
TERMINAL PORTUARIO DE MANTA

Modelo Dinámico de Dispersión por la Actividad de Dragado

01 de octubre de 2021

INFORME FINAL

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	10
2. OBJETIVOS	10
2.1. Objetivo General	10
2.2. Objetivos Específicos	10
3. ÁREA DE ESTUDIO	11
3.1. Ubicación	11
3.2. Dragado del Puerto.....	12
3.2.1. Metodología de Dragado en el Puerto de Manta 2017/2018	12
4. ESTUDIOS OCEANOGRÁFICOS	21
4.1. Cronograma de trabajos en campo	21
4.2. Corrientes.....	22
4.2.1. Corrientes Ecuatoriales	22
4.2.2. Corrientes en el área de estudio	24
4.3. Olas.....	34
4.3.1. Olas en el área de estudio	35
4.3.2. Olas en Sitio de Depósito	38
4.4. Sedimentos	41
4.4.1. Sólidos de Fondo	41
4.4.2. Sólidos Suspendidos Totales.....	47
4.5. Comportamiento del dragado sobre los organismos bentónicos	53
4.5.1. Organismos bentónicos	53
4.5.2. Estudios de organismos bentónicos en TPM	55
4.5.3. Descarga del material dragado	57
5. MODELAMIENTO MATEMÁTICO	58
5.1. Aspectos generales de los modelos numéricos.....	58
5.2. Mike 21/3.....	59
5.2.1. Módulo Hidrodinámico (HD)	59
5.2.2. Módulo de Oleaje Espectral (SW)	60
5.2.3. Módulo de Transporte de Sedimentos (ST)	61
5.2.4. Módulo de Seguimiento de Partículas (PT).....	62
5.3. Hipótesis	62
5.4. Metodología para realizar el modelamiento numérico	63
5.4.1. Procesamiento	63
5.5. Configuración y Calibración del Modelo MIKE 21/3	65

5.5.1.	Descripción del dominio de aplicación	65
5.5.2.	Condiciones Iniciales	65
5.5.3.	Discretización Espacial.....	67
5.5.4.	Especificaciones de parámetros de entrada del modelo	68
5.5.5.	Calibración.....	69
5.6.	Análisis de Información	70
5.6.1.	Vientos	70
5.6.2.	Oleaje	71
5.6.3.	Corrientes.....	71
5.6.4.	Temperatura y Salinidad.....	72
5.6.5.	Sedimentos.....	72
5.6.6.	Topobatimetría	72
5.7.	Resultados del modelamiento con MIKE21/3 en el Puerto de Manta ..	73
5.7.1.	Escenario F1.....	73
5.7.1.	Escenario R1	75
5.7.2.	Escenario F2.....	77
5.7.3.	Escenario R2	82
5.7.1.	Escenario F3.....	85
5.7.2.	Escenario R3	90
5.8.	Aplicación de la Ley de Stokes en el Puerto de Manta.....	94
6.	CONCLUSIONES	102
7.	COMENTARIOS	103
8.	BIBLIOGRAFÍA	104
9.	ANEXOS	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Área de depósito de material	12
Figura 2.	Área de dragado, Obra de dragado 2018	13
Figura 3.	Zona de dragado (Azul BHD – Verde TSHD)	15
Figura 4.	Definición de cuadrícula para el depósito de material	16
Figura 5.	Ciclo de trabajo de una TSHD	16
Figura 6.	Navegación de draga TSHD hacia zona de dragado de TPM	17
Figura 7.	Proceso de dragado en las área de atraque de TPM	18
Figura 8.	Cantara de TSHD llena y descarga a través de las compuertas	18
Figura 9.	Navegación de la draga TSHD desde zona de dragado hasta sitio de vertido.....	19

Figura 10. Ciclo de trabajo de una BHD-SHB	19
Figura 11. Dragado y descarga en barcaza SHB.....	20
Figura 12. Barcaza Split Hopper operando en zona de descarga	20
Figura 13. Navegación de la barcaza SHB desde zona de dragado hasta sitio de vertido.....	21
Figura 14. Cronograma de trabajos en campo	22
Figura 15. Esquema de la circulación Océano Pacífico.....	22
Figura 16. Corrientes a 50 m. El color de las flechas corresponde la temperatura. La barra vertical a la derecha es la escala utilizada para océano.	24
Figura 17. Distribución de las corrientes en la Estación ECC7 durante época seca	25
Figura 18. Programación y recuperación de registro medido de correntómetro	25
Figura 19. Ubicación de correntómetro ADCP	26
Figura 20. Data marea del 9 y 10 de septiembre 2021	26
Figura 21. Horas tomadas en cuenta para la filtración de data	27
Figura 22. Cálculo de frecuencias / corrientes	27
Figura 23. Módulo de la velocidad (Superficie-flujo).....	28
Figura 24. Dirección del módulo de la velocidad (superficie-Flujo).	29
Figura 25. Módulo de la velocidad (Superficie-Reflujo).	29
Figura 26. Dirección del módulo de la velocidad (superficie-Reflujo).	30
Figura 27. Módulo de la velocidad (Media-Flujo).....	30
Figura 28. Dirección del módulo de la velocidad (Media-Flujo).....	31
Figura 29. Módulo de la velocidad (Media-Reflujo).....	31
Figura 30. Dirección del módulo de la velocidad (Media-Reflujo).....	32
Figura 31. Módulo de la velocidad (Fondo-Flujo).	32
Figura 32. Dirección del módulo de la velocidad (Fondo-Flujo).....	33
Figura 33. Módulo de la velocidad (Fondo-Reflujo).	33
Figura 34. Dirección del módulo de la velocidad (Fondo-Reflujo).....	34
Figura 35. Estación virtual de olas	35
Figura 36. Máximo de altura mensual de oleaje.....	37
Figura 37. Programación y recuperación de registro medido de ológrafo	38
Figura 38. Ubicación de ológrafo	39
Figura 39. Altura significativa de Ola de Manta en el punto de estudio	39
Figura 40. Periodo de Ola de Manta en el punto de estudio.....	40
Figura 41. Dirección de Ola de Manta en el punto de estudio.	40
Figura 42. Características sedimentológicas de las 17 estaciones. a) Ubicación de las estaciones. b) Según su textura. c) Según el diámetro medio.	41
Figura 43: Ubicación de estaciones para toma de muestras de fondo.	43
Figura 44. Muestreo mediante Draga Van Veen.	44
Figura 45. Toma de muestras de sedimentos.....	45
Figura 46. Lance de botella Van Door.	50
Figura 47. Ubicación de estaciones de muestreo de sólidos suspendidos.	51
Figura 48: Resultados del parámetro SST en la columna de agua en la estación 1 para los estados de flujo y reflujo.....	52
Figura 49. Regiones de profundidades (bentos)	54
Figura 50. Adquisición de muestras bentónicas.....	56

Figura 51. Distribución de seres bentónicos en el área de estudio, TPM 2 de marzo 2018..... 57

Figura 52. Diagrama de la Metodología a emplear para el Modelamiento en el Puerto de Manta 64

Figura 53. Batimetría Puerto de Manta Aplicada al modelo..... 66

Figura 54. Mallas flexibles no estructuradas y anidadas, creadas para el modelamiento con MIKE 21/3 en el Puerto de Manta 68

Figura 55. Mallas estructuradas y anidadas como ejemplo para la representación en 3D del modelamiento con MIKE 21/3 69

Figura 56. Comparación de las elevaciones de la superficie del agua simulada y medida en WS2 durante la calibración 70

Figura 57. Mapa de distribución aproximada de los sedimentos según su diámetro medio, incluyendo la profundidad a la que fue tomada la muestra 72

Figura 58. Levantamiento Topobatimétrico en la Zona del Puerto de Manta ... 73

Figura 59. Cambio total de sedimento en fondo para F1 con $t=1$ 74

Figura 60. Cambio total de sedimento en fondo para F1 con $t=60$ 74

Figura 61. Cambio total de sedimento en fondo para F1 con $t=180$ 75

Figura 62. Cambio total de sedimento en fondo para F1 con $t=300$ 75

Figura 63. Cambio total de sedimento en fondo para R1 con $t=420$ 76

Figura 64. Cambio total de sedimento en fondo para R1 con $t=480$ 76

Figura 65. Cambio total de sedimento en fondo para R1 con $t=600$ 77

Figura 66. Cambio total de sedimento en fondo para R1 con $t=660$ 77

Figura 67. Modelado de descarga de material dragado para F2 con $t=0$ en Superficie..... 78

Figura 68. Modelado de descarga de material dragado para F2 con $t=60$ en Superficie..... 78

Figura 69. Modelado de descarga de material dragado para F2 con $t=60$ en Media. 79

Figura 70. Modelado de descarga de material dragado para F2 con $t=60$ en Fondo..... 79

Figura 71. Modelado de descarga de material dragado para F2 con $t=300$ en Superficie..... 80

Figura 72. Modelado de descarga de material dragado para F2 con $t=300$ en Media. 80

Figura 73. Modelado de descarga de material dragado para F2 con $t=300$ en Fondo..... 81

Figura 74. Corte vertical del campo de la concentración de sedimento suspendido en la zona de estudio para F2..... 81

Figura 75. Modelado de descarga de material dragado para R2 con $t=0$ en Superficie..... 82

Figura 76. Modelado de descarga de material dragado para R2 con $t=60$ en Superficie..... 82

Figura 77. Modelado de descarga de material dragado para R2 con $t=60$ en Media. 83

Figura 78. Modelado de descarga de material dragado para R2 con $t=60$ en Fondo..... 83

Figura 79. Modelado de descarga de material dragado para R2 con t=240 en Superficie.....	84
Figura 80. Modelado de descarga de material dragado para R2 con t=240 en Media.	84
Figura 81. Modelado de descarga de material dragado para R2 con t=240 en Fondo.....	85
Figura 82. Corte vertical del campo de la concentración de sedimento suspendido en la zona de estudio para R2.	85
Figura 83. Modelado de descarga de material dragado para F3 con t=0 en Superficie.....	86
Figura 84. Modelado de descarga de material dragado para F3 con t=60 en Superficie.....	86
Figura 85. Modelado de descarga de material dragado para F3 con t=60 en Media	87
Figura 86. Modelado de descarga de material dragado para F3 con t=60 en Fondo.....	87
Figura 87. Modelado de descarga de material dragado para F3 con t=300 en Superficie.....	88
Figura 88. Modelado de descarga de material dragado para F3 con t=300 en Media	88
Figura 89. Modelado de descarga de material dragado para F3 con t=300 en Fondo.....	89
Figura 90. Corte vertical del campo de la concentración de sedimento suspendido en la zona de vertido para F3	89
Figura 91. Modelado de descarga de material dragado para R3 con t=0 en Superficie.....	90
Figura 92. Modelado de descarga de material dragado para R3 con t=60 en Superficie.....	91
Figura 93. Modelado de descarga de material dragado para R3 con t=60 en Media.	91
Figura 94. Modelado de descarga de material dragado para R3 con t=60 en Fondo.....	92
Figura 95. Modelado de descarga de material dragado para R3 con t=240 en Superficie.....	92
Figura 96. Modelado de descarga de material dragado para R3 con t=240 en Media.	93
Figura 97. Modelado de descarga de material dragado para R3 con t=240 en Fondo.....	93
Figura 98. Corte vertical del campo de la concentración de sedimento suspendido en la zona de estudio para R2.	94
Figura 99. Esquema de dispersión de sedimentos, escenario F2.....	96
Figura 100. Esquema de dispersión de sedimentos, escenario R2	97
Figura 101. Esquema en planta de dispersión de sedimentos, escenario F2	98
Figura 102. Esquema perfil de dispersión de sedimentos, escenario F2	98
Figura 103. Esquema en planta de dispersión de sedimentos, escenario F3	99
Figura 104. Esquema perfil de dispersión de sedimentos, escenario F3	99
Figura 105. Esquema en planta de dispersión de sedimentos, escenario R2 ...	100

Figura 106. Esquema perfil de dispersión de sedimentos, escenario R2..... 100
Figura 107. Esquema en planta de dispersión de sedimentos, escenario R3... 101
Figura 108. Esquema perfil de dispersión de sedimentos, escenario R3..... 101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenada de la zona de disposición..... 12
Tabla 2. Coordenada de zona de disposición 13
Tabla 3. Dragas tolva de succión por arrastre PEDRO ALVARES CABRAL..... 14
Tabla 4. Dragas retroexcavadora Postnik Yakovlev 14
Tabla 5. Barcaza autopropulsada de casco partido ASTROLABE..... 14
Tabla 6. Barcaza autopropulsada de casco partido CONCEPCION 15
Tabla 7. Coordenada de instalación de correntómetro 25
Tabla 8. Resumen para data de corrientes 28
Tabla 9. Altura Significativa de Rompiente 35
Tabla 10. Coordenada de instalación de olígrafo..... 38
Tabla 11. Equipos utilizados para obtener las características de fondo. 42
Tabla 12. Ubicación de los puntos de muestreo de Sólidos de Fondo..... 43
Tabla 13. Resumen de resultados de muestras de Sólidos de Fondo. 46
Tabla 14. Resultados de muestreo de Sólidos de Fondo. 47
Tabla 15. Resultados de muestreo de Sólidos de Fondo..... 47
Tabla 16. Equipos y materiales utilizados en el monitoreo de sólidos suspendidos en el agua..... 48
Tabla 17. Condiciones de muestreo para los SST. 51
Tabla 18. Proporción de seres bentónicos colectados vivos en muestreo con draga. TPM 2 de marzo 2018 56
Tabla 19. Actividades para la Ejecución del Modelamiento en el Puerto de Manta. 65
Tabla 20. Escenarios previstos para el modelo 3D. 66
Tabla 21. Consideraciones para cada escenario evaluado..... 67
Tabla 22. Parámetros de entrada del módulo de Dispersión de Partículas en Mike 21/3. 69
Tabla 23. Velocidades máximas y medias en la Zona del Puerto de Manta 71
Tabla 24. Tiempo y distancia de sedimentación de partículas finas en Flujo..... 95
Tabla 25. Tiempo y distancia de sedimentación de partículas finas en Reflujo. 96

GLOSARIO

ALTURA DE OLA: Distancia vertical entre una cresta y el seno precedente.

ARENA: Material granular con comportamiento friccionante. Fracción de suelo cuyas partículas tienen un tamaño comprendido entre 0.08 mm y 2 mm (aprox.). Fina hasta 0.2 mm; media hasta 0.6 mm; gruesa por encima de 0.6 mm.

BAJAMAR: Momento opuesto a la pleamar, en que el mar alcanza su menor altura.

BENTOS: Es el conjunto de organismos que habita o se encuentra asociado al fondo de los cuerpos de agua.

DECÁPODOS: Son un orden de crustáceos dentro de la clase Malacostraca, con muchos grupos familiares, como cangrejos y centollas, langostas, bogavantes y cigalas, camarones, langostinos, entre otros.

DRAGADO: extracción de materiales del fondo

DRAGADO DE MANTENIMIENTO: aquel realizado para asegurar que los canales de navegación o zonas de atraque o fondeo portuario mantienen sus dimensiones (superficie y profundidad) de diseño.

ENDOENTOS: Organismos que viven enterrados en el sustrato.

EPIBENTOS: Organismos que habitan sobre la superficie del sustrato.

ESLABÓN: Elemento que sirve de enlace y relación en una serie de cosas.

FINOS: Partículas de tamaño inferior al tamiz 200 ASTM (0.076 mm) o 0.080 UNE (0.08 mm). En escolleras, suele aplicarse a los fragmentos inferiores a 1" o 25 mm.

GASTERÓPODOS: Clase de moluscos dotados de un pie carnoso que les sirve para arrastrarse, con el cuerpo generalmente protegido por una concha o caparazón de una sola pieza, y uno o dos pares de tentáculos sensoriales en la cabeza.

GRAVA: Material granular con comportamiento friccionante. Fracción de suelo cuyas partículas tienen un tamaño comprendido entre 2 mm y 60 mm (aprox.). Fina hasta 6 mm; media hasta 20 mm; gruesa por encima de 20 mm.

HIPERBENTOS: Organismos con buena capacidad de nado que realizan migraciones verticales sobre el sustrato.

HOLOTÚRIDOS: Del grupo de los equinodermos, de cuerpo alargado con tegumento blando que tiene en su espesor gránulos calcáreos de tamaño microscópico, boca y ano en los extremos opuestos del cuerpo, tentáculos retráctiles y más o menos ramificados alrededor de la boca.

PHYLUM: Es una división taxonómica importante de organismos vivos que contienen una o más clases.

PLEAMAR: Estado más alto o altura máxima alcanzada por la marea.

RED TRÓFICA: se emplea para nombrar a la interrelación que establecen los seres vivos que se alimentan unos de otros en un cierto orden.

SÉSILES: Se aplica al órgano u organismo insertado directamente a un sustrato por su base.



1. ANTECEDENTES

Como nodos logísticos, los Puertos Marítimos son esenciales para el Comercio Internacional de un país, el Ecuador comprendiendo esta realidad, a través de un proceso de Gestión Delegada, otorgó la administración y Operación del Terminal Portuario Internacional del Puerto de Manta a TPM (Terminal Portuario de Manta).

Una vez que TPM inició las operaciones el cuidado al Ambiente fue y es uno de sus pilares fundamentales, base también para el respeto al entorno social a fin de llevar una convivencia adecuada sin que existan afectaciones que no puedan ser prevenidas o mitigadas, para lo cual obtuvo su Licencia Ambiental luego de cumplir todos los requisitos establecidos por la Autoridad Ambiental Nacional (Ministerio de Ambiente del Ecuador).

