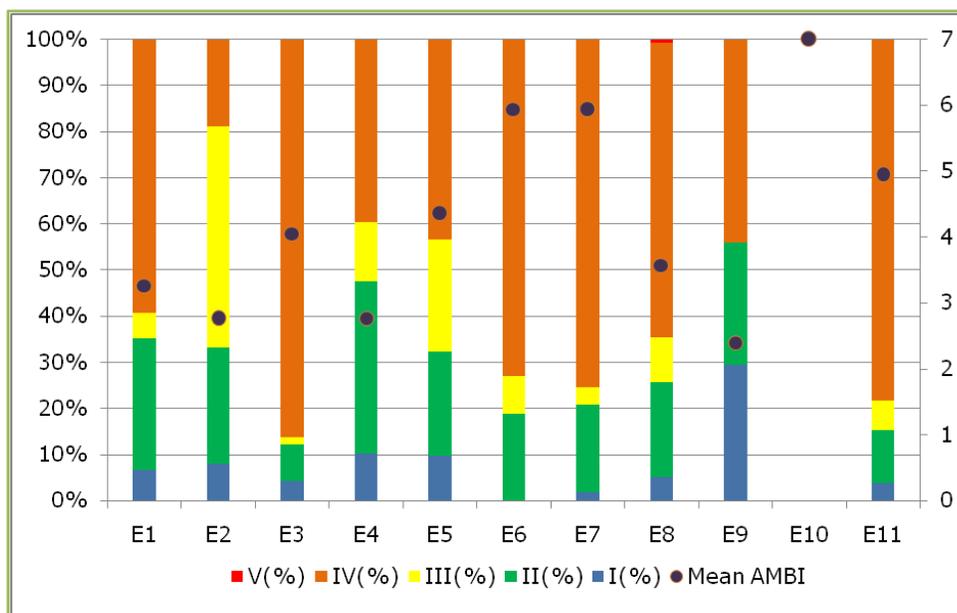
Se ha realizado el cálculo del Índice de Calidad Ambiental (AMBI), mediante el cual logramos apreciar que hay estaciones que resultan perturbadas ligeramente (estaciones 1, 2, 4 y 9), esto debido al gran porcentaje de especies incluidas en el grupo III o a la combinación de especies incluidas en el grupo II y IV, como ocurre en la Estación 1, Estación 4 y en la Estación 9 (Tabla N°30). También hay estaciones perturbadas moderadamente (estaciones 3, 5 y 8) y fuertemente (estaciones 6 y 7), lo cual se debe al gran porcentaje de especies incluidas en el grupo IV y V respectivamente (FIGURA N°56). La estación 10 recibe una clasificación 7 (extremadamente perturbada) dado por la ausencia de especies en todas sus réplicas.

**Tabla N°30.** Índice de calidad ambiental (AMBI) calculado.

Estaciones	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)	V (%)	Promedio AMBI	BI de promedio AMBI	Tipo de perturbación
Estación 1	6,6	28,6	5,5	59,3	0	3,264	2	Levemente perturbado
Estación 2	7,9	25,2	48	18,9	0	2,76	2	Levemente perturbado
Estación 3	4,3	7,8	1,7	86,1	0	4,054	3	Moderadamente perturbado
Estación 4	10,3	37,2	12,8	39,7	0	2,769	2	Levemente perturbado
Estación 5	9,7	22,6	24,2	43,5	0	4,35	4	Moderadamente perturbado
Estación 6	0	18,9	8,1	73	0	5,937	6	Fuertemente perturbado
Estación 7	1,9	18,9	3,8	75,5	0	5,931	6	Fuertemente perturbado
Estación 8	5,1	20,6	9,6	64	0,7	3,573	3	Moderadamente perturbado
Estación 9	29,4	26,5	0	44,1	0	2,4	2	Levemente perturbado
Estación 10	0	0	0	0	0	7	7	Extremadamente perturbado

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Ensayo Centro 3, utilizando el programa AMBI versión 5.0, cuyos datos brutos se encuentran en el Anexo III.

**FIGURA N° 56.-** Porcentajes de los diferentes grupos ecológicos de las comunidades del sedimento en el Centro 2 y el índice biótico resultante para cada una de ellas.

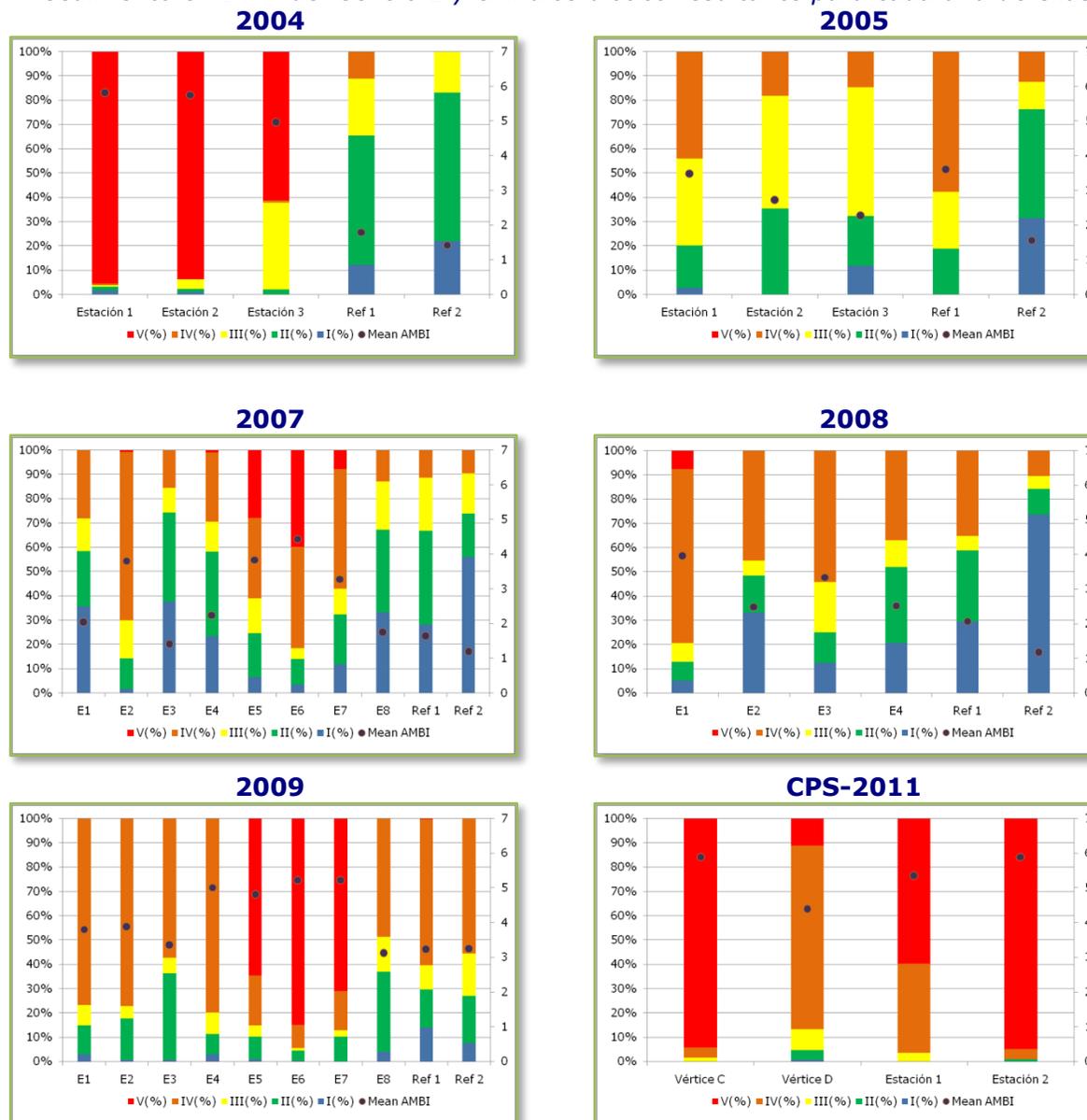


Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Ensayo Centro 3, utilizando el programa AMBI versión 5.0, cuyos datos brutos se encuentran en el Anexo III.