Como parte de las obras que se deben realizar para mejorar la competitividad del Puerto y alcanzar los hitos contractualmente establecidos, está el dragado de la dársena del puerto, constituida por el área de maniobra y puestos de atraque.

Se efectuó en 2017/2018 un dragado de la dársena del Puerto de Manta, la cual se enmarcó desde el punto de vista ambiental y social estrictamente a lo establecido en el Plan de Manejo Ambiental y no presentó afectaciones al ecosistema.

TPM, aspira realizar nuevamente las operaciones de dragado y requiere verificar de forma predictiva el comportamiento del material en el sitio de depósito, para lo cual se empleará Modelamientos Matemático para analizar el comportamiento del sedimento en el área de depósito, que se encuentra a 2.50 km distanciado del área de la punta del rompeolas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Desarrollar un modelamiento numérico para presentar el comportamiento de dispersión de sedimentos dragado y depositados aproximadamente a 2.50 km del área dragada en el Puerto de Manta, Provincia de Manabí, Ecuador como evaluación marino - ambiental.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar mediciones y análisis de corrientes por el método Euleriano.
- Realizar mediciones y análisis de olas con olígrafo.
- Instalar y analizar data de mareógrafo
- Tomar muestras de sólidos suspendidos
- Tomar muestras de sólidos de fondo

- A través del modelo MIKE 21/3 (3D), determinar el transporte disperso de sedimento depositado por labores de dragado en la zona de los muelles y sitios de atraque del Puerto de Manta.
- Estimar las condiciones en cada escenario para el flujo y reflujo de la marea en el Puerto de Manta.
- Representar la evolución de la dispersión del sedimento en la columna de agua donde se hace el vertido.

3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1. Ubicación

El Puerto de Manta se encuentra ubicado en la ciudad de Manta, en la provincia de Manabí, Ecuador, con una latitud de 0°57' S y una longitud de 80°43'O.

Los buques pueden acceder tanto del Norte, Sur, como del Oeste y opera los 365 días del año.

Se encuentra a 56 millas de la línea equinoccial, ventaja geográfica que lo hace equidistante a los mercados ubicados en la costa Oeste del Pacífico, en el Este de la costa atlántica y en Sudamérica.

Es un Puerto abierto al mar con una dársena y tramo de canal de acceso, con una profundidad actual de diseño de 12.50 m referidas al MLWS luego de las intervenciones de trabajo de dragado realizadas en el año 2017/2018. Existen depresiones de 15 y 18 metros a solo 150 y 400 metros de distancia, respectivamente del rompeolas.

El área de intervención de los trabajos de dragado corresponde al área de dársena y tramo de canal de acceso, el vertido o depósito del material se realizará en altamar, área que será sujeto al modelo de dispersión por la actividad.

La zona de depósito del material abarca un área de 35.10 has aproximadamente y se encuentra ubicada al noroeste del Rompeolas a 1.4 millas náuticas del área de dragado y rumbo de 0.37° RV, donde existen profundidades promedio de 50 m.



Figura 1. Área de depósito de material
Fuente: Google Earth, 2021

En la siguiente tabla se presenta las coordenadas de los vértices que conforman el área de depósito.

Tabla 1. Coordenada de la zona de disposición

COORDENADAS UTM WGS 84 (ZONA 17S)		
Vértice	X (m)	Y (m)
P1	532372	9899766
P2	533044	9900040
P3	533315	9899632
P4	532636	9899354

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021

3.2. Dragado del Puerto

3.2.1. Metodología de Dragado en el Puerto de Manta 2017/2018

Entre noviembre 2017 y febrero 2018 se llevó a cabo la obra de dragado para las áreas de atraque, área de reviro y tramo de canal de acceso al Terminal Portuario de Manta y su vertido entre las coordenadas del área descrita en la Figura 1 y Tabla 1, la cual se propone ser empleada para la siguiente fase de dragado del terminal.

3.2.1.1. Alcance de los trabajos

Los trabajos consistieron en la ejecución del dragado en las áreas: atracadero 4 del Muelle 1, área entre Muelle 1 y 2, Área de Reviro y Tramo del Canal de Acceso al Terminal Portuario de Manta hasta la profundidad de 12.5 m MLWS, del área de atraque 1 del Muelle 1 a una profundidad de 11.0 m MLWS y área del muelle de servicio hasta la profundidad de 9.0 m MLWS, con un talud de diseño 10H:1V a excepción de la zona de muelle que será de 1H:1V.



Figura 2. Área de dragado, Obra de dragado 2018

Fuente: Carta Náutica IOA 104010, 2019

3.2.1.2. Tipo de material y volúmenes de dragado

El material extraído de las zonas intervenidas estuvo constituido por arena en su mayor proporción por material suelto, del tipo de arena densa y fina con presencia de fangos con conchas y gravillas.

El total de volumen de material dragado en cada una de las zonas hasta las cotas definidas se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2. Coordenada de zona de disposición

Áreas	Volumen (m ³)
Dragado áreas (Atracadero 4, Dársena de giro, Canal de acceso)	1,382,644.00
Dragado áreas (Atracadero 1, Atracadero 2 y 3, Muelle de servicio)	102,946.00
Dragado áreas de anexas Atracadero 1	9,321.00
Dragado áreas anexas entre atracaderos	3,550.00
TOTAL	1,498,461.00

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2018

3.2.1.3. Equipos empleados

Dependiendo del tipo de material, condiciones del área de trabajo y características de la draga, se llevó a cabo 2 metodologías de trabajo, para lo cual se utilizaron los siguientes equipos:

Metodología 1

- ✓ Dragas Tolva de succión por arrastre (TSHD) "PEDRO ALVARES CABRAL" (o similar)

Metodología 2

- ✓ Dragas Retroexcavadora (BHD) "POSTNIK YAKOVLEV" (o similar)
- ✓ Dos barcasas autopropulsadas de casco partido (SHB) "ASTROLABE" y "CONCEPCION" (o similares)

Especificaciones Técnicas del Equipo Metodología 1:

Tabla 3. Draga tolva de succión por arrastre PEDRO ALVARES CABRAL

	Capacidad de Tolva	14,000 m ³
	Peso muerto	26,530 ton
	Eslora total	147.8 m
	Manga	30.0 m
	Calado con tolva llena	11.2 m
	Máxima profundidad de dragado	43.8 / 52 m
	Diámetro tubería de succión	1,300 mm
	Potencia de bomba (dragando)	4,400 kW
	Potencia de bomba (descargando)	8,500 kW
	Potencia de propulsión	2 x 7,200 kW
	Potencia total instalada	15,960 kW
	Velocidad	15.7 kn
	Capacidad tripulación	33
Año de construcción	2012	

Fuente: JDN, 2021

Especificaciones Técnicas del Equipo Metodología 2:

Tabla 4. Draga retroexcavadora Postnik Yakovlev

	Eslora total	66.9 m
	Manga	21.6 m
	Calado	3.35 m
	Profundidad de dragado	18 / 26 / 32 m
	Tipo de Excavadora	Backacter 1100
	Capacidad de balde	15 / 25 / 40 m ³
	Potencia total instalada	4,126 kW
	Potencia de Excavadora	3,800 KW
	Año de construcción	2009 / 2013

Fuente: JDN, 2021

Tabla 5. Barcaza autopropulsada de casco partido ASTROLABE

	Capacidad de Tolva	3,700 m ³
	Peso muerto	6,310 ton
	Eslora total	99.5 m
	Manga	19.4 m
	Calado con tolva llena	5.85 m
	Potencia de propulsión	2 x 1,850 kW
	Potencia Bow Thruster	550 kW
	Velocidad	13 kn
	Capacidad tripulación	10
	Año de construcción	2010

Fuente: JDN, 2021

Tabla 6. Barcaza autopropulsada de casco partido CONCEPCION

	Capacidad de Tolva	1,800 m ³
	Peso muerto	3,400 ton
	Eslora total	80.3 m
	Manga	17.2 m
	Calado con tolva llena	4.75 m
	Potencia de propulsión	2 x 785 kW
	Potencia Bow Thruster	300 kW
	Velocidad	11.0 kn
	Capacidad tripulación	10
	Año de construcción	2009 / 2010

Fuente: JDN, 2021

3.2.1.4. Procedimiento de dragado

Conforme a lo establecido en el estudio de suelos, se trató de un dragado de material suave y fino que se pudo dragar con una TSHD o BHD.

La BHD trabajó en conjunto con las SHBs. La BHD se concentró en dragar las áreas fuera de alcance del tubo de succión de la TSHD. Estas áreas se encuentran próximas a las estructuras portuarias existentes, particularmente el ángulo formado entre la línea de amarre de los puestos de atraque y la escollera.

La TSHD se encargó de dragar el resto de la fosa de atraque, el área de reviro y el canal de acceso áreas marcadas en color verde en la Figura 3.

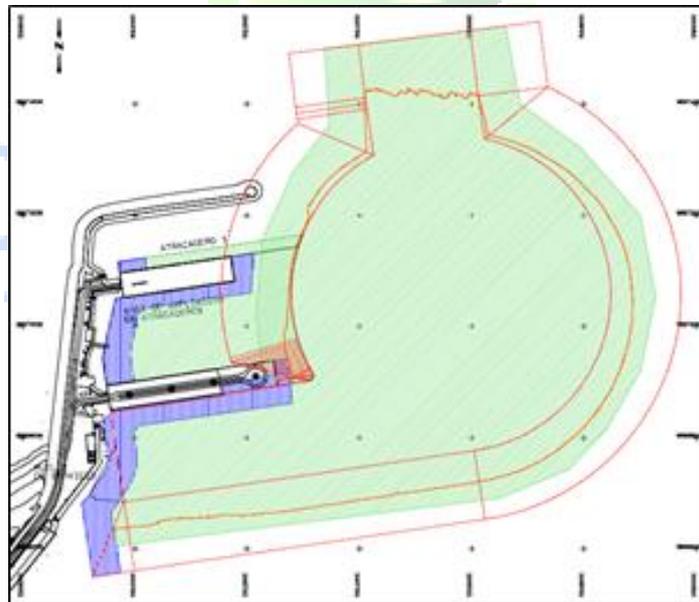


Figura 3. Zona de dragado (Azul BHD – Verde TSHD)

Fuente: Documento dragado TPM, 2018.

Área de depósito de material dragado

Ambos equipos, las barcasas y la draga de tolva, descargaron el material dragado en la zona de depósito descrita en la sección 4 – Área de estudio.

Se definió una cuadrícula en el área de depósito a fin de determinar un plan de descarga para cada equipo garantizando de esta manera una distribución equitativa del material dragado tal como se muestra en la siguiente figura. Esto se controló mediante batimetrías periódicas y el plan de descarga se ajustó acorde a los resultados si fuera necesario.



Figura 4. Definición de cuadrícula para el depósito de material

Fuente: Documento dragado TPM, 2018.

Ciclo de trabajo de una TSHD

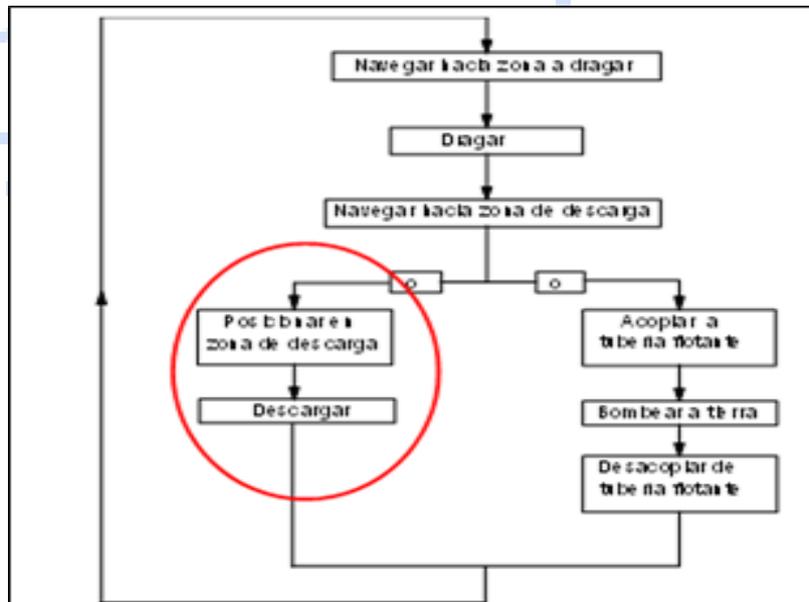


Figura 5. Ciclo de trabajo de una TSHD

Fuente: Documento dragado TPM, 2018.

Las actividades convencionales del dragado en marcha por arrastre se pueden dividir en las siguientes actividades consecutivas: cargar (dragar), navegar

cargado, descargar y regresar con tolva vacía. El conjunto de estas cuatro actividades se llama un ciclo de dragado.

Navegar hacia la zona a dragar

El ciclo de dragado empieza cuando la draga con tolva vacía navega hacia la zona de dragado, utilizando los sistemas de navegación muy precisos y desarrollados dentro de la compañía. En esta fase del ciclo de dragado, la draga portadora se considera un cargo normal.



Figura 6. Navegación de draga TSHD hacia zona de dragado de TPM

Fuente: Documento dragado TPM, 2018.

Dragar

El sistema de dragado de una TSHD consiste de uno o dos tubos de succión, cada una impulsada por una bomba centrífuga de gran potencia, llamada la bomba de arena. Al dragar, en un proceso similar al de pasar el aspirador en casa, el extremo inferior de los tubos de succión (cabezal de succión) se arrastran por fondo del mar, mientras que las bombas de arena proporcionan la fuerza de succión para levantar los materiales y transportarlos hacia la tolva.

Una vez que la draga se encuentra cerca de la zona de dragado, se reduce la velocidad de navegación y los tubos de succión se levantarán por la borda y se bajarán al fondo del mar.

Al levantar los materiales del fondo del mar, se bombearán hacia la tolva como una mezcla de suelo y agua. Se prestará atención a minimizar el contenido de agua en la mezcla.



Figura 7. Proceso de dragado en las área de atraque de TPM
Fuente: Documento dragado TPM, 2018.

Navegar hacia la zona de descarga

En cuanto que la draga portadora se cargue completamente, los tubos de succión se levantarán de nuevo a bordo y se navegará hacia la zona para descargar el material. Durante este traslado, la draga portadora se navega como cargo normal.

Descargar

Hay varias maneras para descargar la carga de tolva y la manera más utilizada es descargar a través de las compuertas (Figura 8) siendo ésta la más rápida.

Cuando la draga portadora llegó a la zona de descarga autorizada y el oficial de derrota está seguro de que la draga portadora se encuentra exactamente en la zona donde se debe descargar la carga de tolva, entonces se dará la orden para abrir las compuertas descargando la carga de tolva.

Es importante resaltar que el material que la draga succiona hacia las tolvas y por el ende el material que va descargar está compuesta de básicamente un 70% de sedimento y un 30% de agua, es decir con una capacidad en la tolva de 14,000 m³, la draga descarga en el sitio de depósito 9,800 m³ de sedimento aproximadamente cada 2. 5 horas que dura un ciclo de dragado.



Figura 8. Cantara de TSHD llena y descarga a través de las compuertas
Fuente: Documento dragado TPM, 2018.

Los chorros de agua dentro de la tolva asegurarán que la tolva se vacía completamente y no quedan ningunos materiales de dragado antes de cerrar las compuertas.

Al regresar a la zona a dragar, se puede iniciar un nuevo ciclo de dragado.

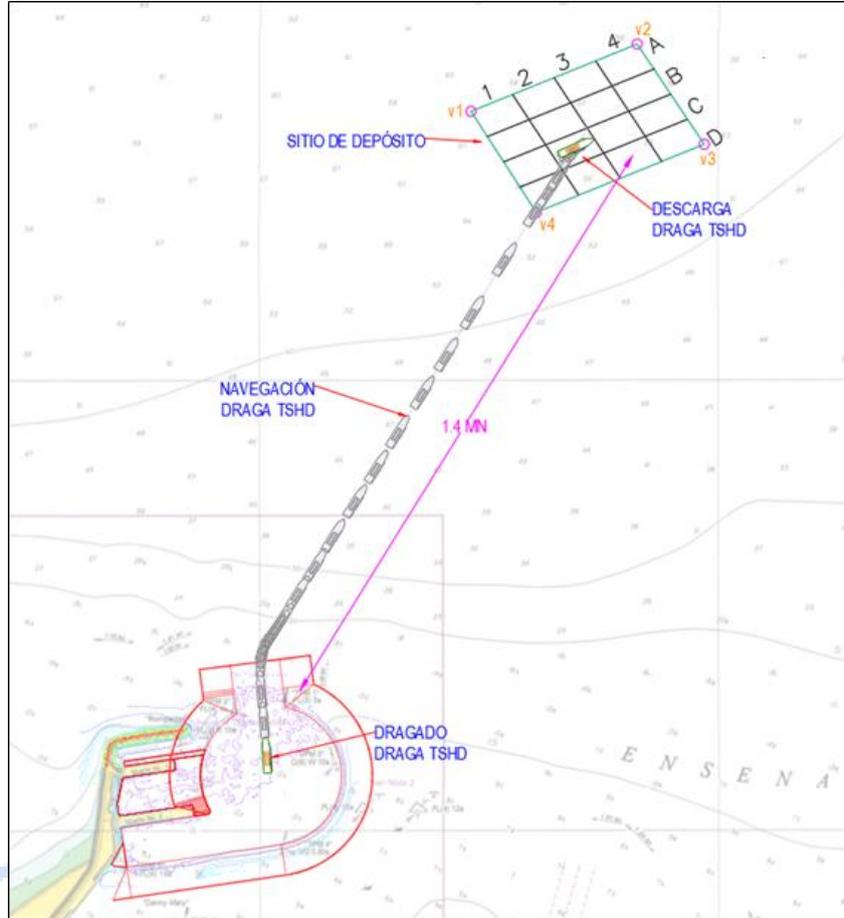


Figura 9. Navegación de la draga TSHD desde zona de dragado hasta sitio de vertido
Fuente: Documento dragado TPM, 2018

CONSULTORA EN INGENIERIA Y AMBIENTE

Ciclo de trabajo de una BHD-SHB

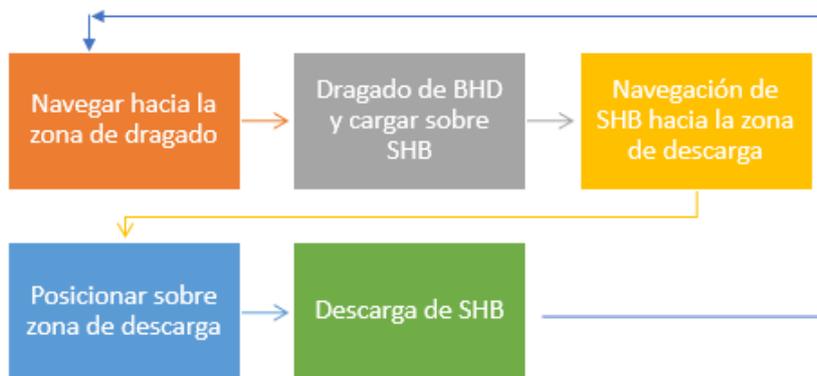


Figura 10. Ciclo de trabajo de una BHD-SHB
Fuente: Documento dragado TPM, 2018.

El dragado inicia una vez este posicionada la draga BHD en el punto de dragado en conjunto con una de la draga SHB, la BHD extrae el material de fondo y carga sobre la BHD.

El material dragado se deposita en una barcaza splits (SHB) autopropulsada. Una vez llena la barcaza SHB 1, esta navega hacia el sitio de depósito para darle paso al llenado de la segunda barcaza SHB2.



Figura 11. Dragado y descarga en barcaza SHB

Fuente: Documento dragado TPM, 2018.

El transporte del material de las áreas de dragado hacia el área de descarga se realizará por medio de las barcasas split autopropulsadas, de igual manera posicionado en una de las celdas configuradas del sitio de depósito y luego se procede abrir las compuertas para la descarga del material.



Figura 12. Barcaza Split Hopper operando en zona de descarga

Fuente: Documento dragado TPM, 2018

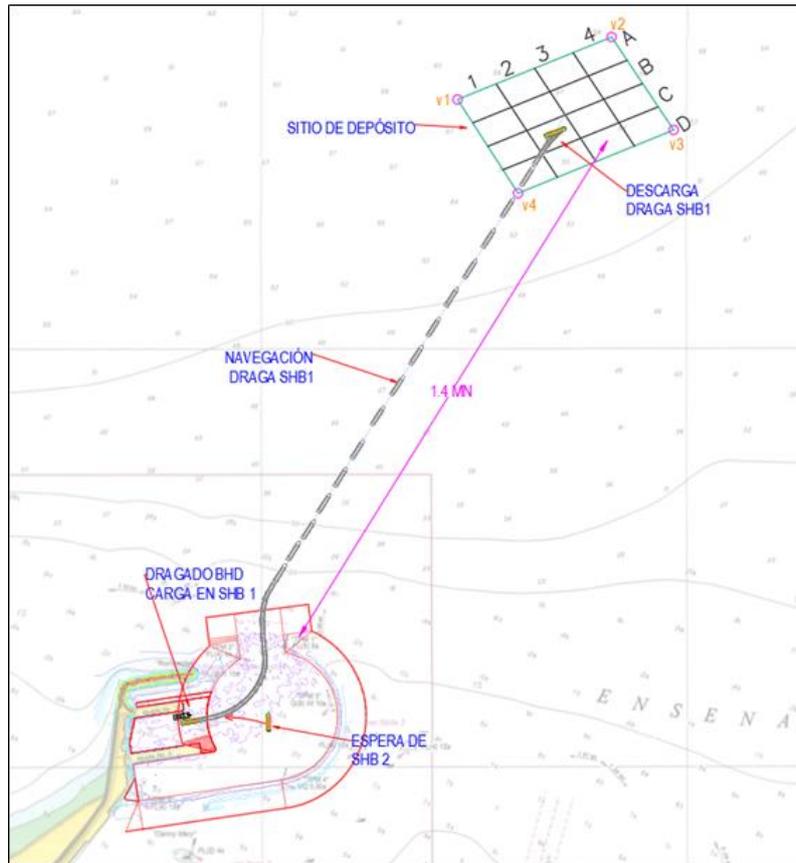


Figura 13. Navegación de la barcaza SHB desde zona de dragado hasta sitio de vertido

Fuente: Documento dragado TPM, 2018

De igual manera realizando el análisis de la cantidad de material que se va a desalojar sobre el sitio de depósito definido, es importante resaltar que considerando barcazas de 1,800 m³ y 3,700 m³, se va a verter sobre el mismo y de manera alternada un total de 1,260 m³ y 2,590 m³ de sedimento respectivamente cada 2.5 horas considerando las 2 barcazas SHB.

4. ESTUDIOS OCEANOGRÁFICOS

Como parte de los estudios bases necesarios para la ejecución del modelo de dispersión de sedimentos se realizó una campaña oceanográfica en la primera Sicigia del mes de septiembre, donde se fondearon por un periodo de 24 horas equipos autocontenidos para el registro de corrientes, olas y mareas, también se realizó toma de muestras de sólidos suspendidos y de fondo. En el apartado presente se describe cada uno de los parámetros medidos in situ.

4.1. Cronograma de trabajos en campo

Se presenta cronograma de trabajos respecto a la campaña oceanográfica que se ejecutó del 9 al 10 de septiembre de 2021, en la cual se realizó monitoreos de corrientes, mareas, oleaje, y toma de muestras de sedimentos.

CRONOGRAMA																															
MODELAMIENTO DISPERSION SEDIMENTO																															
FECHAS	SEPTIEMBRE																													OCTUBRE	
	DIA	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6
	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	
OCENOGRAFIA																															
Fondeo de Equipos: Mareógrafo, Correntómetro, Oligrafo																															
Retiro de equipos																															
Toma de muestras de Sólidos Suspendidos																															
Toma de muestras de sedimentos																															
Procesamiento de información																															
Elaboración informe																															

Figura 14. Cronograma de trabajos en campo
Elaborado por: Consulsua C. Ltda.

4.2. Corrientes

4.2.1. Corrientes Ecuatoriales

En este apartado se presenta los principales procesos oceanográficos que ocurren en la zona ecuatorial, las mismas que se desarrollan en el Pacífico alejado del área de estudio. Se mencionan las masas de agua, sistemas de corrientes, y ondas ecuatoriales que median la circulación de la zona.

La mayor parte de la circulación superficial de la región ecuatorial de los océanos está dominada por el flujo hacia el Oeste (W) producido por los vientos Alisios. A lo largo de las costas de América llegan al Ecuador, la Corriente de California desde el Norte y el Sistema de Corrientes de Perú/Chile desde el Sur. En latitudes bajas (por efecto Coriolis), estas corrientes giran hacia el Oeste para formar parte de las corrientes ecuatoriales del Norte y Sur respectivamente.

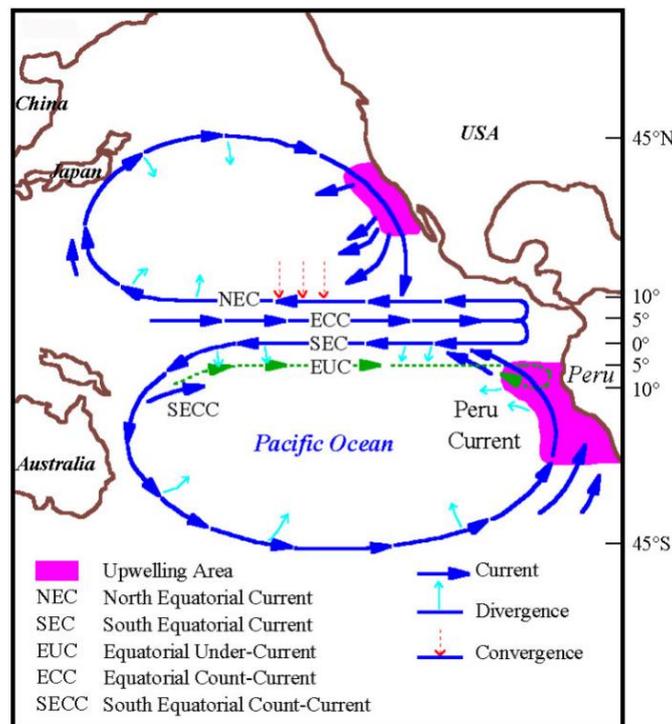


Figura 15. Esquema de la circulación Océano Pacífico
Fuente: Oregon State University. 2003.

La Corriente Ecuatorial del Sur (**SEC**) atraviesa todo el Pacífico en dirección Este – Oeste, llevando AGUA SUBTROPICAL SUPERFICIAL (ASTS), cuyo rango de temperatura (T) es de 17°C - 25°C y salinidad (S) > 35UPS a toda la zona de Galápagos. El ASTS es relativamente fría, de alta salinidad y rica en nutrientes (Cucalón, 1983). Su velocidad máxima de 50 cm/s en su frontera Norte (4°N - 5°N) no es estable durante todo el año. Próxima al Ecuador su espesor se ve disminuido (20 - 50 m) por la presencia de la Subcorriente Ecuatorial. Al sur la velocidad disminuye, pero la corriente permanece estable, se profundiza (espesor 200 m) y se puede distinguir hasta los 10°S. Su transporte se estima en 60x10¹² cm³/s, producto de los aportes de la Corriente de Perú, Contracorriente Ecuatorial, Subcorriente Ecuatorial y afloramientos (EPOCS, 1989).

La Contracorriente Ecuatorial del Norte (**NEC**) se origina en el Pacífico Occidental, fluye hacia el Este y su posición está entre 4°N - 5° N y 9°N, está considerada como angosta (300 – 700 Km) tiene un desplazamiento estacional muy marcado en tamaño e intensidad, más fuerte de septiembre a noviembre, más débil de marzo a mayo, variando así mismo su transporte entre 30x10⁸ m³/s y 5x10⁸ m³/s (Taft, 1981). Al este de 110°W es desviada ligeramente hacia el Sur, su flujo decrece y parte gira hacia el Norte; y hacia el Sur, donde se une a la Corriente Ecuatorial del Sur y al Corriente Subsuperficial de Perú. Parte de su flujo llega a la Cuenca de Panamá donde junto con agua producida por procesos locales como precipitación e insolación fuertes, origina el Agua Tropical Superficial (ATS); de una T > 25°C y una S < 34UPS, esta masa de agua está limitada a una delgada y bien mezclada capa superficial (20 – 50 m), pobre en nutrientes (Cucalón, 1983).

Estas masas de agua, (ASTS) y (ATS), se encuentran separadas por una zona de marcados gradientes termohalinos conocida como FRENTE ECUATORIAL que se extiende desde la Costa Sur del Ecuador (1°S - 3°S) hasta el Norte de las Islas Galápagos (0°N - 3°N) (Cucalón, 1987); los gradientes se consideran como de: 0.05 – 0.09°C por milla en T y 0.02 – 0.04UPS por milla en S (Okuda et al., 1983). El contacto de las diferentes masas de agua ocasiona un aumento de la biomasa planctónica en las proximidades del frente (Jiménez y Bonilla, 1980) que también es conocido por ser rico en biomasa animal, especialmente en los niveles tróficos superiores como peces carnívoros y cetáceos.

Durante El Niño, el frente sur se desplaza hacia el sur y se intensifica de modo que el flujo hacia el este a lo largo del frente es fortificado. En la costa, hacia el sur es más fresco y las aguas superficiales más cálidas por la corriente anual de El Niño que se fortalece durante los períodos de El Niño (Chávez, 1986; Zambrano et al., 2000).

De un crucero oceanográfico realizado por R / V Knorr, del 27 de marzo al 5 de abril de 2009, se obtuvo un diagrama esquemático de corrientes regionales. Donde las corrientes de la capa superior son líneas azules continuas y las corrientes más profundas se indican con una línea discontinua azul. A continuación, se presenta un diagrama esquemático de las corrientes entre las Galápagos y la costa de América del Sur en base a las mediciones realizadas durante el crucero.

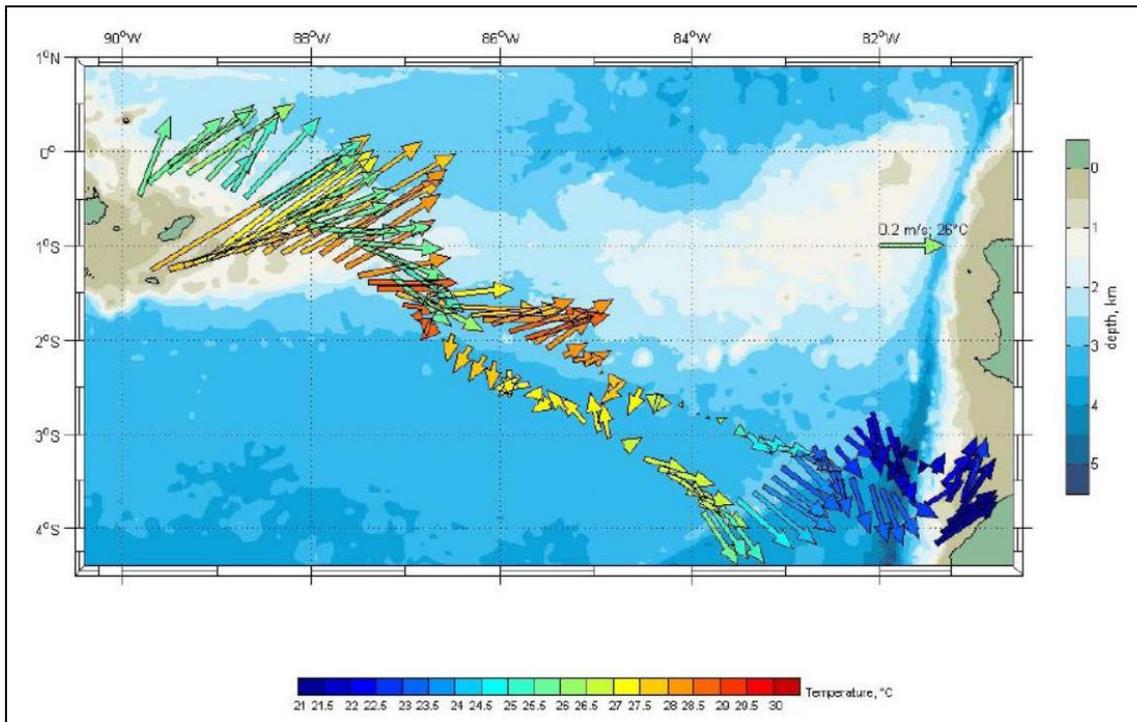


Figura 16. Corrientes a 50 m. El color de las flechas corresponde la temperatura. La barra vertical a la derecha es la escala utilizada para océano.

Fuente: C. Collins et all. 2013.

4.2.2. Corrientes en el área de estudio

La ESPOL realizó una recopilación de datos en 1989 (ESPOL, 1990), como parte del Estudio General Oceanográfico contratado por la Autoridad portuaria de Manta (APM). Además, existen datos sobre corrientes de dos estudios realizados por separado en 1980 y en 1984. ESPOL reunió datos sobre mareas de agosto a octubre de 1989, durante marea de sicigia y cuadratura. Del estudio se llegó a la conclusión que las corrientes de los alrededores del lugar del proyecto están dominadas por los vientos, olas, y en menor grado por las mareas. Las corrientes al este del puerto se dirigen hacia el sudeste, mientras que las corrientes justo al oeste del rompeolas principal se dirigen hacia el norte aproximadamente. Las velocidades máximas que fueron medidas alcanzaron los 0.5 m/s.

La Asociación de Estudios Marino Costeros Consulsua – Geoestudios en el año 2013, realizó mediciones de corrientes offshore a las costas de Manta, en la coordenada 529.757 E y 9°901.390 S, aproximadamente a 3.5 km del sitio de depósito. De los registros obtenidos se concluye que durante en la época húmeda en la Estación ECC7, mostrados en la figura siguiente, indican 3 flujos de corrientes, el superficial hasta los 18 m aproximadamente donde las corrientes tienen una tendencia hacia el Este, a pesar que en el primer nivel, de 7 m la corriente tiene dirección Oeste. La capa subsuperficial desde los 18 m hasta cerca de los 60 m, se registra un flujo con tendencia hacia el Oeste, a partir de este nivel las corrientes se presentan con direcciones variables.