### 8.5 Evolución o cambio histórico (INFA)

Para poder efectuar un análisis de la macrofauna se calculó el Índice AMBI para todos los informes ambientales. En ellos se logró apreciar que la evolución de los sedimentos en relación a la composición de especies de grupos IV y V del AMBI ha ido en aumento (FIGURA N°57), así como también el índice biótico resultante es cada vez más cercano a 6 el cual clasifica al sedimento como gravemente perturbado.

**FIGURA N° 57.-** Porcentajes de los diferentes grupos ecológicos de las comunidades del sedimento en INFA del Centro 2 y el índice biótico resultante para cada una de ellas.



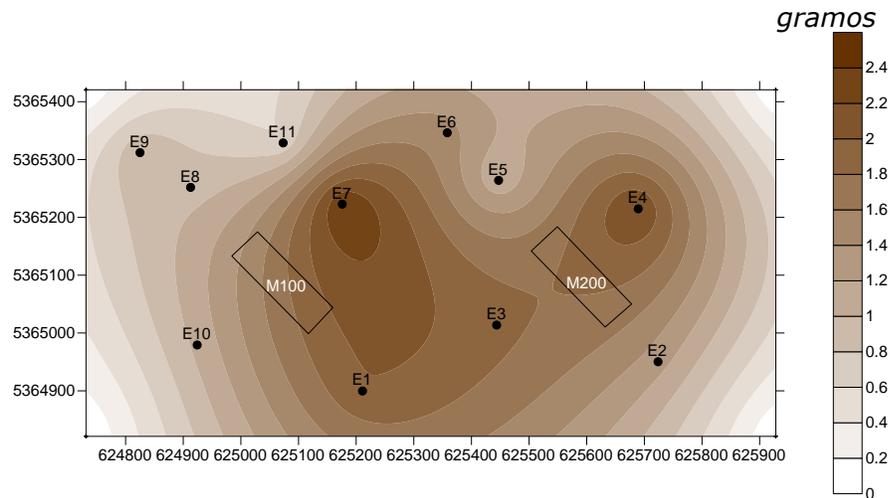
Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Información Ambiental (INFA) Centro 3, utilizando el programa AMBI versión 5.0, cuyos datos brutos se encuentran en el Anexo III.

## 10.10 TRAMPAS DE SEDIMENTO

Se obtuvieron mapas temáticos de la distribución de Materia Orgánica Total (g) y Carbono Orgánico Total (figuras N°58 y N°59, respectivamente), en relación a los valores encontrados en las trampas de sedimentos dispuestas en cada estación de muestreo.

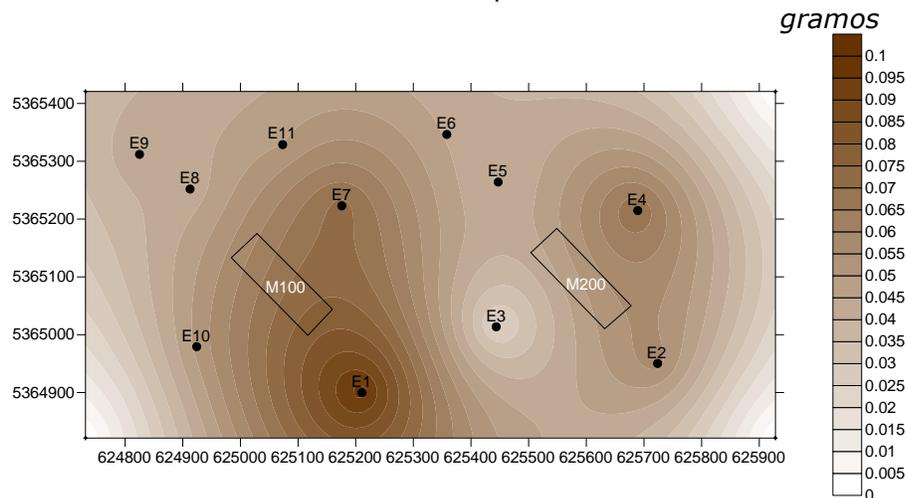
En estas figuras, es posible apreciar que los valores mayores se concentran en las estaciones 4 y 7 en ambos casos.

**FIGURA N° 58.-** Distribución de Materia Orgánica Total en relación a los valores encontrados en las trampas de sedimento.



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 097-12. Anexo IV.

**FIGURA N° 59.-** Distribución de Carbono orgánico Total en relación a los valores encontrados en las trampas de sedimento.



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 097-12. Anexo IV.

### 10.11 PISTON CORER

Los datos obtenidos de Materia Orgánica y Carbono Orgánico se presentan en la Tabla N°31, donde el mayor porcentaje de Materia Orgánica se encuentra en la Estación 7 y el menor se encuentra en la Estación 1; la misma tendencia ocurre con el Carbono Orgánico Total.

**Tabla N°31.** Resultados de porcentaje de MOT y COT para Piston Corer.

Estación	Réplica	Peso seco muestra (g)	Materia Orgánica (%)	C.O.T (%)
E1	R1	7,901	0,924	0,536
E2	R1	7,385	1,341	0,778
E3	R1	7,553	1,350	0,783
E4	R1	s/d*	s/d	s/d
E5	R1	s/d	s/d	s/d
E6	R1	s/d	s/d	s/d
E7	R1	7,615	1,628	0,945
E8	R1	s/d	s/d	s/d
E9	R1	s/d	s/d	s/d
E10	R1	s/d	s/d	s/d

\*=Sin dato debido a que el sedimento presentó características de fondo duro.

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Informe de Laboratorio y Muestreo 107-12. Anexo IV.

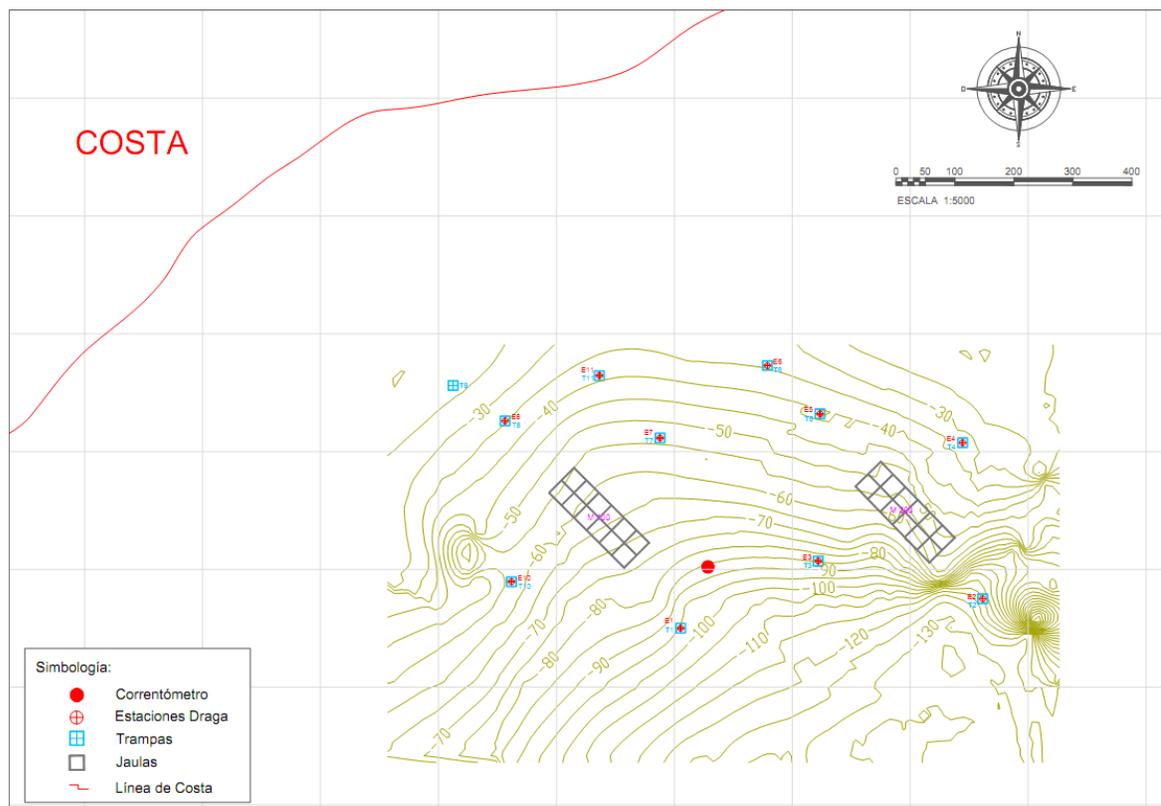
## **8.6 SIMULACIONES DEPOMOD CENTRO 3**

De los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas al Centro 2, se ha escogido el escenario de simulación que mejor representaría el proceso de dispersión de material particulado en el fondo marino en el área de estudio. Esta simulación tiene como código res0B1\_c3, la cual se puede consultar en detalle en el Anexo VI de este informe. Esta simulación considera valores por defecto del modelo, información de corrientes durante el período de estudio de este centro (7 días), pérdidas de alimento del 5% y velocidades de sedimentación de fecas variable. A continuación se exhibe el proceso de simulación llevado a cabo para este centro.