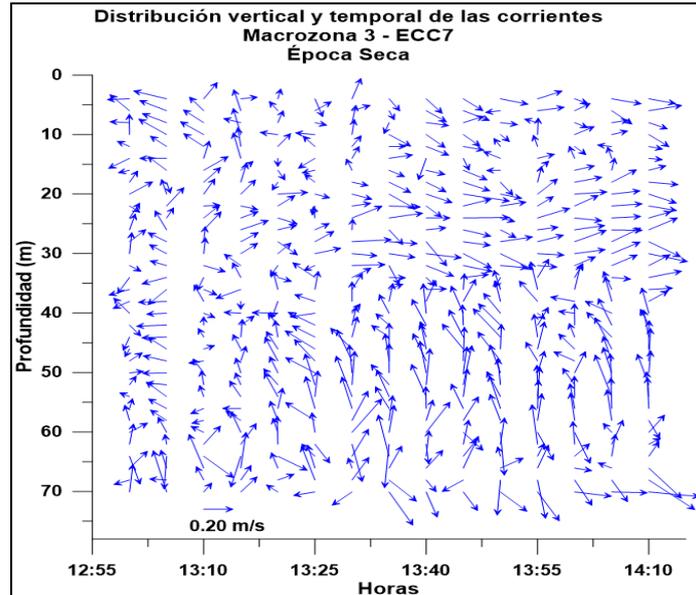


Figura 17. Distribución de las corrientes en la Estación ECC7 durante época seca
Fuente: Asociación de Estudios Marino Costeros Consulsua – Geoestudios, 2013.

La Consultora destino un equipo autocontenido Aquadopp Profile marca NORTEK para la medición de corrientes, el mismo que fue instalado a un lado de una embarcación durante 24 horas. Previamente el equipo fue seteado o programado, con la finalidad de obtener data de velocidad y dirección de la corriente cada 10 minutos, para el procesamiento y graficación respectiva.

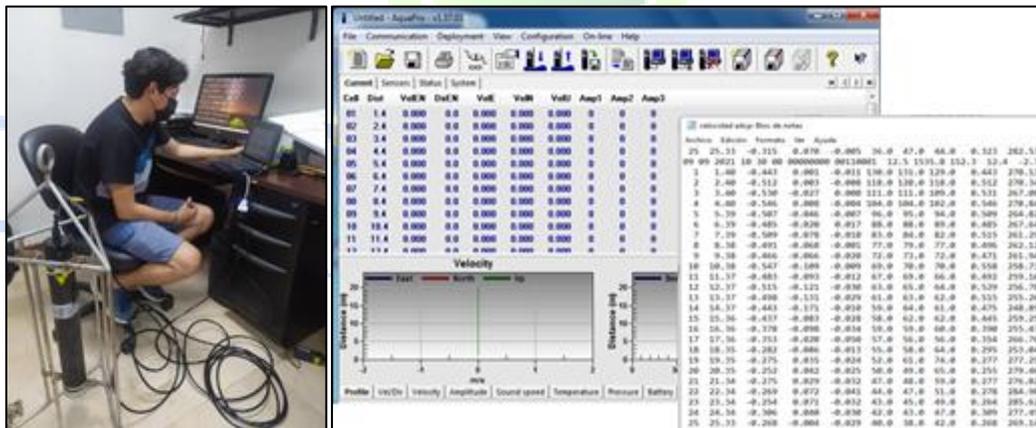


Figura 18. Programación y recuperación de registro medido de correntómetro
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

En la Figura y Tabla siguiente se presenta el sitio de fondeo de correntómetro. Certificado de calibración en ANEXO F.

Tabla 7. Coordenada de instalación de correntómetro

EQUIPO	COORDENADA X	COORDENADA Y
Aquadopp Profile	532862	9899729

Fuente: Consulsua C. Ltda. 2021.

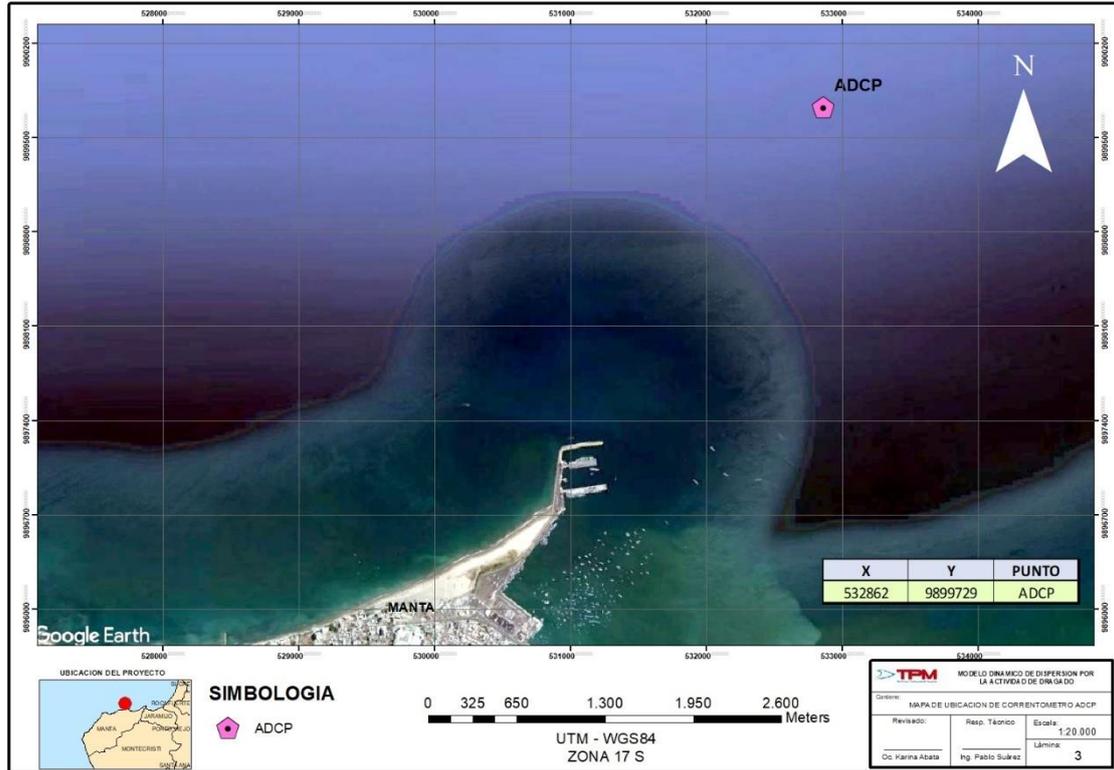


Figura 19. Ubicación de correntómetro ADCP
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

El procesamiento de la data se realizó en dos partes; siendo la primera el filtrado y la elaboración de tablas de frecuencia en Excel con el propósito de generar las gráficas necesarias para el análisis de los datos. Para los datos de corrientes se dividió en tres niveles superficial, medio y fondo.

Es importante tener en cuenta en el proceso de filtrado de datos con respecto a las horas de pleamar y bajamar se trabajó con la tabla de mareas del INOCAR quedando los cambios de marea de la siguiente manera:

09/09/2021 Jueves		10/09/2021 Viernes	
Hora (hh:mm)	Altura (metros)	Hora (hh:mm)	Altura (metros)
05:08	2.90 P	05:46	2.91 P
11:20	0.24 B	12:01	0.21 B
17:23	2.80 P	18:06	2.75 P
23:33	0.18 B	ND	ND

Figura 20. Data marea del 9 y 10 de septiembre 2021
Fuente: INOCAR. 2021.

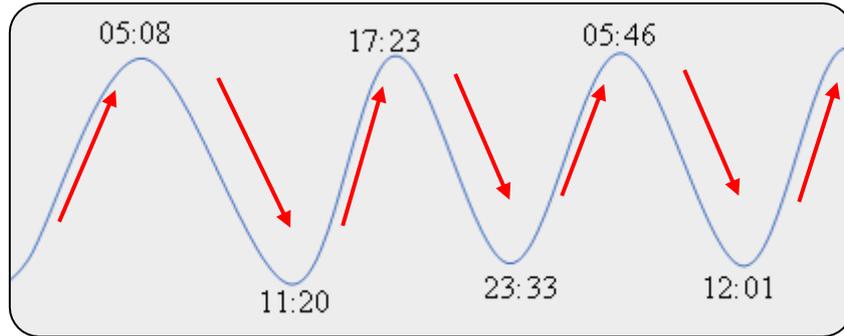


Figura 21. Horas tomadas en cuenta para la filtración de data
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Luego de realizar el proceso de filtración en Excel se procedió a generar las respectivas tablas de frecuencia para cada nivel tanto para la pleamar como bajamar; y posterior a esto realizar histograma de frecuencias e identificar la cantidad de veces en las que un rango específico de velocidad de corriente se presenta.

K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
FLUJO	REFLUJO	Frec. Hs								
10.8	8.0	Datos	592							
13.3	14.3	Max	61.0							
13.5	15.0	Min	10.8							
14.5	15.6	Rango	50.20							
14.7	18.3	Sturges	9.9	10						
14.7	18.9	Amplitud	5							
15.3	19.2									
15.5	20.0									
15.9	20.0									
16.1	20.0									
16.4	20.1									
16.4	20.4									
17.1	20.8									
17.5	21.0									
17.6	21.2									
17.9	21.4									
17.9	21.8									
18.0	22.2									
18.3	22.3									
18.3	22.4									

			FRECUENCIA ABSOLUTA		FRECUENCIA RELATIVA		
Li	Ls	Marca de Clase (Xi)	Simple	Acumulada	Simple	Acumulada	Porcentaje
11	16	13.31	8	8	0.01	0.01	1%
16	21	18.33	27	35	0.05	0.06	5%
21	26	23.35	78	113	0.13	0.19	13%
26	31	28.37	95	208	0.16	0.35	16%
31	36	33.39	62	270	0.10	0.46	10%
36	41	38.41	65	335	0.11	0.57	11%
41	46	43.43	96	431	0.16	0.73	16%
46	51	48.45	107	538	0.18	0.91	18%
51	56	53.47	51	589	0.09	0.99	9%
56	61	58.49	3	592	0.01	1	1%
			592		1		100%

Figura 22. Cálculo de frecuencias / corrientes
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

También se generaron graficas de rosa de vientos con la ayuda del lenguaje de programación MATLAB, haciendo uso de la función ROSVI.

4.2.2.1. Resultados

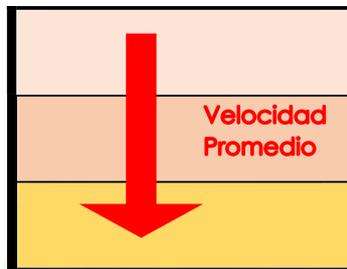
En la tabla de resumen que se presenta a continuación, se observan los resultados obtenidos para cada nivel analizado. Podemos observar que la velocidad máxima aumenta - disminuye significativamente en cada cambio de marea, siendo este un aumento de aproximadamente 0.30 m/s. también se observa que la magnitud de la corriente se mantiene en un rango con respecto a cada nivel, es decir que para el flujo la velocidad máxima tanto de la superficie, medio y fondo es aproximadamente de 0.60 m/s y para el reflujo de 0.90 m/s aproximadamente. El ángulo de la velocidad máxima se mantuvo en el primer cuadrante.

Tabla 8. Resumen para data de corrientes

	PUERTO DE MANTA 9-10/SEP/2021 (09:50-10:00)					
	SUPERFICIE		MEDIO		FONDO	
	FLUJO	REFLUJO	FLUJO	REFLUJO	FLUJO	REFLUJO
Velocidad Max (m/s)	0.61	0.91	0.67	0.98	0.60	1.00
Angulo de Velocidad Max (°)	93.76	88.12	81.96	100.81	245.65	65.74
Velocidad Promedio (m/s)	0.37	0.39	0.34	0.37	0.22	0.16
Moda Angulo (°)	76.79	90.00	69.78	90.00	0.00	115.74

Fuente: Consulsua C. Ltda. 2021.

La velocidad promedio cambia significativamente para cada nivel de agua, es decir, disminuye a medida que la onda emitida por el ADCP viaja hacia el fondo del océano.



A continuación, se presentan los resultados obtenidos de manera detallada para cada nivel.

Corriente Superficial

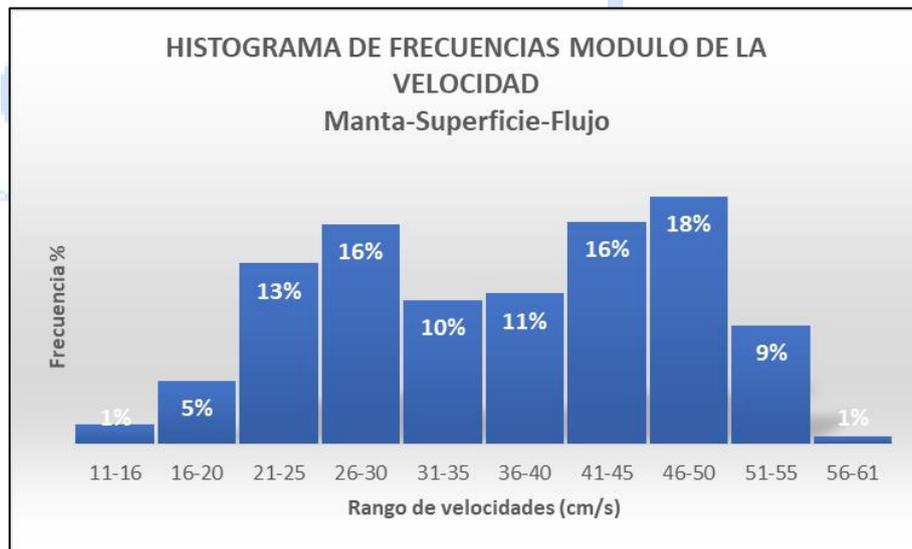


Figura 23. Módulo de la velocidad (Superficie-flujo).

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Para los datos superficiales se tiene que la frecuencia se encuentra parcialmente dividido entre los intervalos de velocidad que va desde 26-30cm/s

y 41-50 cm/s. Y como se puede observar en la ilustración 4 estas velocidades se encuentran en el primer cuadrante.

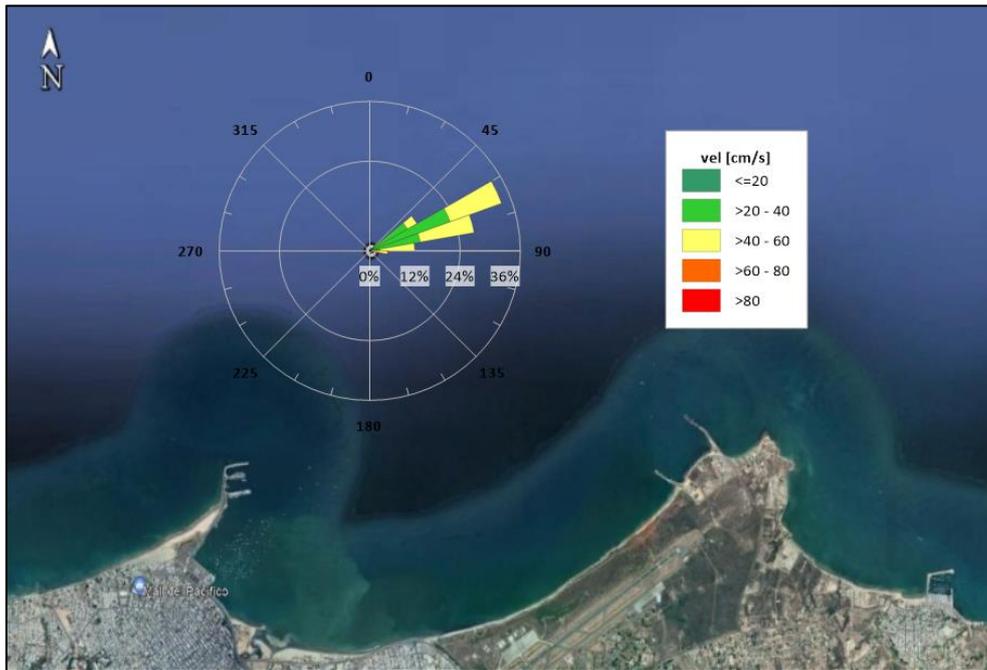


Figura 24. Dirección del módulo de la velocidad (superficie-Flujo).
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

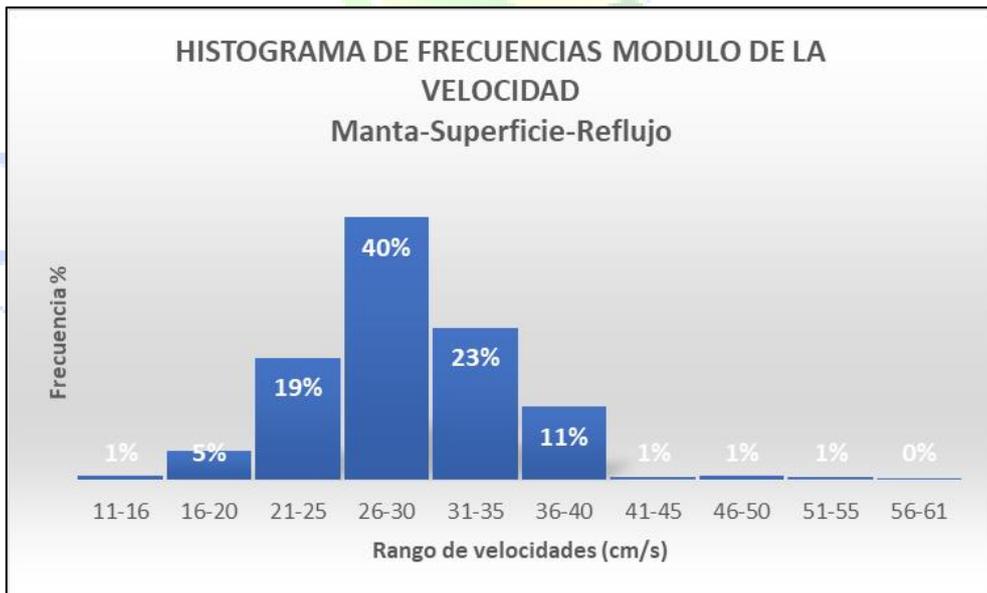


Figura 25. Módulo de la velocidad (Superficie-Reflujo).
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Para los datos superficiales se tiene que la mayor frecuencia se encuentra entre 26-30 cm/s. Y como se puede observar en la ilustración 6 estas velocidades se encuentran entre el primer y cuarto cuadrante, es decir, justo en cero grados.

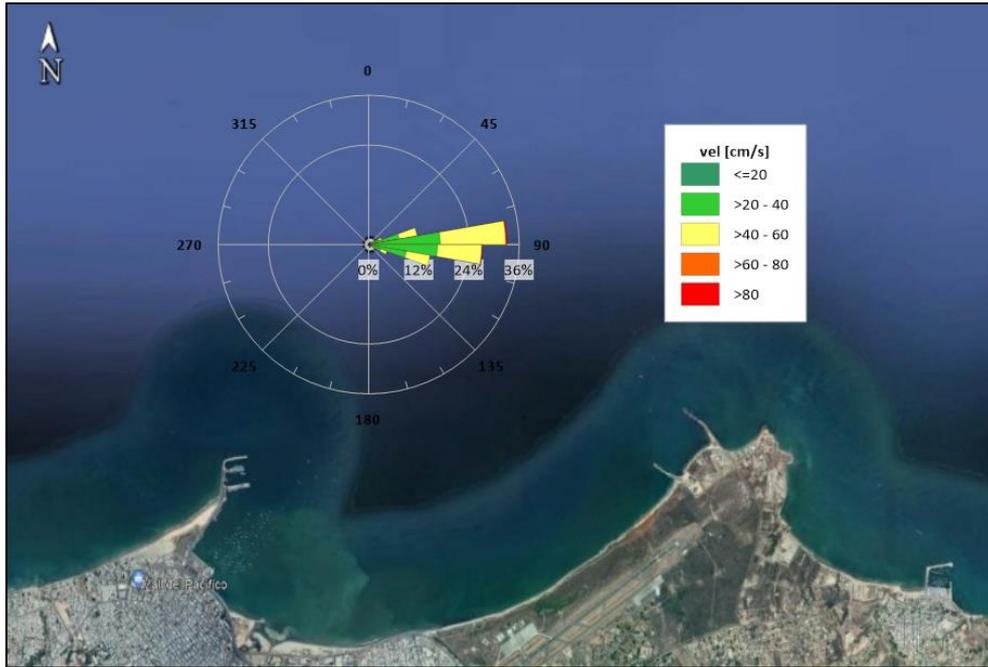


Figura 26. Dirección del módulo de la velocidad (superficie-Reflujo).
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Corriente Media

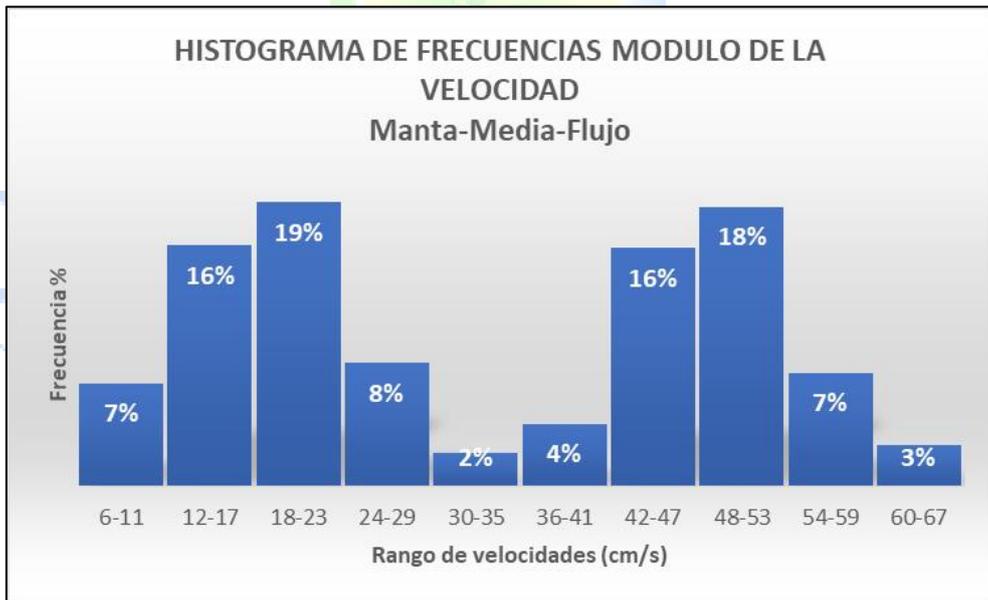


Figura 27. Módulo de la velocidad (Media-Flujo).
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Para los datos del nivel medio se tiene que la mayor frecuencia se encuentra entre 12-23 cm/s y 42-53 cm/s. Y como se puede observar en la ilustración 6 estas velocidades se encuentran en el primer cuadrante.

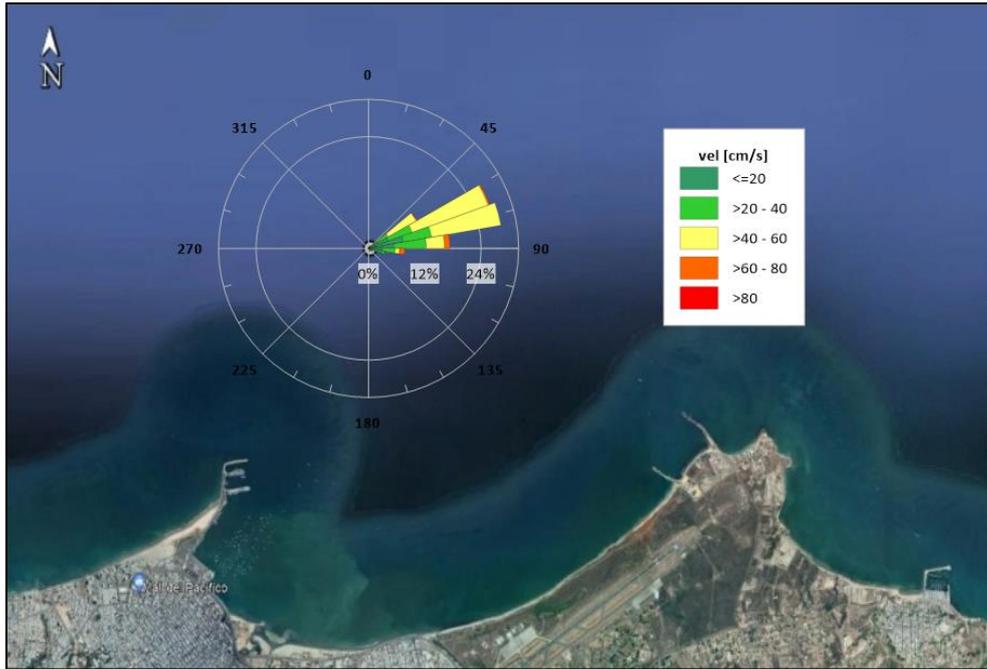


Figura 28. Dirección del módulo de la velocidad (Media-Flujo).
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

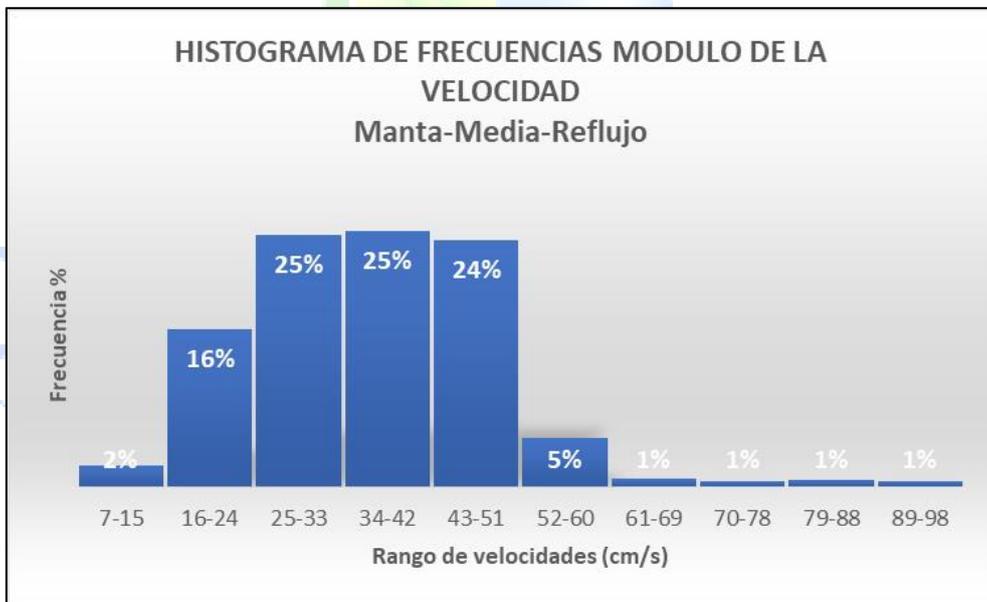


Figura 29. Módulo de la velocidad (Media-Reflujo).
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Para los datos superficiales se tiene que la mayor frecuencia se encuentra entre 25-51 cm/s. Y como se puede observar en la ilustración 6 estas velocidades se encuentran entre el primer y cuarto cuadrante, es decir, justo en cero grados.

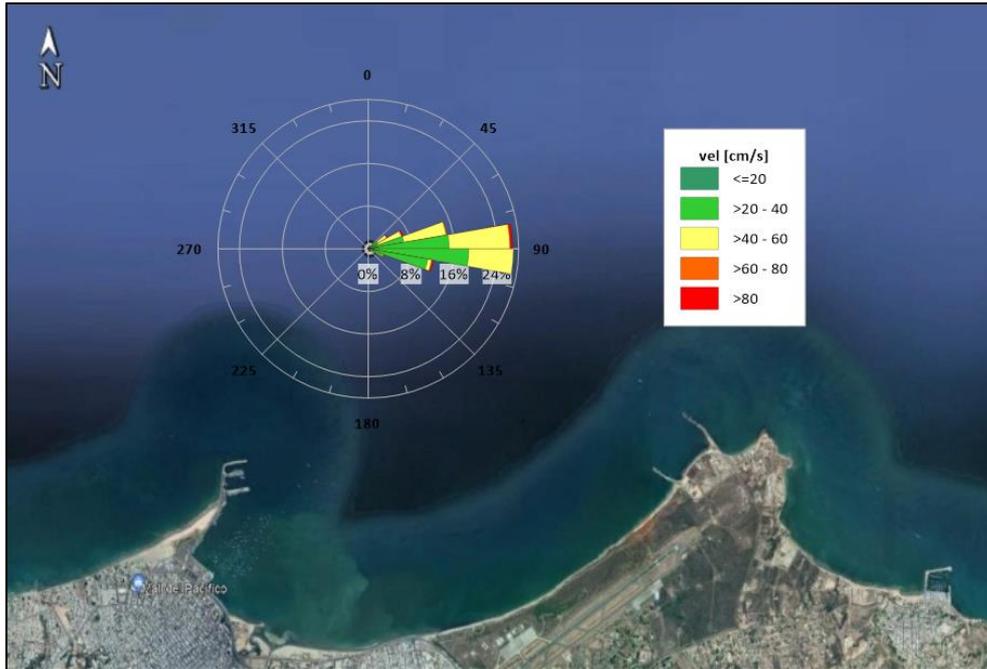


Figura 30. Dirección del módulo de la velocidad (Media-Reflujo).
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Corriente de Fondo

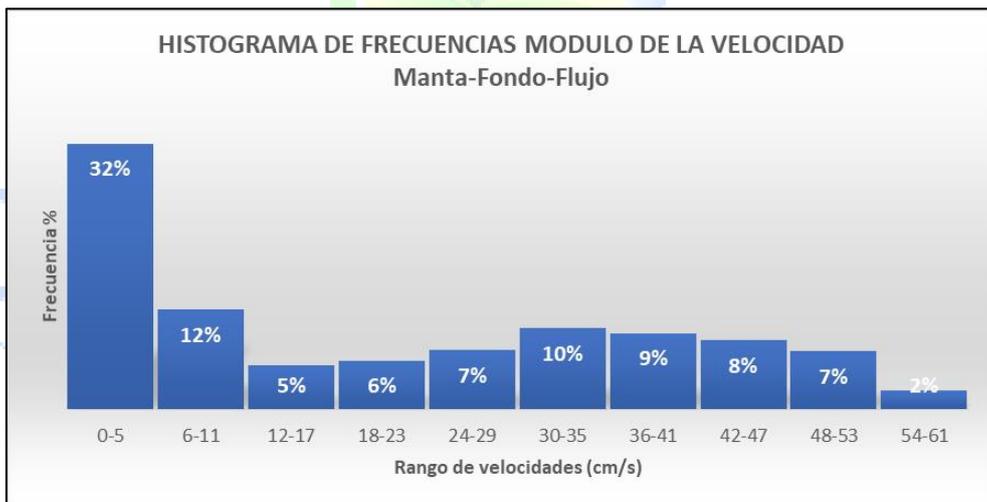


Figura 31. Módulo de la velocidad (Fondo-Flujo).
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Para los datos del nivel medio se tiene que la mayor frecuencia se encuentra entre 0-5 cm/s. Y como se puede observar en la ilustración 6 estas velocidades se encuentran en el primer cuadrante.

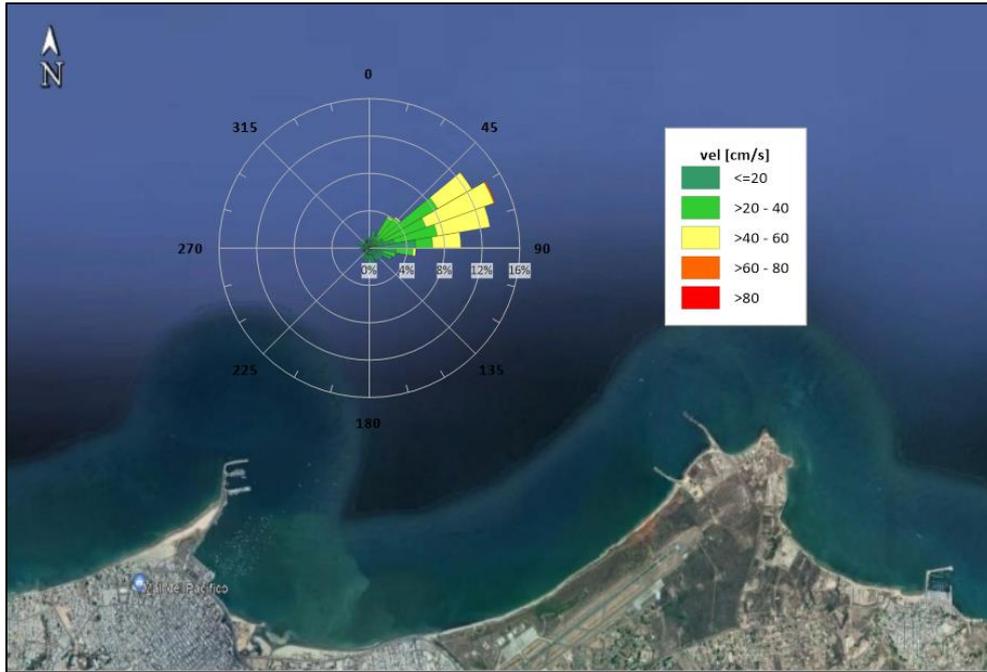


Figura 32. Dirección del módulo de la velocidad (Fondo-Flujo).
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

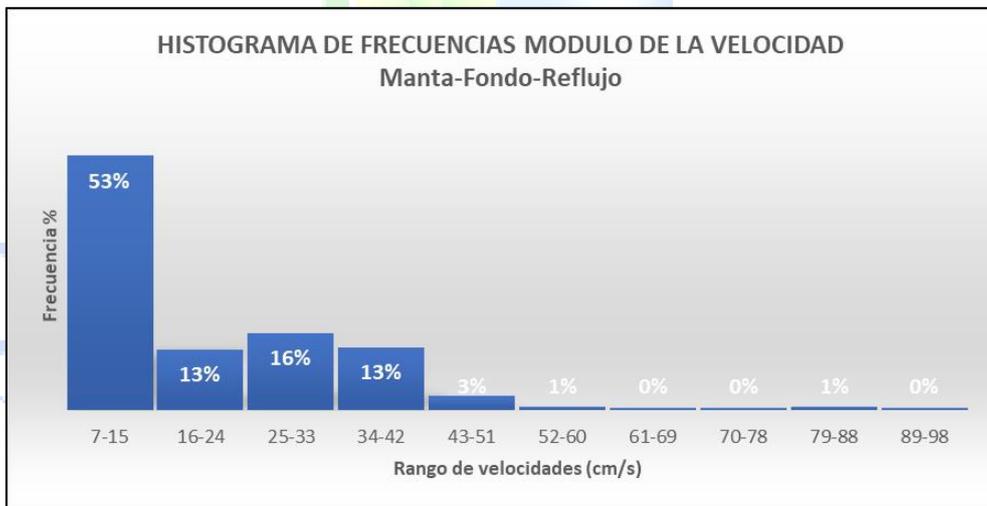


Figura 33. Módulo de la velocidad (Fondo-Reflujo).
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Para los datos superficiales se tiene que la mayor frecuencia se encuentra entre 7-15 cm/s. Y como se puede observar en la ilustración 6 estas velocidades se encuentran entre el primer y cuarto cuadrante.