### **8.6.1 Módulo generador de la grilla**

Hay que recordar que este módulo básicamente incorpora tanto las profundidades del sector, como las coordenadas de ubicación de las jaulas y estaciones de muestreo, respecto a un origen (0,0).

**FIGURA N° 60.-** Batimetría y ubicación de trampas de sedimento, extracción de muestras con draga y ubicación de la instalación del correntómetro Centro 3



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos obtenidos de Batimetría presentada en CPS y Muestreo realizado al Centro 3. Se anexan datos crudos de Batimetría en Anexo III.

Dentro de la información utilizada para generar la grilla que representa la topografía submarina del Centro 3, puede mencionarse que la batimetría del sector presenta una pendiente moderada a muy fuerte que va desde Noroeste a Sureste. Se observan además sectores de baja profundidad y con fuertes pendientes.

En lo particular, la grilla principal se compuso de 99x62 celdas, y la menor grid fue compuesta de 98x61 celdas. Ambos tamaños de celdas presentan un ancho de 11.6 metros.

### 8.6.1.1 Módulo de trayectoria de la partícula

En detalle, el centro de cultivo 3 cuenta con 24 jaulas separadas en dos módulos de 12 jaulas cada uno, con dimensiones de las jaulas de 30x30x18 m. Dado que las tasas de alimentación suministrada a cada jaula durante el período de evaluación es una de las principales variables, su detalle se presenta en la Tabla N°32.

El módulo de trayectoria requiere como información de entrada el balance de masa del alimento suministrado durante el periodo de evaluación, velocidad de sedimentación de pellets y fecas, datos de corrientes, factores de dispersión, altura de marea, paso de tiempo entre los registros de corrientes, tiempo de evaluación de la trayectoria de la partícula, longitud de la información de corrientes y dimensiones de las estructuras en términos de ancho, largo y profundidad de las jaulas que componen el cultivo. Al igual que en los casos anteriores las tasas de alimentación del Centro 3 se ofrecen a continuación:

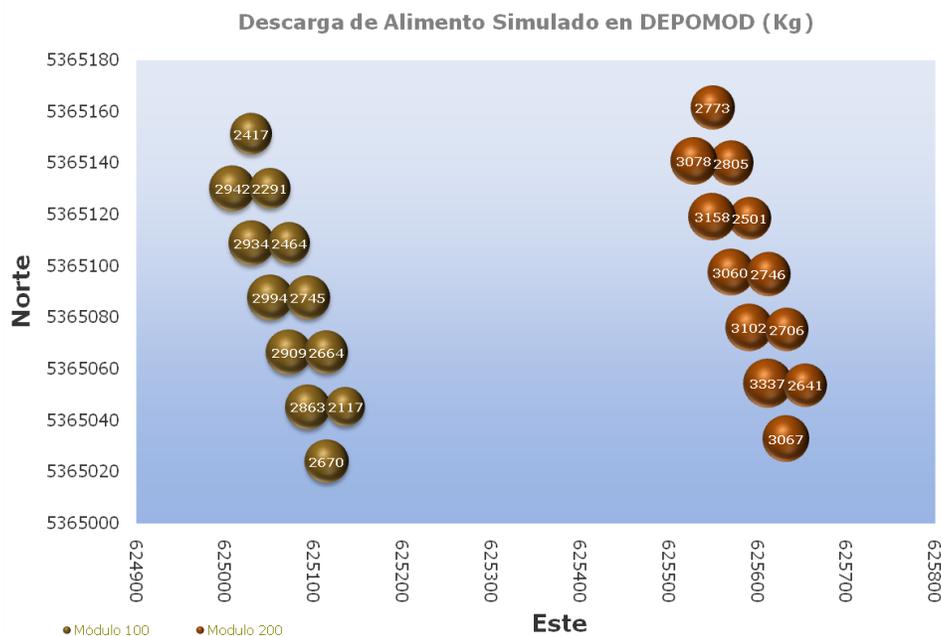
**Tabla N°32.-Valores de producción utilizados durante el período de estudio del Centro 3**

		<b>Módulo 100</b>											
		Jaula 101	Jaula 102	Jaula 103	Jaula 104	Jaula 105	Jaula 106	Jaula 107	Jaula 108	Jaula 109	Jaula 110	Jaula 111	Jaula 112
Fecha		Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día
1	2012-1-10	361	272	266	263	345	268	337	268	337	254	337	254
2	2012-1-11	523	406	494	342	507	372	511	372	503	372	520	303
3	2012-1-12	469	521	483	344	540	436	515	471	488	496	459	268
4	2012-1-13	530	342	452	303	409	350	356	503	445	277	240	317
5	2012-1-14	335	319	487	335	469	449	470	489	354	539	353	449
6	2012-1-15	484	315	508	335	469	418	470	402	488	459	500	309
7	2012-1-16	240	242	244	369	255	171	250	240	248	267	261	217
		2942	2417	2934	2291	2994	2464	2909	2745	2863	2664	2670	2117

		<b>Módulo 200</b>											
		Jaula 201	Jaula 202	Jaula 203	Jaula 204	Jaula 205	Jaula 206	Jaula 207	Jaula 208	Jaula 209	Jaula 210	Jaula 211	Jaula 212
Fecha		Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día
1	2012-1-10	331	357	331	363	311	246	312	267	323	357	297	349
2	2012-1-11	437	439	512	483	477	469	527	465	506	475	509	449
3	2012-1-12	606	525	627	524	586	453	514	508	566	470	535	502
4	2012-1-13	475	483	473	353	353	346	459	506	560	485	657	365
5	2012-1-14	433	356	630	354	632	433	480	345	460	346	386	348
6	2012-1-15	378	433	439	411	395	388	375	425	342	370	387	407
7	2012-1-16	407	180	325	317	348	166	393	230	401	203	307	221
		3067	2773	3337	2805	3102	2501	3060	2746	3158	2706	3078	2641

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012)

**FIGURA N° 61.-** Gráfica del alimento suministrado al Centro 3 durante el período(7 días)



*Fuente: Elaborado a partir de información de producción proporcionada por el productor que participa del estudio.*

A partir de los datos de alimentación presentados de la figura anterior, puede observarse que ambos módulos presentan una tasa de alimentación similar al módulo de 200, por lo que esperaríamos que la pluma de dispersión de material orgánico sea similar en cada una de las zonas que alojan los módulos. El módulo 100 por su parte, recibió 32 toneladas durante los 7 días en que se desarrolló la investigación, equivalente a una tasa promedio de 2.667,5 (kg de alimento/día); por otro lado, el módulo 200 registró una alimentación de 34,97 toneladas durante el mismo período, lo cual genera un flujo promedio de alimento diario de 2.914 toneladas de alimento/día. A partir de los datos de alimentación proporcionados al cultivo durante el período de estudio, se esperaríamos que la pluma de dispersión de material orgánico concentre sus valores en ambos sectores del cultivo (M100 y M200).

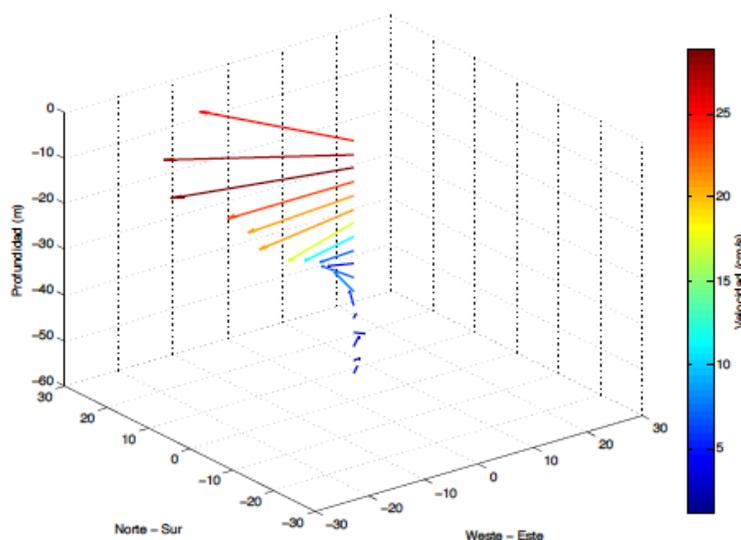
Continuando con la descripción de los parámetros utilizados en el módulo de trayectoria, se han incorporado 5 capas de corrientes para representar la dinámica del sector durante el período de estudio. Los criterios y métodos utilizados para definir las capas de corrientes se presentan en el Anexo VIII del presente informe. Al respecto, podemos mencionar que las

magnitudes medias de la velocidad de la corriente presentan valores altos en la superficie, junto con una alta variabilidad, lo cual se refleja en los valores de desviación estándar. Los mayores valores medios de magnitud se presentaron entre superficie y los 24 m, con un rango entre 55,9 y 18,1 cm/s; los valores más bajos presentaron bajo los 24 m de profundidad. El promedio de la magnitud de la velocidad en la columna de agua es de 33,2 cm/s, y su desviación estándar es de 13,9 unidades.

Por otro lado, la mayor frecuencia relativa de los datos registrados, se encontró en el rango correspondiente a los 5,1 a 10,0 cm/s, seguida cercanamente por el rango de magnitudes sobre 30 cm/s, con una frecuencia relativa de 25,6 %, las que se distribuyen principalmente desde superficie a los 21 m. En la capa profunda la magnitud presenta mayor frecuencia en los rangos menores a 15,0 cm/s.

Se observó que el flujo tiene, en forma general, una tendencia predominante hacia la dirección Oeste (20,6 %), preferentemente en la capa superficial e intermedia (hasta los 30 m aproximadamente), seguida por la dirección Noreste (14,4 %), y Norte (14,0 %). En base a los datos, es posible establecer una predominancia relativa de las direcciones asociadas al segundo cuadrante direccional.

**FIGURA N° 62.-** Gráfico 3D de vector corrientes promedio Centro 3



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012)

Del gráfico anterior se desprende que los vectores promedio de las corrientes presentan mayores magnitudes en las capas superiores, disminuyendo su intensidad a medida que

aumenta la profundidad. En la parte superior, la capa 1 extraída se ofrece como una capa distinta a las demás, debido a su magnitud y distinta orientación.

Junto a lo anterior, y utilizando el mismo criterio de selección de capas para realizar la simulación de los centros 1 y 2, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla N°33.-Capas de corrientes utilizadas en la simulación realizada al Centro 3**

Capas DEPOMOD	Capas de medición de corrientes
Capa 1	Capa 1 a 3
Capa 2	Capa 4 a 10
Capa 3	Capa 11 a 14
Capa 4	Capa 15 a 16
Capa 5	Capa 17 a 18

*Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012)*

Dentro de los valores utilizados para simular la dispersión de los residuos en el fondo marino a partir del modelo DEPOMOD, los parámetros que se utilizaron para aquello fueron los siguientes:

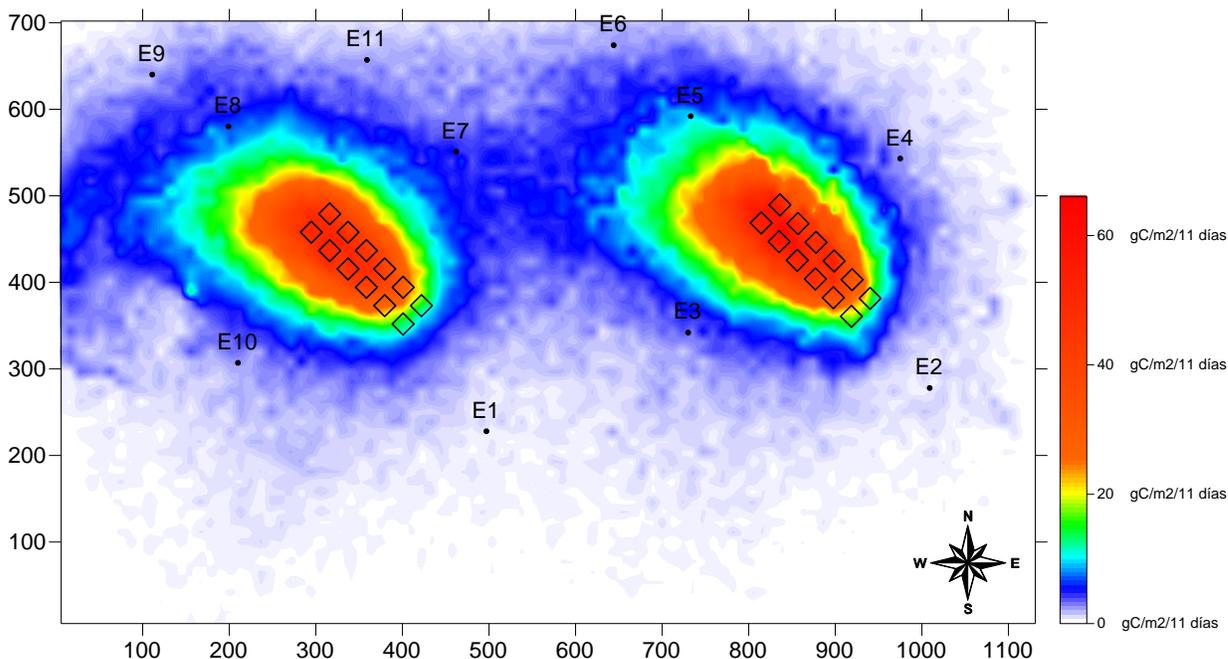
**Tabla N°34.-Parámetros de entrada al modelo simulación del Centro 3.**

<b>Parámetros de Simulación</b>		
	Unidad	
Generación de la Grilla		
Major Grid	m	99x62
Major Grid Resolución de la Celda	m	11.6
Minor Grid	m	98x71
Minor Grid Resolución de la Celda	m	11.6
Fuente de la Batimetría		CPS
Número de Módulos	Unidades	2
Número de Jaulas Por Módulo	Unidades	12
Número Total de Jaulas del Cultivo	Unidades	24
Trayectoria de Partícula	Unidad	
Contenido de Agua en el Alimento	%	9
Digestibilidad	%	85
Porcentaje de Alimento no Consumido	%	5
Porcentaje de Carbono como Fecas	%	30
Número de Dietas Suministradas al Cultivo	Unidades	1
Tamaño del Pellets del Alimento Entregado	mm	6.4
Velocidad de Hundimiento del Pellets Proporcionado	m/s	0.127
Tamaño de la Fecas	mm	1 mm
Velocidad de Hundimiento de las Fecas	m/s	0.032 ±0.01
Número de Partículas Simuladas	N°	15
Tipo de Correntómetro		ADCP (Nortek, 600 KHz)
Número de Capas Utilizadas para la Simulación	Unidades	5
Profundidades de las Capas de Corrientes	m	79.5-65.5-48.0-39.0-33.0
Profundidad total del Punto de Fondeo del Correntómetro	m	86
Longitud de los datos de Corrientes	Unidades	852
Paso del tiempo de los datos de Corrientes	s	600
Altura media de la Marea	m	3
Evaluación de la exactitud de la trayectoria	s	60
Coeficiente de Dispersión Dirección Horizontal x (Kx)	m <sup>2</sup>	0,100
Coeficiente de Dispersión Dirección Horizontal y (Ky)	m <sup>2</sup>	0,100
Coeficiente de Dispersión Dirección Vertical (Kz)	m <sup>2</sup>	0,001
Periodo de tiempo utilizado para la Simulación	días	7
Alimento Entregado durante el periodo de estudio	Kg/día	3597,57
Tipo de Jaula	r-c	Rectangular
Largo de cada Jaula	m	30
Ancho de cada Jaula	m	30
Profundidad de cada Jaula	m	18
Resuspensión		
Loops para corridas del modelo	N°	5
Modelo de Resuspensión	Estado	Off
Unidad de Flujo para la Salida del Modelo		g C/m <sup>2</sup>
Modelo de Producción Primaria		Off
Utilización de Optimizador de Memoria		Off

Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012)

Una vez incorporados todos los parámetros al modelo DEPOMOD, los resultados de la simulación para el Centro 3 se puede observar en la Figura N°63.