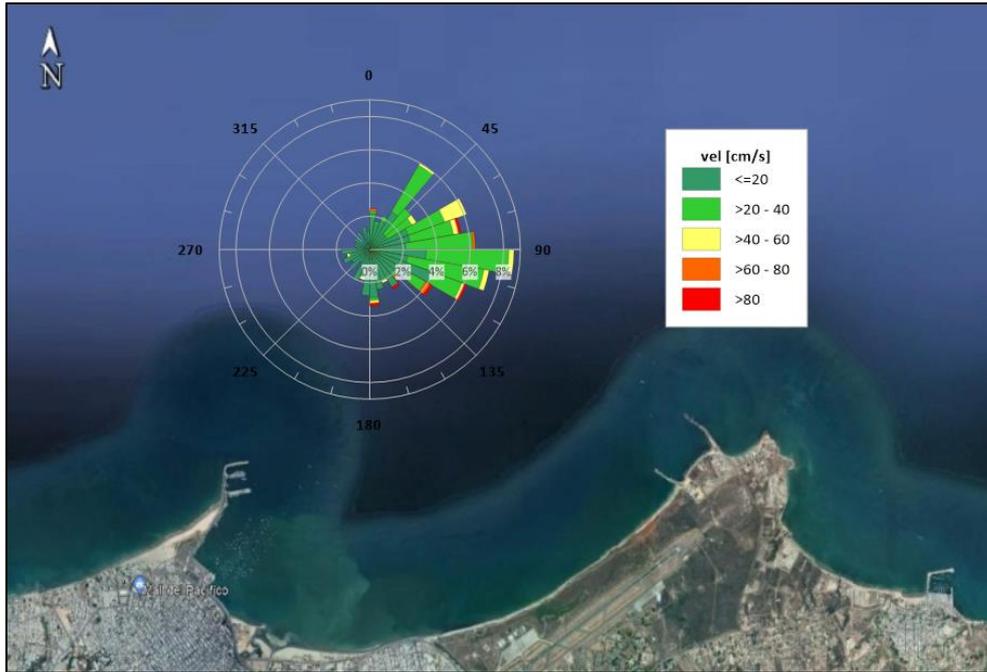


Figura 34. Dirección del módulo de la velocidad (Fondo-Reflujo).
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

4.3. Olas

El mar tiene una serie de movimientos que son los que contribuyen a proporcionar la energía del sistema siendo los principales las olas, las mareas, las corrientes, las mareas de tormenta y los tsunamis.

De los anteriores, el oleaje es la principal fuente de energía ya que el viento al soplar sobre la superficie y dependiendo de su intensidad podrá formar olas desde unos cuantos centímetros hasta varios metros. Considerando que los vientos son el principal agente generador de olas, el clima de oleaje en los costos de operación y construcción de obras marítimas resulta importante considerar la variación temporal de este fenómeno en una escala oceánica y local.

En base a lo indicado, la importancia del estudio del oleaje se centra en dos aspectos, uno científico y otro de carácter técnico. Desde el punto de vista científico el oleaje es uno de los mecanismos más importantes de transferencia de energía entre la atmósfera y el océano, su comprensión afecta tanto a los estudios a escala meteorológica como a escala climática. Adicionalmente incide en el estudio de la propia dinámica del oleaje y de sus mecanismos de propagación.

Desde el punto de vista técnico, el estudio del oleaje se enfoca en los campos de la ingeniería civil y naval, refiriéndose al diseño de protección de costas, buques, estructuras en alta mar, toma de decisiones en la gestión costera y otros. Así el estudio del oleaje se enmarca en un área de análisis científica y técnica de gran importancia.

4.3.1. Olas en el área de estudio

Mediante el uso del modelo de olas WAM y altimetría satelital se obtiene la información del oleaje que se genera en mar abierto en las zonas cercanas a Manta, y mediante el procesamiento de datos y análisis estadístico y numérico se obtuvo una serie de datos del parámetro H_s y T_p , con un rango temporal de hasta 30 años. Posteriormente mediante técnicas de análisis estadística, y uso de herramientas de simulación numérica se realizará la propagación del oleaje hasta la zona costera. En figura siguiente se presenta estación virtual.



Figura 35. Estación virtual de olas

Fuente: TPM. 2021.

Para el cálculo de los regímenes extrémos se emplea herramientas estadísticas para la determinación de los períodos de retorno mediante el uso de funciones de densidad de probabilidad, reconstruyendo el comportamiento del oleaje máximo a fin de obtener la variabilidad mensual.

A continuación, se presentan los resultados del cálculo de la altura de ola significativa para un periodo de retorno de 5, 10, 25 y 50 años:

Tabla 9. Altura Significativa de Rompiente

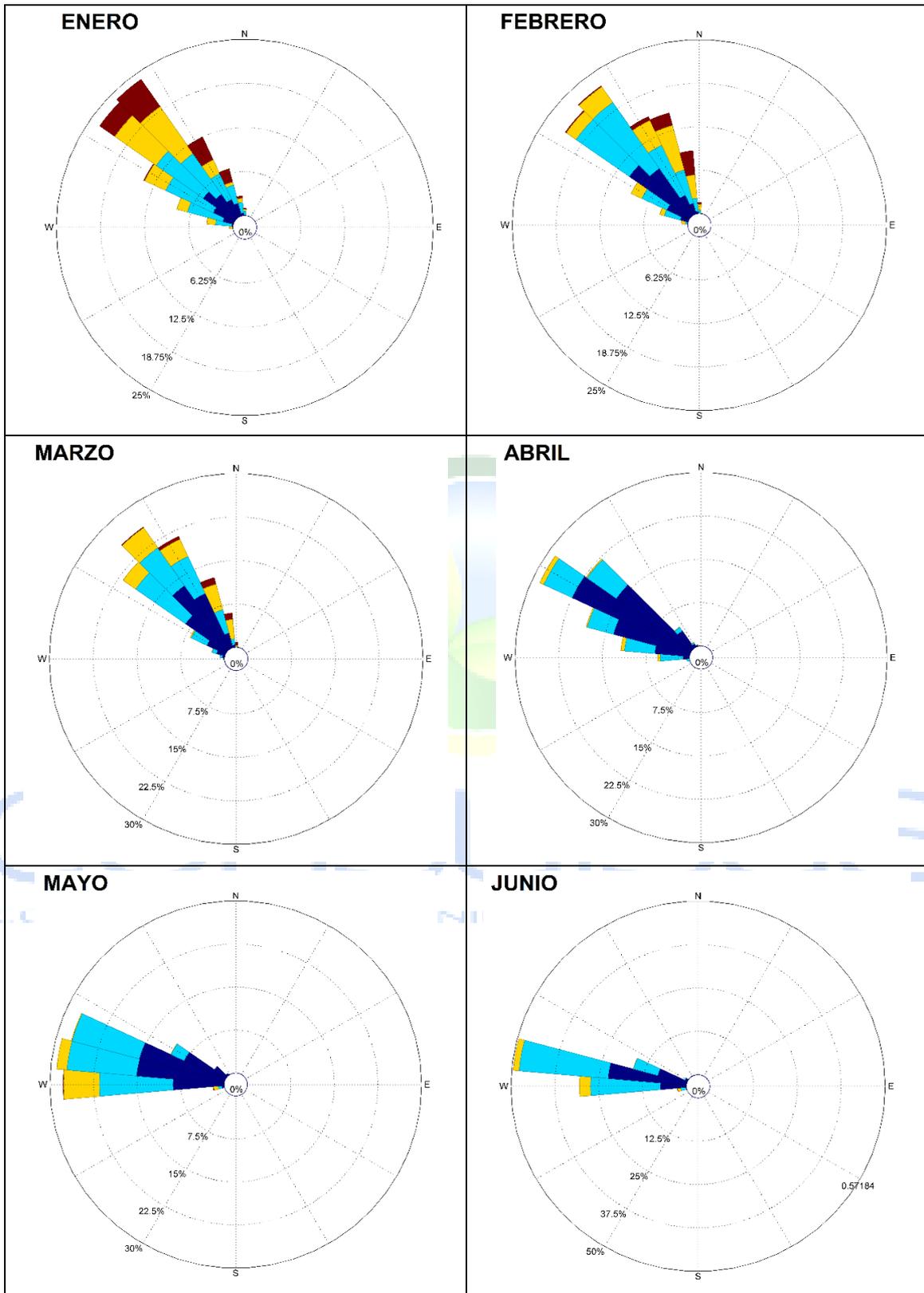
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	ALTURA SIGNIFICATIVA DE ROMPIENTE EN ROMPEOLAS DE MANTA(m)
5	1.72
10	2.34
25	2.71
50	3.42

Fuente: TPM. 2021.

A continuación, se presenta el máximo de altura mensual de oleaje en metros para el sitio de estudio:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
MAX	2.16	2.59	1.97	1.54	1.68	1.47	1.56	2.18	1.89	1.74	1.87	2.01

Fuente: TPM. 2021.



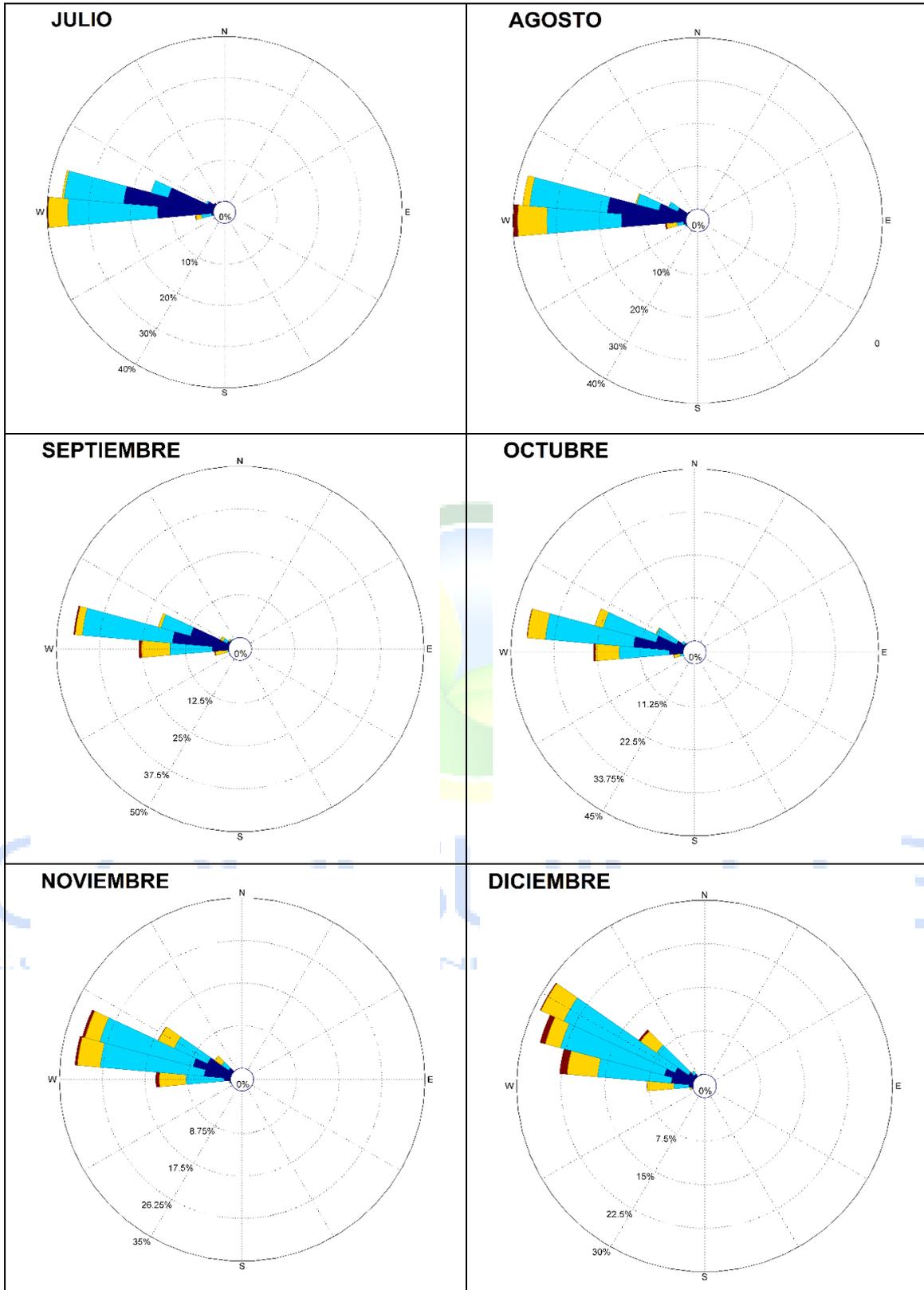


Figura 36. Máximo de altura mensual de oleaje
Fuente: TPM. 2021.

Análisis de resultados

A partir de los resultados se determina que la mayor altura de olas se observa durante los primeros meses del año, donde se tiene el arribo de oleaje de mar de fondo o swell proveniente del norte del océano Pacífico, debido a la presencia del invierno en el hemisferio norte. Cabe indicar que no solamente es el único factor, considerando que durante la ocurrencia de eventos El Niño entre moderados y fuertes, existen registros de un incremento en la intensidad del oleaje que arriba al borde costero durante los primeros meses del año.

En relación a los periodos de retorno, se observa una altura de ola significativa de 1.72 metros en un periodo de retorno de 5 años, llegando a incrementarse a 3.42 metros en un periodo de retorno de 50 años.

4.3.2. Olas en Sitio de Depósito

La consultora instaló un equipo en modalidad de ológrafo, el mismo que fue seteado para la obtención de un dato cada media hora, se instaló por un periodo de 24 horas, en la Figura y Tabla siguiente se presentan las coordenadas de instalación. Certificado de calibración en ANEXO F.

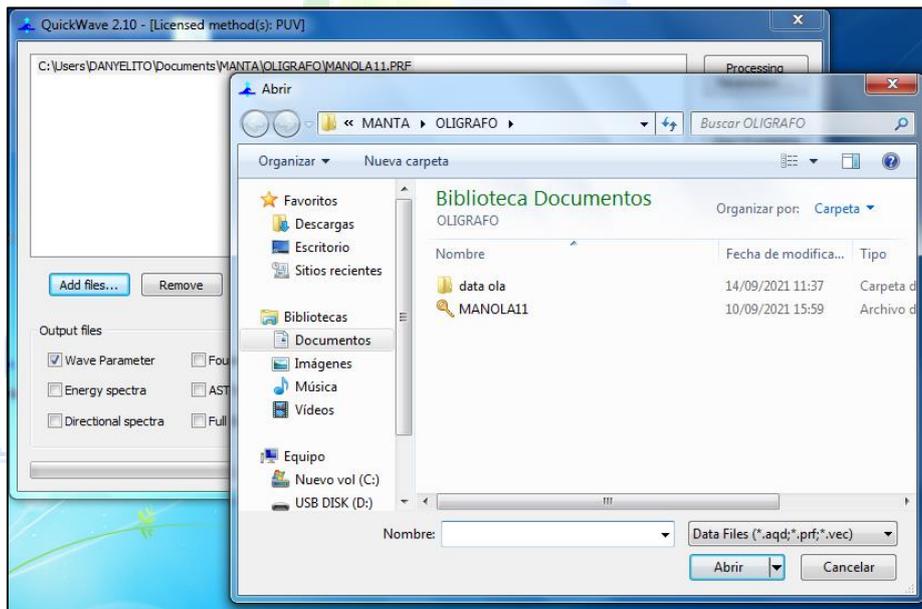


Figura 37. Programación y recuperación de registro medido de ológrafo

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Tabla 10. Coordenada de instalación de ológrafo

EQUIPO	COORDENADA X	COORDENADA Y
Aquadopp Profile	532862	9899729

Fuente: Consulsua C. Ltda. 2021.