**FIGURA N° 63.-** Mapa de depositación de flujo de carbono orgánico total (COT) en el fondo marino del Centro 3



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012)

En la figura anterior es posible visualizar claramente que los máximos valores se exhiben en dirección Este-Norte, con una fuerte acumulación de residuos en esta misma dirección y coherente con la zona de mayores volúmenes de alimentación proporcionados al cultivo.

A partir de la simulación, los valores máximos registrados por la simulación durante el período de evaluación del modelo, fue de 67,81(gC/m<sup>2</sup>/7días), ubicado en la coordenada 841E y 458.2N. En particular, y dado que es posible diferenciar entre los valores de sedimentación del M100 y M200, el valor máximo cercano al M100 es de 53,01 (gC/m<sup>2</sup>/7días), y se ubica en la coordenada 307.4E y 458.2N.

## 9 CAPITULO IV. ESCENARIOS SIMULADOS

Si bien, se realizaron una amplia gama de simulaciones, no ha sido objeto del estudio presentar todas ellas, sin embargo, con el objeto de realizar una evaluación a los centros, que permita determinar la dispersión de los residuos orgánicos que son liberadas producto del proceso productivo, se ha realizado a cada centro de cultivo una simulación que considera que los tres centros presentaban una producción idéntica por cada jaula que lo compone. Estas simulaciones tienen por objeto corroborar que distintas condiciones

hidrográficas hacen que la dispersión en el fondo marino del material particulado que se libera, genera un mapa de flujo distinto en términos de máxima concentración de COT.

Para este caso particular se utilizaron las corrientes de cada sector obtenidas durante el período de instalación de trampas de sedimento, además, se ha supuesto que a cada centro de cultivo ingresan 37.150 individuos como Smolt *Salmo salar* por cada jaula, con un tamaño promedio de 131 g. Se ha considerado además que cada centro presenta un factor de conversión de 1.1, llegando a un peso final de 5,5 kilos aproximadamente al término del ciclo. Por otro lado, se ha estimado que en promedio por jaula durante todo el ciclo productivo se alimenta a una tasa de 460 Kg/jaula/día. Dentro de los parámetros importantes utilizados para estas simulaciones, se estima una pérdida de alimento 5% y tamaños de pellets de 4, 6,9 y 12 mm, que presentan una velocidad de hundimiento de 0.0985, 0.1169, 0.1368 y 0.1553 m/s, respectivamente. Además para llevar a cabo esta simulación se ha desplegado un desarrollo que podría ser aplicable a cualquier otro centro, dado que se ofrecen datos referenciales de importancia para el modelo.

## 9.1 Velocidades de Sedimentación

La velocidad de sedimentación es una de las variables claves en el estudio de transporte de sedimentos (Jiménez *et al.*, 2003). Vasallo *et al.* (2005) menciona que de acuerdo a la ley lineal de Stokes, las partículas que ingresan a la columna de agua mar poseen una velocidad de hundimiento que depende de sus dimensiones, densidad y viscosidad del medio. Por su parte Chen *et al.* (1999) indica que tanto los pellets como las fecas de salmón sufren aumentos en su tamaño al descender por la columna de agua, lo cual hace que su velocidad de sedimentación o hundimiento sea variable en el tiempo.

## 9.2 Material Fecal y Velocidad de Sedimentación

El grado de depositación de las fecas de peces se encuentra relacionada en función del comportamiento de la partícula en la columna de agua, y principalmente por los regímenes de corrientes y las velocidades a la cuales son liberadas, (Magill *et al.*, 2005). Pocos estudios han llevado a cabo investigaciones detalladas con respecto a la velocidad de sedimentación de las fecas de peces, sin embargo, la especie que más información posee sobre la velocidad de hundimiento de sus residuos, es sin duda el *Salmo salar*, el cual es justamente la especie que se ha estudiado en este proyecto. Los resultados de estudios relacionados con la velocidad de sedimentación de las fecas de peces en centros de producción acuícola pueden ser observados en la tabla siguiente.

**Tabla N°35.- Estudio de velocidades.**

<b>Autor, Año</b>	<b>Método de colección</b>	<b>Vel. Sed. media [cm/seg]</b>	<b>Tamaño, rango medido partícula</b>
Gowen and Badbury (1987)	In situ trap	1,7 -6,0	Sin Información
Findlay and Watling (1994)	In situ trap	2	Sin Información
Panchang et al. (1997)	Siphoning	3,2	Sin Información
Elberizon and Kelly (1998)	From aquarium	2,9	> 2,0 mm
Elberizon and Kelly (1998)	Tank outlet	1,5	> 0,5 mm
Chen et al. (1999)	Stripping	5,4	4,0 mm
Chen et al. (1999)	Netting	5,3	6,8 mm
Cromey et al. (2002a)	In situ trap	3,2	Sin Información

Fuente: Magill et al. (2005).

Se desprende de la tabla anterior, que existen estudios avanzados para determinar estas velocidades, ya que se requieren de múltiples análisis que determinen este parámetro; por lo demás, sabemos que este es un valor importante para nuestro estudio, ya que la velocidad de sedimentación es inversamente proporcional a la dispersión de este material en fondo marino. Cromey *et al.* (2002a), sostiene que la relación de la velocidad de sedimentación de las fecas de los peces está dada por una distribución normal.

$$u = 3.2 \left( \frac{cms}{seg} \right), \sigma = 1.1 \left( \frac{cms}{seg} \right)$$

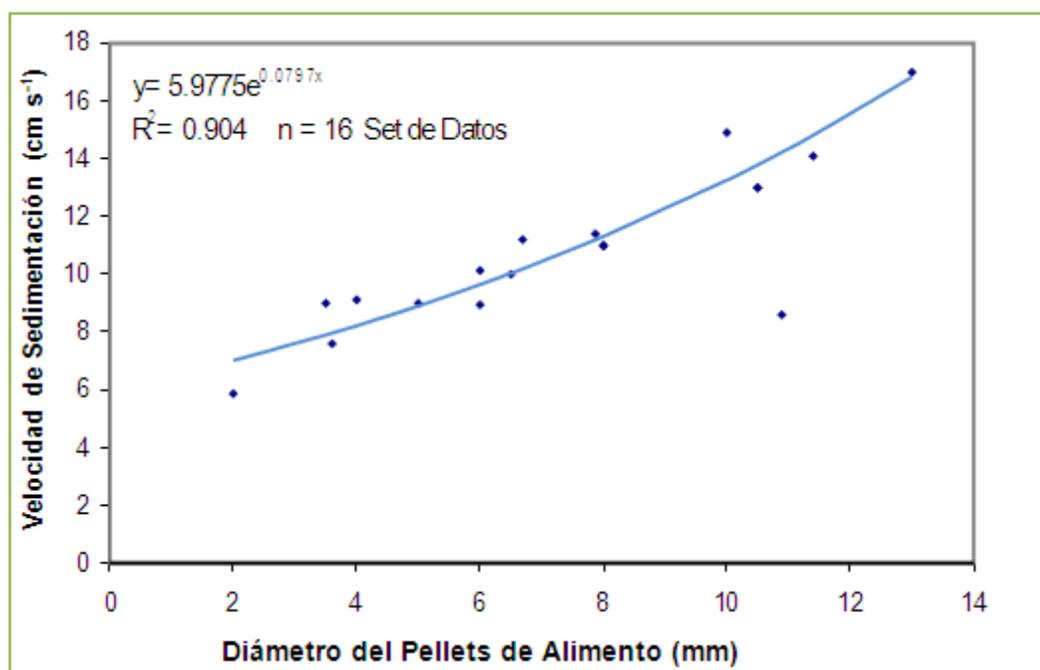
Indicando con ello que la velocidad de sedimentación del material fecal de los salmónidos presenta una distribución de probabilidad normal, la cual para los efectos de la modelación es mucho más realista que utilizar una velocidad de hundimiento constante.