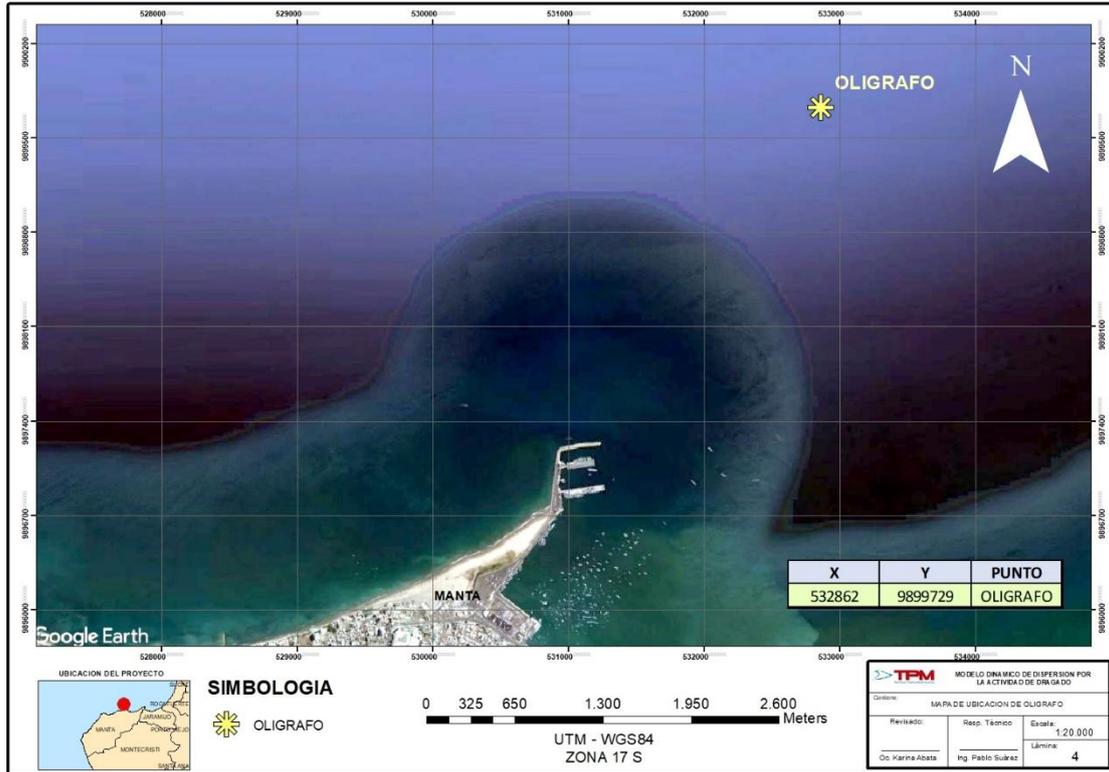


Figura 38. Ubicación de olígrafo
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

4.3.2.1. Resultados

La altura significativa de la ola en Manta, para el punto de estudio según los resultados obtenidos se encuentra entre 0.35 m y 1.08 m. El periodo es de 12 segundos aproximadamente con una dirección de la ola de entre 230-280 grados.

Altura Significativa

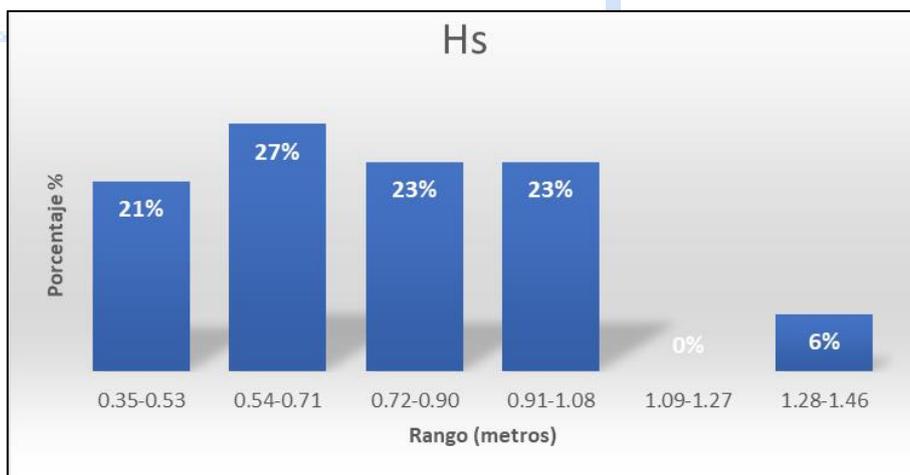


Figura 39. Altura significativa de Ola de Manta en el punto de estudio
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Periodo de ola

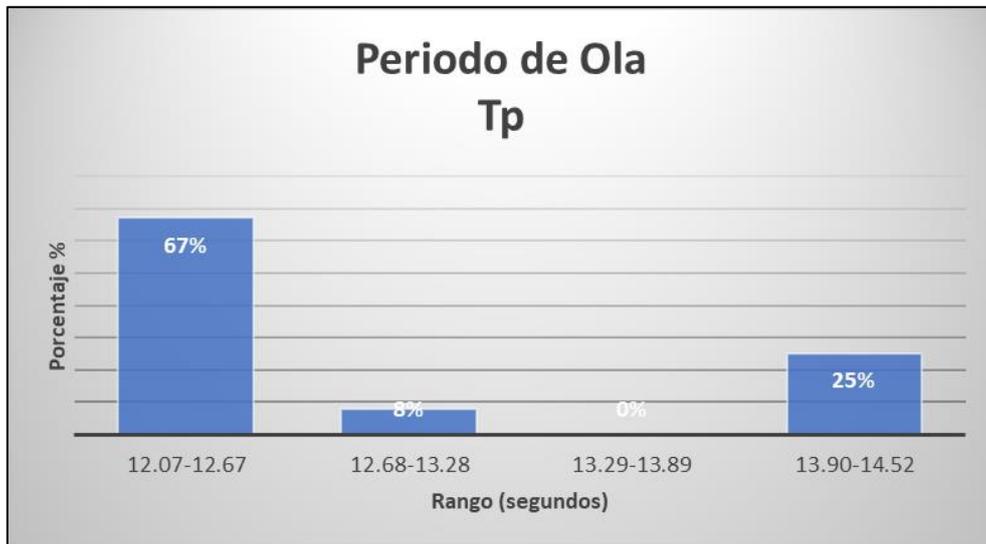


Figura 40. Periodo de Ola de Manta en el punto de estudio.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Dirección de Ola



Figura 41. Dirección de Ola de Manta en el punto de estudio.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Análisis de resultados

Los resultados del equipo registraron mayormente olas con alturas significativas de entre 0.54m a 0.71m, sin embargo, también se registraron olas de hasta 1.46 m pero con la mínima frecuencia de ocurrencia. Las ondas registradas tienen un periodo predominante de aproximadamente 12 segundos y provienen generalmente desde el SW y NW, entre el III y IV cuadrante, mayormente con direcciones entre 247° y 263°.

4.4. Sedimentos

4.4.1. Sólidos de Fondo

Mediante información bibliográfica recopilada del Puerto de Manta, en el año 2009 se llevó a cabo un análisis de características sedimentológicas por parte del INOCAR. El estudio indica que, según la textura del sedimento, las arenas son las que predominan en el área identificándose además limo, arena limosa, limo-arenoso y arena gravosa, como se muestra en la Figura 42. Por otro lado, según el diámetro medio (D50) las arenas de grano muy finos son las que prevalecen, seguidas por las arenas de grano fino. (Soledispa, 2009).

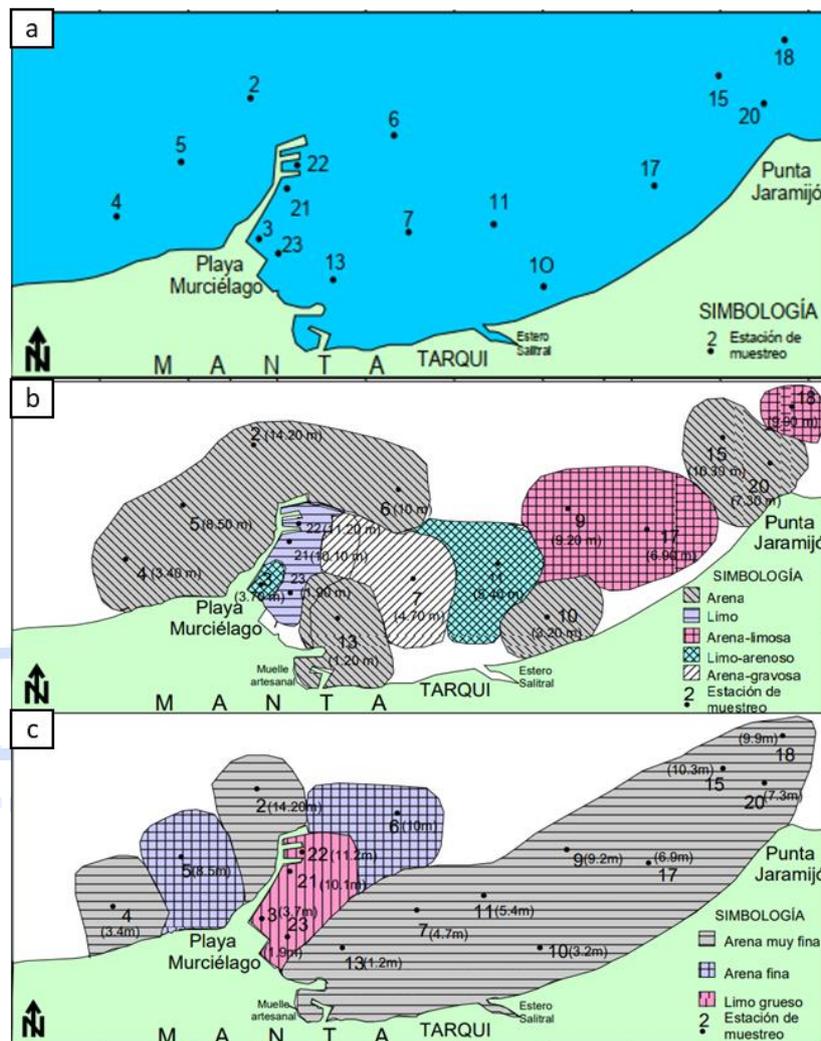


Figura 42. Características sedimentológicas de las 17 estaciones. a) Ubicación de las estaciones. b) Según su textura. c) Según el diámetro medio.

Fuente: INOCAR, 2009.

Como parte del estudio, se presenta el análisis de los sedimentos de fondo que se realizó en el área de estudio.

Equipos utilizados

Para determinar las características del fondo en el área de estudio, se utilizaron los equipos y materiales que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 11. Equipos utilizados para obtener las características de fondo.

Descripción	Cantidad	Fotografía
Equipo de medición de posición geográfica - GPS	1 U	
Draga Van Veen	1 U	
Cámara fotográfica	1 U	
Cabo de 1/2 pulg	15 m	
Fundas plásticas	6 U	
Equipo de protección personal	U	

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Metodología de medición

Como parte de la metodología de medición, se recolecta una parte representativa de una sustancia, un material o un producto, que sea lo suficientemente pequeña para ser transportada y lo suficientemente grande para propósitos analíticos. Esto implica que las proporciones relativas o las concentraciones de todos los componentes pertenecientes, serán iguales tanto en la muestra como en la sustancia, material o producto que este siendo muestreado.

Con estos antecedentes, se procedió a realizar toma de muestras de sedimentos de fondo en 3 estaciones ubicadas cercanas a las instalaciones del TPM, las mismas que fueron tomadas con Draga Van Veen; la ubicación de las muestras se aprecia en la siguiente Figura y Tabla.

Tabla 12. Ubicación de los puntos de muestreo de Sólidos de Fondo.

ESTACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS UTM WGS 84	
	NORTE	ESTE
S1	9896651.00	531104.00
S2	9897246.00	531545.00
S3	9896785.00	532284.00

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

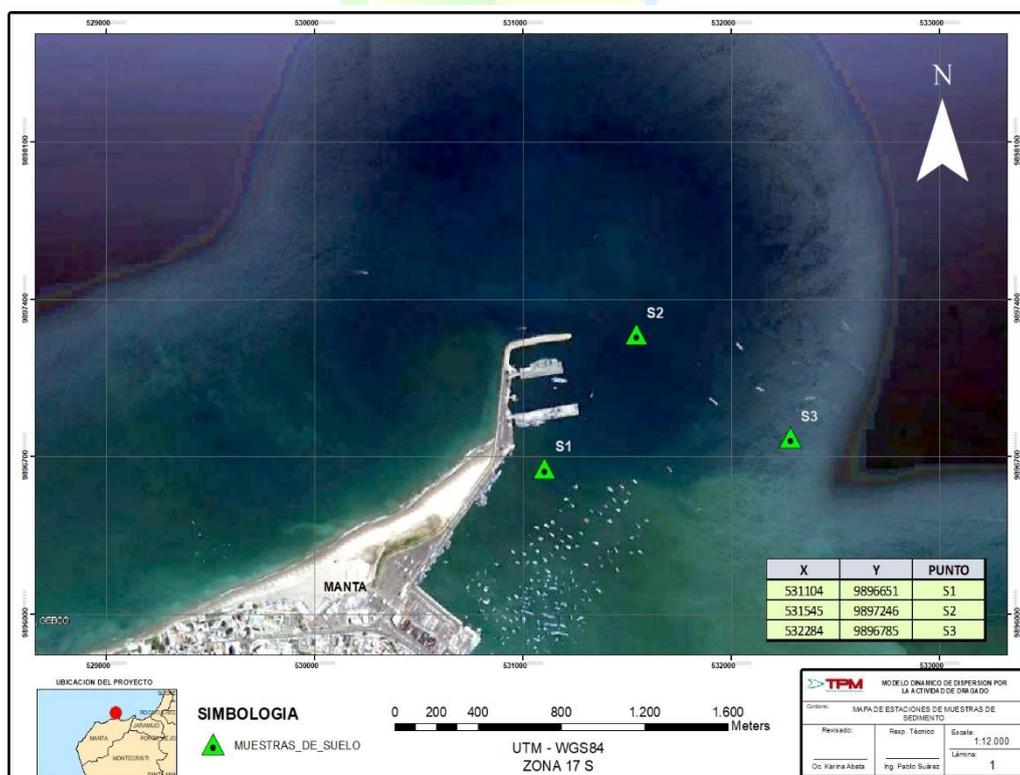


Figura 43: Ubicación de estaciones para toma de muestras de fondo.

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

La recolección de muestras directas del fondo marino se la realizó mediante la técnica de la Draga Van Veen, la cual es una técnica rápida y eficiente. Se utiliza frecuentemente en el estudio de suelos de obras de dragado, cuando los suelos (sedimentos bajo el agua) son relativamente blandos. Esta técnica funciona mejor en sedimentos no consolidados, saturados y heterogéneos. Es eficiente para ubicar, clasificar y muestrear materiales granulares y suelos blandos, y así mismo para indicar las zonas donde la dureza del material produce el rechazo de muestreador indicando con esto el techo del material duro.

El equipo utilizado corresponde a una draga manual metálica, que consiste en una caja de acero abierta en su parte inferior mediante una compuerta, que permite el ingreso de suelo. Cuando la draga manual toca el fondo del lecho marino, esta recoge material superficial y una vez llena, comienza el proceso de ascenso de la draga. Justo después de ser llevada a la superficie, se abre las compuertas y se recoge el material recolectado para ser colocados en fundas de polietileno para su posterior análisis.



Figura 44. Muestreo mediante Draga Van Veen.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Metodología de procesamiento

La muestra obtenida, es llevada al laboratorio donde se recepta y se verifica que contenga la información de ubicación, fecha, hora de toma y además se constata que se cumpla los requisitos mínimos, de los cuales depende la calidad de los resultados. Se verifica si el recipiente es adecuado para contener la muestra de acuerdo al tipo de ensayo a realizar, si el volumen de la muestra es suficiente, para la realización de las pruebas, se verifica si a la muestra se le han realizado procedimientos de preservación previos, de acuerdo a lo reportado por el muestreador. De igual forma, se revisa que el transporte de la muestra se haya realizado en condiciones óptimas y en el tiempo requerido.



Figura 45. Toma de muestras de sedimentos.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Las muestras fueron entregadas al laboratorio para ser examinados y analizados, de esta manera clasificarlas y determinar el tipo de sedimentos a lo largo del canal. Se ejecutaron 3 granulometrías (análisis con tamices). Los ensayos fueron realizados basados en las normas ASTM con los siguientes procedimientos:

LÍMITES DE ATTERBERG

NORMA: D4318-05 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

NORMA: INEN 154-1986

INEN 696-1982

INEN 697-1982

ASTM C 117-95

ASTM C 136-95

ASTM C 1140-92

AASHTO T 11-91

AASHTO T 27-93

Nota:

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización

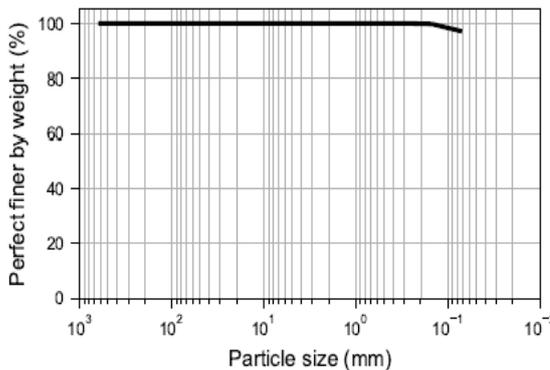
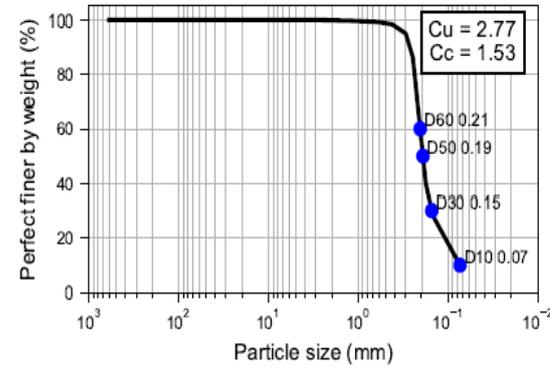
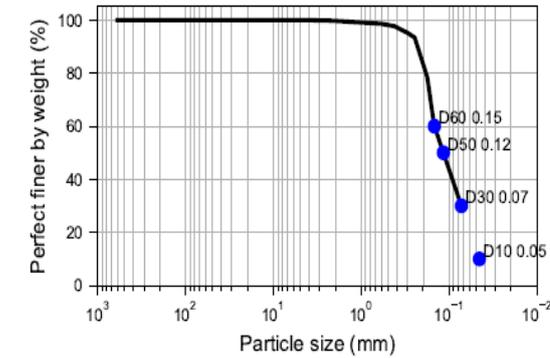
ASTM: American Society of Testing Materials

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

Resultados obtenidos

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos, los informes de laboratorio se encuentran en el Anexo B.