### 9.3 Pellets de Alimento y Velocidad de Sedimentación

La velocidad de sedimentación de los pellets de alimento puede ser representada según Cromey *et al.* (2002a), por la relación que existente entre el diámetro del pellet del alimento entregado y la velocidad de sedimentación de la partícula. Un conjunto de 16 resultados de investigaciones en esta área presenta una media aproximada de 10,8 (cm/seg) y una desviación estándar de 2,7 (cm/seg).

Dado que se han entregado cuatro dietas distintas en el ciclo de producción, las cuales poseen un diámetro de pellets determinado, por ende presentan velocidad e hundimiento variable.

**FIGURA N° 64.-** Relación entre la velocidad de sedimentación y diámetro del pellet.



Fuente: (Cromey et al., 2002a).

Con la ecuación descrita por Cromey et al. (2002a), se podrían obtener fácilmente estos datos:

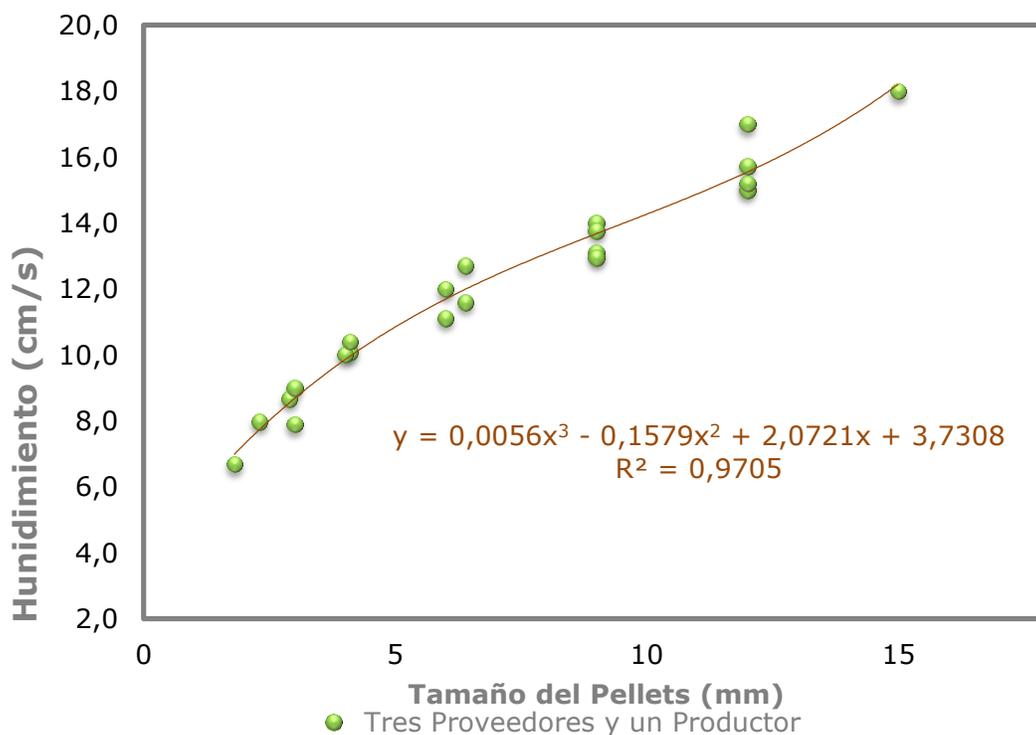
Ecuación de velocidad de sedimentación de los pellets de alimento.

$$V_{\text{sedimentación}} = 5.977e^{0.0797 \cdot \text{Diámetro del pellet}}$$

Sin embargo, para efectos del presente estudio, y considerando la realidad de nuestro país con respecto a los proveedores de pellets para la alimentación de salmónidos, se ha creado una base de datos correspondientes a la información entregada por 3 proveedores y un productor, donde se ha calculado una constante asociada a la velocidad de hundimiento del tamaño de cada pellet informado por las empresas, cuya curva de ajuste para las velocidades de sedimentación se puede observar en la FIGURA N°65.

**FIGURA N° 65.-** Relación entre la velocidad de sedimentación y diámetro del pellet usados en el presente estudio.

### Tamaño del Pellets y Velocidad de Hundimiento



Fuente: Elaboración propia (POCH Ambiental S.A. 2012) a partir de datos proporcionados por empresas proveedoras de alimento.

La velocidad de sedimentación es una componente importante del modelo, dado que de esta depende en gran parte si la partícula tomará grandes o bajas distancias de sus puntos de liberación (jaulas).

Se ofrece esta gráfica con el objeto de ser utilizada como guía para las futuras simulaciones, en donde la recomendación es utilizar la curva de ajuste equivalente al polinomio de grado 3.

$$y = 0,0056x^3 - 0,1579x^2 + 2,0721x + 3,7308$$

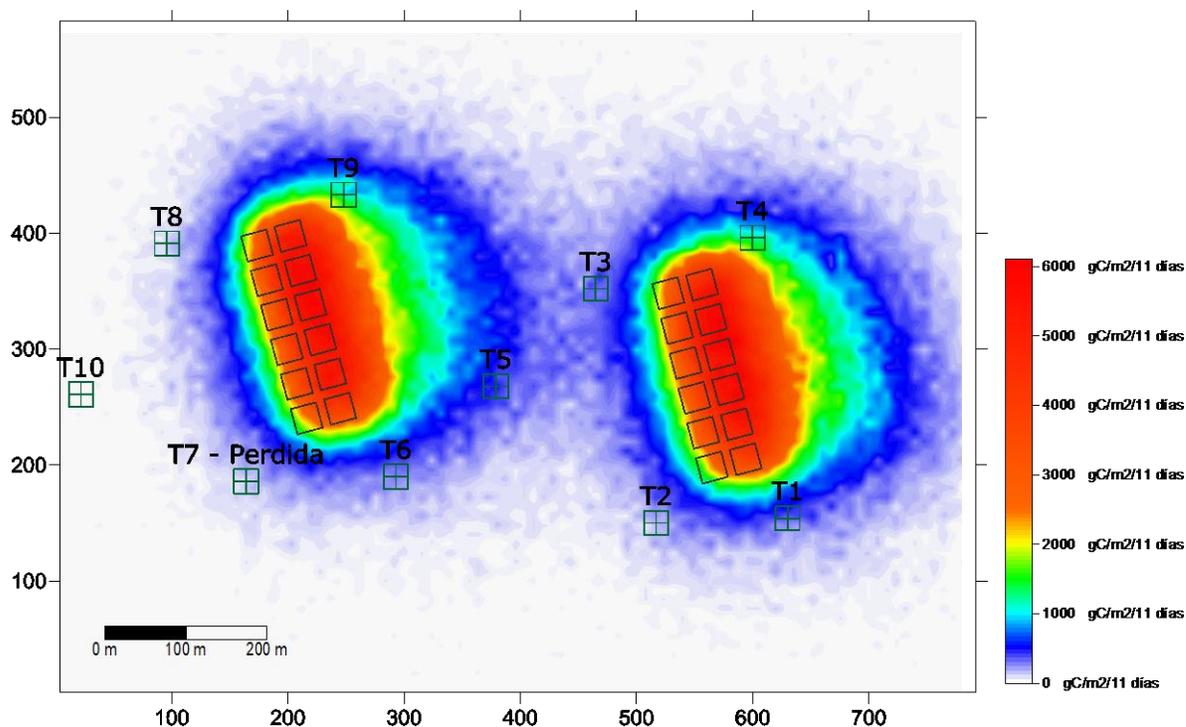
Donde:

X=tamaño del pellets

**Tabla N°36.-Parámetros de entrada al modelo simulación de los centros 1, 2 y 3.**

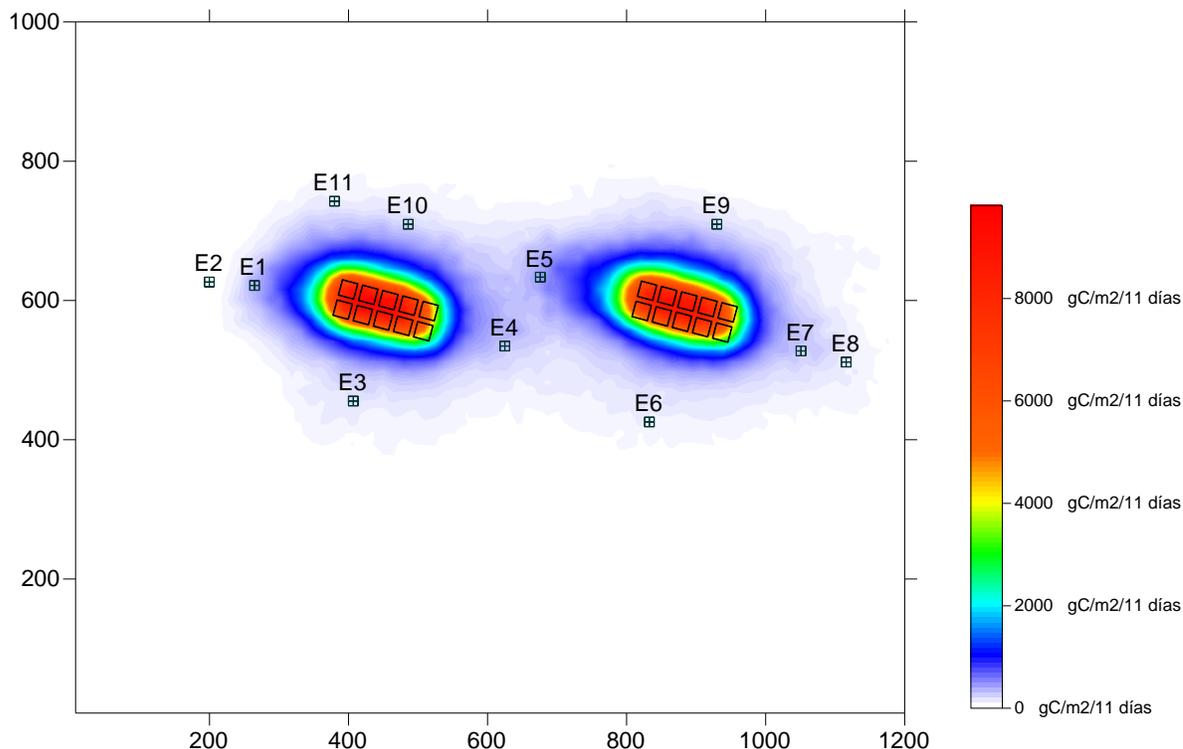
<b>Parámetros de Simulación Ciclo Completo (res22_c1, c2 y c3)</b>				
Generación de la Grilla	Unidad	C1	C2	C3
Mayor Grid	m	99x73	99x86	99x62
Mayor Grid Resolución de la Celda	m	8m	14.7m	11.6
Minor Grid	m	98x72	98x85	98x71
Minor Grid Resolución de la Celda	m	8m	14.7m	11.6
Fuente de la Batimetría		CPS	CPS	CPS
Número de Módulos	Unidades	2	2	2
Número de Jaulas Por Módulo	Unidades	12	10	12
Número Total de Jaulas del Cultivo	Unidades	24	20	24
Trayectoria de Partícula	Unidad			
Contenido de Agua en el Alimento	%	9	9	9
Digestibilidad	%	85	85	85
Porcentaje de Alimento no Consumido	%	5	5	5
Porcentaje de Carbono como Fecas	%	30	30	30
Número de Dietas Suministradas al Cultivo	Unidades	1	1	1
Tamaño del Pellets del Alimento Entregado	mm	4, 6, 9 y 12	4, 6, 9 y 12	4, 6, 9 y 12
Velocidad de Hundimiento del Pellets Proporcionado	m/s	Según grafica de velocidades de		
Tamaño de la Fecas	mm	1 mm	1 mm	1 mm
Velocidad de Hundimiento de las Fecas	m/s	0.032 ±0.01	0.032 ±0.01	0.032 ±0.01
Número de Partículas Simuladas	Nº	15	15	15
Tipo de Correntómetro		ADCP (Nortek, 600 KHz)		
Número de Capas Utilizadas para la Simulación	Unidades	5	5	5
Profundidades de las Capas de Corrientes	m	48.5-45.5-42.5-33.5-18.5	51.5-45.5-36.5-21.5-8.0	79.5-64.5-48.0-39.0-33
Profundidad total del Punto de Fondeo del Correntómetro	m	52	55	86
Longitud de los datos de Corrientes	Unidades	889	1440	852
Paso del tiempo de los datos de Corrientes	s	600	600	600
Altura media de la Marea	m	3	2.8	3
Evaluación de la exactitud de la trayectoria	s	60	60	60
Coefficiente de Dispersión Dirección Horizontal x (Kx)	m2	0,100	0,100	0,100
Coefficiente de Dispersión Dirección Horizontal y (Ky)	m2	0,100	0,100	0,100
Coefficiente de Dispersión Dirección Vertical (Kz)	m2	0,001	0,001	0,001
Periodo de tiempo utilizado para la Simulación	dias	7	11	7
Alimento Entregado durante el periodo de estudio	Kg/día	3597,57	487608	3597,57
Tipo de Jaula	r-c	Rectangular	Rectangular	Rectangular
Largo de cada Jaula	m	30	30	30
Ancho de cada Jaula	m	30	30	30
Profundidad de cada Jaula	m	18	18	18
Resuspensión				
Loops para corridas del modelo	Nº	5	5	5
Modelo de Resuspensión	Estado	Off	Off	Off
Unidad de Flujo para la Salida del Modelo		g C/m2	g C/m2	g C/m2
Modelo de Producción Primaria		Off	Off	Off
Utilización de Optimizador de Memoria		Off	Off	Off

**FIGURA N° 66.-** Simulación del flujo de depositación de material orgánico Centro 1 durante un ciclo productivo completo.



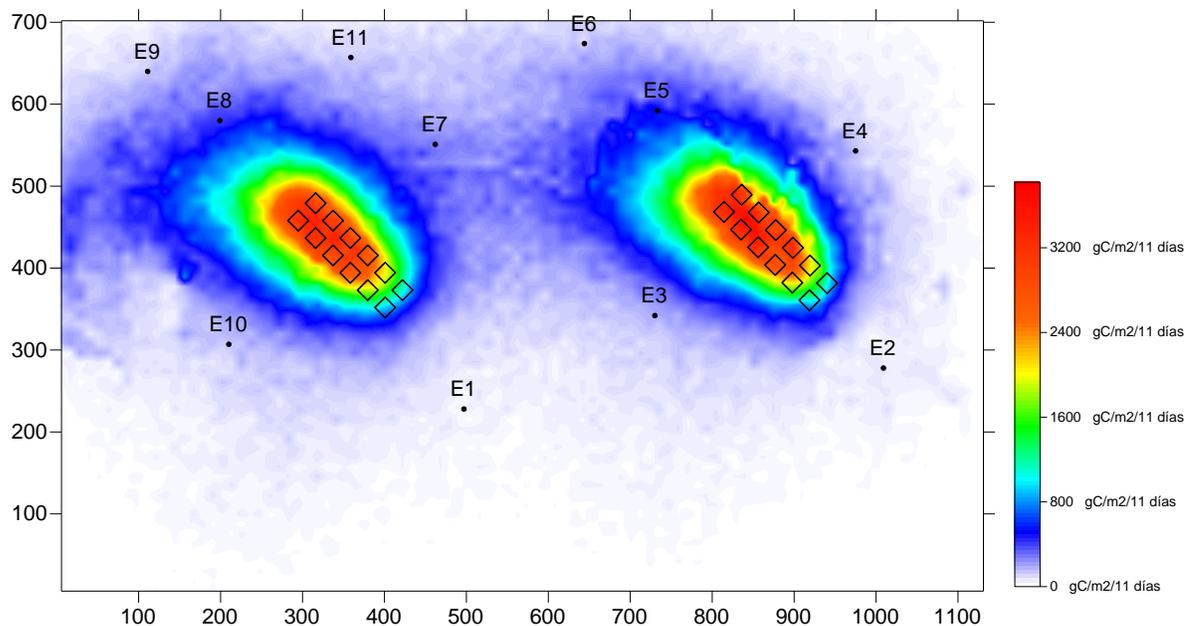
Para el Centro 1 (FIGURA N°66), la dispersión de los residuos se encuentra orientada en dirección Este-Noreste, coherente con lo exhibido por el vector progresivo registrado durante el periodo de medición de corriente correspondiente a este estudio (ver informe de corrientes, Anexo VIII). Además, los valores presentados en el Anexo V muestran que la perturbación del ecosistema igualmente esperaríamos encontrarse en estas áreas del cultivo – Zona Este-. Por otra parte, la simulación aportó además que el flujo máximo de depositación en el fondo marino es de  $6.112(\text{gC}/\text{m}^2)$ , en el punto 580E, 308N.

**FIGURA N° 67.-** Simulación del flujo de deposición de material orgánico Centro 2 durante un ciclo productivo completo.



Por su parte, y a partir del análisis de la simulación del Centro 2 (ver FIGURA N°67), la dispersión del flujo de COT en el sedimento se encuentra orientada en dirección el eje Este-Oeste, similar a la dirección del vector progresivo registrado durante el periodo de medición (ver Anexo informe de corrientes, Anexo VIII). Además, el registro de corrientes del sector da cuenta que en las primeras capas de la columna existen mayores magnitudes de la corriente promedio que las capas medias y de fondo; sin embargo, esta no genera una dispersión de partículas, la deposición de la partículas se concentran bajo las balsas jaulas, lo que puede explicarse dado que a partir de los 12 metros aproximadamente, las corrientes decrecen significativamente en magnitud, debilitando el efecto dispersivo del sector. Por su parte, los resultados de la simulación para el Centro 2, reporta que el flujo máximo de deposición en el fondo marino es de 9.812,5 (gC/m<sup>2</sup>/año), en el punto 436E, 599.4N.

**FIGURA N° 68.-** Simulación del flujo de deposición de material orgánico Centro 3 durante un ciclo productivo completo.



Del análisis de la simulación del Centro 3 puede observarse claramente que este presenta las mejores características dispersivas de material orgánico –valor máximo de flujo de COT de 3.817 ( $\text{gC}/\text{m}^2/\text{año}$ )-. La alta dispersión de sedimentos que presenta este sitio en particular puede explicarse debido a que existe una mayor magnitud de la corriente en las capas superficiales, superior a los otros dos centros, ayudada por la mayor profundidad del sitio.

De los resultados obtenidos a partir de las simulaciones anteriores, que consideraron sólo la variación de la componente hidrográfica en el modelo, se aprecia que la capacidad de dispersión de sedimentos del Centro 3 es superior a los otros dos centros, esto se debería a sus mayores valores de promedios de corrientes y su mayor profundidad.

## 11. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos bajo la condición de base para cada centro y aquellos obtenidos en los distintos escenarios simulados indican que existe una correlación entre los datos observados y los simulados. Este patrón indica en líneas generales que las áreas con mayor acumulación de sedimento predicho por el DEPOMOD, se corresponden con los máximos valores observados para las trampas de sedimento y con los valores acumulados en el sedimento mismo. Sin embargo, los órdenes de magnitud no se corresponden en forma proporcional al planteamiento en el proyecto, en la cual se establecía que los valores observados y simulados serían o podrían llegar a ser similares. Contrario a lo sugerido por diversos usuarios nacionales del DEPOMOD, esto podría significar que el programa estaría subestimando los valores reales.
- Independiente de las variables modificadas, los resultados indican que manteniendo los valores de dirección de corrientes el patrón de la figura de depositación de COT en el sedimento es la misma, variando sólo las áreas de mayor o menor impacto, aspecto relevante para establecer finalmente el impacto ambiental sobre el bentos. Esto es de suma importancia, porque teniendo un escenario de corrientes de al menos 30 días, el patrón de dispersión de COT sería el mismo, variando sólo la densidad en distintas áreas de sedimento. Esto implica que teniendo la información de corrientes, se pueden simular  $n$  escenarios distintos, donde se pueden establecer a priori las zonas de mayor impacto, y lo que es mejor aún, definir áreas de monitoreo para seguimientos ambientales futuros.
- Con respecto al índice AMBI, resultó ser buen indicador de calidad del sedimento, resultados que siguieron un patrón histórico y actual. Esto indica que teniendo modelada cierto escenario de peor condición en cada centro de cultivo, se podría establecer y delimitar previamente zonas particulares de seguimiento y vigilancia ambiental para cada centro de cultivo. Es más, el índice permitiría efectuar curvas de calibración entre los valores de COT en el sedimento y sus correspondientes valores AMBI, entendiendo, que el comportamiento de este índice podría ser centro-específico. Quedaría por definir áreas con estructura poblacional de macroinvertebrados similares, en cuyo caso las distintas historias de impacto permitirían aprovechar la información que entrega el índice AMBI.
- Hay que considerar que hubo muchas variables no controladas durante el presente proyecto, entre las cuales una data inferior a 30 días de correntometría juega un rol preponderante en los resultados. Por ejemplo, habría bastado que los datos de corrientes hubiesen sido mayores a los reales como para que los datos estuviesen subestimados. En este esquema de trabajo, los factores de dispersión también serían importantes de considerar.

- Existe una relación entre los valores de AMBI y la dispersión de carbono orgánico obtenida mediante modelación DEPOMOD. Los sectores con los mayores valores de AMBI (más perturbados) tienden a ubicarse en los sectores en donde el DEPOMOD predice la mayor cantidad de carbono orgánico depositado (mayor enriquecimiento orgánico).
- La relación AMBI – DEPOMOD antes descrita, puede llegar a diferir cuando el sitio de cultivo tenga más de un ciclo productivo. Se sabe que en un centro con producción, la recuperación natural del sedimento a una condición original puede significar años, por lo tanto, un centro con varios ciclos históricos, implica necesariamente que su sedimento tendrá superpuesta capas de depositación correspondientes a más de un ciclo. Por lo tanto, la única oportunidad en que se esperaría tener una correlación significativa entre AMBI-DEPOMOD (y cualquier variable con el DEPOMOD) debiese corresponder al término del primer ciclo productivo. A partir de este primer ciclo en adelante, existirá una tendencia a la pérdida de correlación entre las variables analizadas.
- Los valores promedio de AMBI exhiben buenas correlaciones con los índices comunitarios de Diversidad (Shannon-Weaver) y Dominancia (Simpson). Sin embargo, como se aprecia en los resultados, existe varianza no explicada, lo cual es natural en la dinámica existente en el bentos.
- La definición del grado de perturbación que se logra mediante el uso del índice AMBI deberían ser de mayor confiabilidad que el grado de perturbaciones que expresa el uso de índices comunitarios tales como Diversidad Shannon-Weaver.
- Debido a restricciones propias del índice, AMBI no puede ser aplicado a sectores que presenten sustrato duro. Al respecto, el sedimento es heterogéneo y el concepto de fondo blando básicamente estará ligado a la factibilidad de obtener una muestra “válida” mediante el uso de draga u otro artefacto de extracción de sedimento.
- A partir de los análisis cualitativos y cuantitativos desarrollados en este estudio referente al modelo DEPOMOD, se ha constatado que a pesar de que no se evidencia una correlación tan fuerte como se esperaría entre los valores reportados por el modelo DEPOMOD y los valores observados en las trampas de sedimento, sí es posible indicar 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.

**Sandro Araneda Repossi**  
**Jefe de Área Estudios Acuáticos y Oceanográficos**  
**POCH AMBIENTAL**