Tabla 13. Resumen de resultados de muestras de Sólidos de Fondo.

Muestra	Ensayo	Resultados																						
EST-1	Pasante del tamiz #4 Pasante del tamiz #200 Límite Líquido Índice de Plasticidad Clasificación SUCS	100.00% 97.25% NP NP																						
<p style="text-align: center;">Grain size distribution</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>Distribución de tamaño de partículas</caption> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Sub category</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Gravel</td> <td>Coarse</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Fine</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Sand</td> <td>Coarse</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Medium</td> <td>0.08</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Fine</td> <td>2.67</td> </tr> <tr> <td>Fines</td> <td></td> <td>97.25</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>			Category	Sub category	%	Gravel	Coarse	0.0	Fine	0.0	Sand	Coarse	0.0	Medium	0.08		Fine	2.67	Fines		97.25	Total		-
Category	Sub category	%																						
Gravel	Coarse	0.0																						
	Fine	0.0																						
Sand	Coarse	0.0																						
	Medium	0.08																						
	Fine	2.67																						
Fines		97.25																						
Total		-																						
EST-2	Pasante del tamiz #4 Pasante del tamiz #200 Límite Líquido Índice de Plasticidad Clasificación SUCS	100.00% 10.1% NP NP																						
<p style="text-align: center;">Grain size distribution</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>Distribución de tamaño de partículas</caption> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Sub category</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Gravel</td> <td>Coarse</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Fine</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Sand</td> <td>Coarse</td> <td>0.17</td> </tr> <tr> <td>Medium</td> <td>1.52</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Fine</td> <td>88.21</td> </tr> <tr> <td>Fines</td> <td></td> <td>10.1</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>			Category	Sub category	%	Gravel	Coarse	0.0	Fine	0.0	Sand	Coarse	0.17	Medium	1.52		Fine	88.21	Fines		10.1	Total		-
Category	Sub category	%																						
Gravel	Coarse	0.0																						
	Fine	0.0																						
Sand	Coarse	0.17																						
	Medium	1.52																						
	Fine	88.21																						
Fines		10.1																						
Total		-																						
EST-3	Pasante del tamiz #4 Pasante del tamiz #200 Límite Líquido Índice de Plasticidad Clasificación SUCS	100% 30.83% NP NP																						
<p style="text-align: center;">Grain size distribution</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>Distribución de tamaño de partículas</caption> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Sub category</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Gravel</td> <td>Coarse</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Fine</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Sand</td> <td>Coarse</td> <td>0.32</td> </tr> <tr> <td>Medium</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Fine</td> <td>66.85</td> </tr> <tr> <td>Fines</td> <td></td> <td>30.83</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>			Category	Sub category	%	Gravel	Coarse	0.0	Fine	0.0	Sand	Coarse	0.32	Medium	2.0		Fine	66.85	Fines		30.83	Total		-
Category	Sub category	%																						
Gravel	Coarse	0.0																						
	Fine	0.0																						
Sand	Coarse	0.32																						
	Medium	2.0																						
	Fine	66.85																						
Fines		30.83																						
Total		-																						

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Análisis de resultados

A continuación, se presentan un resumen de los resultados:

Tabla 14. Resultados de muestreo de Sólidos de Fondo.

ESTACIÓN	CLASIFICACIÓN SUCS	SIGNIFICADO	PREDOMINANCIA
EST-1	---	---	Finos
EST-2	---	---	Arena fina y arena media
EST-3	---	---	Arena fina y finos

Elaboración: Equipo Consultor, 2021

Tabla 15. Resultados de muestreo de Sólidos de Fondo.

ESTACIÓN	SIGNIFICADO	PREDOMINANCIA	GRAVAS %	ARENA %	FINOS %	CLASIFICACION SUCS
EST-1	---	Finos	0.00	2.75	97.25	---
EST-2	---	Arena fina y arena media	0.00	89.9	10.1	---
EST-3	---	Arena fina y finos	0.00	69.17	30.83	---

Elaboración: Equipo Consultor, 2021

Este estudio se ha basado únicamente en indicar el tipo de material de fondo existente en cada estación. Las muestras fueron tomadas en septiembre de 2021, es decir corresponde a época seca, teniendo que en las estaciones 1 y 3 predominan finos en especial la estación 1, mientras que la estación 2, tiene una predominancia de arena, en la cual la arena fina prevalece más que la arena media. Se debe tener en cuenta que esta composición puede cambiar, debido a los procesos de dragado que se lleven en la zona.

Comparando ambos estudios, en el punto S2 se encuentran arenas según su textura y arenas de grano fino según su diámetro medio en ambos estudios. Además, observamos que en la zona protegida por el puerto predomina el limo grueso que comprende el punto de la estación 1 (S1) del presente estudio. Debido a los procesos de dragado en el sitio, la composición del sedimento pudo verse afectada a lo largo del tiempo. De igual manera va acorde a la estación 3.

4.4.2. Sólidos Suspendidos Totales

Concentración de sólidos suspendidos totales (TPM)

Los sólidos en suspensión son partículas que permanecen en suspensión en el agua debido al movimiento del líquido o debido a que la densidad de la partícula es menor o igual que la del agua. La concentración de sólidos en suspensión es un valor utilizado como uno de los indicadores de la calidad del agua. Todos los sólidos en suspensión se pueden eliminar del agua mediante

filtrado; sin embargo, si los sólidos en suspensión tienen una densidad mayor que el agua, estas partículas se pueden eliminar también por sedimentación, si la turbulencia del agua es mínima.

Los sólidos en suspensión pueden ser de origen orgánico o inorgánico. Los materiales orgánicos tienen origen animal o vegetal. Las sustancias orgánicas siempre contienen carbono, oxígeno e hidrógeno. Las sustancias inorgánicas tienen, por otro lado, origen mineral y no suelen contener carbono.

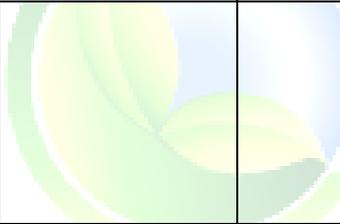
Los sólidos en suspensión desempeñan un papel importante como contaminantes, tanto debido a la materia orgánica o inorgánica que los forman, como por los agentes patógenos que son transportados en la superficie de dichas partículas. Por ello, cuanto menor sea el tamaño de la partícula, mayor será el área superficial por unidad de masa de la partícula y, por lo tanto, mayor será la carga patógena que puede ser transportada.

Equipos utilizados

Los equipos y materiales utilizados para la toma de muestras de agua para el análisis de los sólidos suspendidos totales, fueron proporcionados por el Laboratorio Grupo Químico Marcos, los mismos que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 16. Equipos y materiales utilizados en el monitoreo de sólidos suspendidos en el agua.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	FOTOGRAFÍA
Equipo de medición de posición geográfica - GPS	1 U	
Botella Van Dorn	1 U	
Cámara fotográfica	1 U	

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	FOTOGRAFÍA
Cabo de 1/2 pulg	15 m	
Recipientes plásticos		
Hielera y guantes descartables		
Equipo de protección personal		

Elaboración: Equipo Consultor, 2021

Metodología de trabajo de campo

El objetivo del monitoreo es obtener muestras representativas de los sitios de estudio, cuyo volumen sea suficiente para ser transportadas con facilidad y manipuladas por el laboratorio. Las muestras de agua deben conservar las proporciones relativas de todos los componentes existentes de los sitios monitoreados, para lo cual se ha utilizado recipientes debidamente desinfectados, los mismos que evitan posibles alteraciones en su composición natural.

La metodología, así como los instrumentos utilizados durante el muestreo y análisis de las muestras, fue proporcionada por el Laboratorio del Grupo Químico Marcos (G.Q.M), Laboratorio Ambiental acreditado bajo la Norma

ISO/IEC 17025 y ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) con registro No. OAE LE 2C 05-001, el cual es responsable de realizar la toma de muestra, preservación y análisis de las muestras recolectadas.

Previo al muestreo de campo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Revisión del equipo de muestreo en campo
- Selección del personal
- Revisión de la orden de trabajo

Durante el muestreo de campo se ejecutaron las siguientes actividades:

- Colecta de muestras de agua
- Preservación de muestras (los conservadores de muestras fueron los apropiados para almacenar envases, materiales de empaque y hielo)
- Llenado de los formatos de custodia de las muestras
- Transporte de las muestras al laboratorio

Para la toma de muestras se usó la botella de Van Door en las 3 estaciones de monitoreo, considerando los estados de marea de flujo y reflujó. A continuación, se muestran fotografías de los trabajos realizados in situ.



Figura 46. Lance de botella Van Door.

Elaboración: Equipo Consultor, 2021.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de las 3 estaciones monitoreadas durante el flujo y reflujó de la marea.

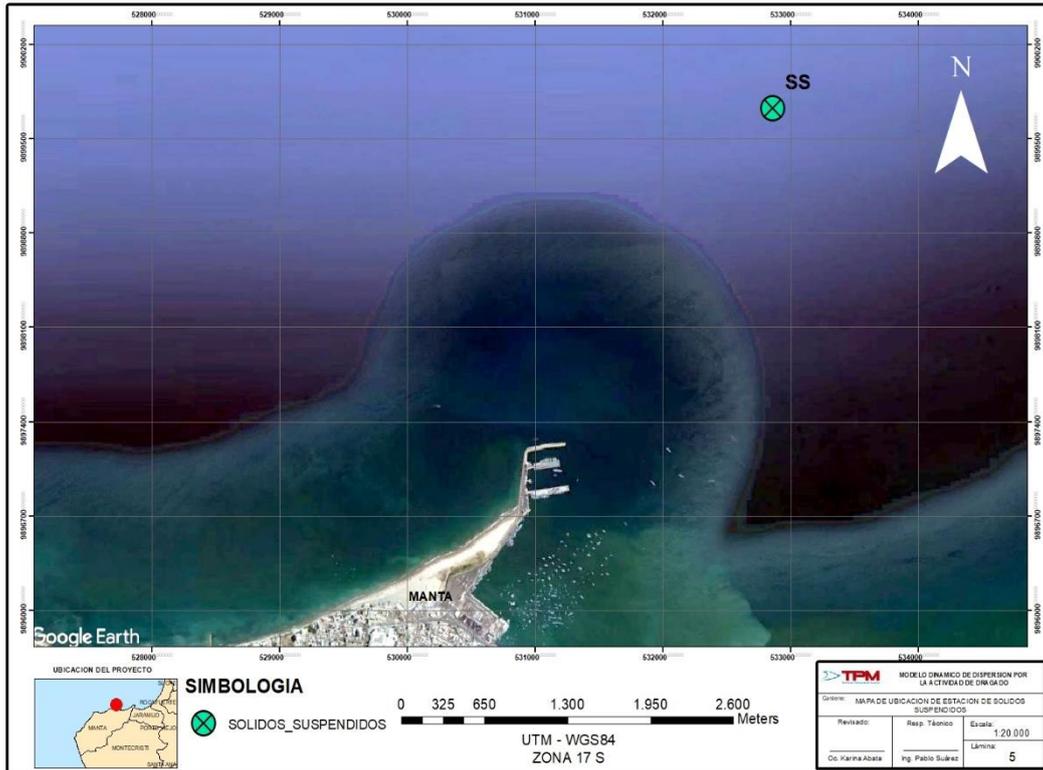


Figura 47. Ubicación de estaciones de muestreo de sólidos suspendidos.
Elaboración: Equipo Consultor, 2021.

Tabla 17. Condiciones de muestreo para los SST.

Ubicación	Fecha	Condición de la muestra	Estado de marea	Hora de medición
EST-1	09/09/2021	Superficie + medio + fondo	Flujo	13:30
			Reflujo	10:30

Elaboración: Equipo Consultor, 2021.

Metodología de análisis de laboratorio

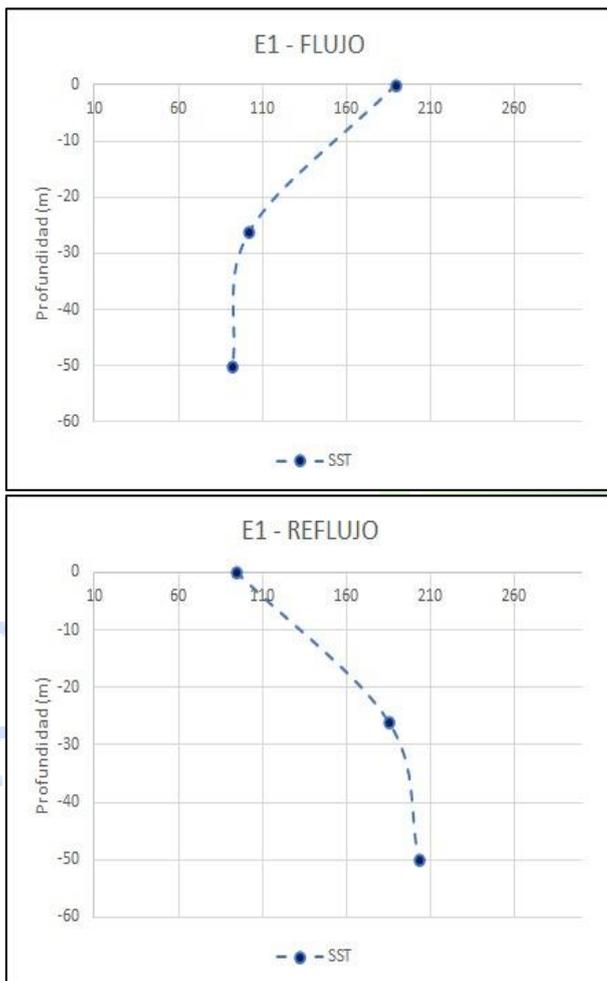
Para realizar el análisis de los Sólidos Suspendidos Totales de las muestras de agua, se ejecutaron los procedimientos establecidos dentro del STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTE WATER (Métodos Estándar para el muestreo del agua y agua residual), Edición 21, 2005, a través del método interno definido por el Laboratorio Grupo Químico Marcos, en cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma ISO 17025.

Resultados obtenidos

Estación 1

De acuerdo con los resultados obtenidos en la estación 1, se observa que la turbidez del agua en el área de estudio a nivel superficial es de 94 mg/l en el estado de reflujos y de 189 mg/l en el estado de flujo, por tanto, los SST presentes en el estado de reflujos (saliente) son ligeramente menores con referencia al estado de flujo.

El comportamiento de los SST en la columna de agua se presenta en la siguiente figura.



Estado de flujo: Los SST disminuyen de 189 a 102 mg/l a 26m de profundidad, para luego disminuir de 102 mg/l a 92 mg/l a los 50 m de profundidad.

Estado de reflujos: Los SST aumentan de 94 a 185 mg/l a 26 m de profundidad, para luego aumentar de 185 mg/l a 203 mg/l a los 50 m de profundidad.

Figura 48: Resultados del parámetro SST en la columna de agua en la estación 1 para los estados de flujo y reflujos.

Elaboración: Equipo Consultor, 2021

Análisis de resultados

Para la estación 1, en el estado de flujo la concentración de SST disminuía a medida que aumentaba la profundidad hasta llegar a un punto medio donde comenzaba a disminuir nuevamente. Para el estado de reflujos la concentración de SST aumentaba en la estratificación vertical de la columna de agua.

4.5. Comportamiento del dragado sobre los organismos bentónicos

El dragado es un componente de servicio importante en proyectos portuarios, clave para profundizar canales de acceso y/o mantener sus profundidades. Esta actividad como toda actividad humana, genera afectaciones negativas y/o positivas, pudiéndose alterar áreas dragadas y las zonas de descargas del material dragado, así como en áreas cercanas, pudiéndose alterar temporalmente las condiciones físicas, químicas y biológicas de los ecosistemas.

4.5.1. Organismos bentónicos

Uno de los grandes grupos de comunidades del mar son los bentos, constituido por los organismos tanto vegetales como animales que viven relacionados con el fondo, semienterrados, fijos o que pueden moverse sin alejarse demasiado de él, desde la marca de la pleamar hasta los fondos de las fosas más profundas.

Las comunidades bentónicas son muy diversas según la naturaleza del sustrato (roca, arena, limo) y la profundidad. En los fondos marinos suele reinar una estabilidad de condiciones muy superior a la propia de las aguas pelágicas, donde se encuentran el plancton y el necton, y que están sometidas a movimientos y cambios incesantes.

Los organismos bentónicos tienen escasa o ninguna capacidad de natación, lo cual les permite adoptar formas que no se ajustan a exigencias hidrodinámicas y, como no se enfrentan con problemas de flotación, pueden desarrollar estructuras esqueléticas gruesas como conchas y alcanzar tamaños considerables; por ejemplo, el molusco bivalvo del Pacífico, la especie *Tridacna*, puede tener hasta 2 metros de diámetro.

Los organismos vegetales se fijan directamente en el fondo, mientras que los animales se pueden anclar, enterrar o reptar. Su hábitat suele ser la superficie y los pocos centímetros superiores del material del fondo oceánico formado por arena, rocas o fango.

Los seres que habitan el sistema bentónico abarcan la plataforma costera, la continental, el talud continental, la zona abisal y las grandes fosas oceánicas, es decir el bento se extiende por toda la superficie del fondo de mares y océanos, de norte a sur y de este a oeste de la Tierra, aunque, como es natural, su densidad varía mucho de unas zonas a otras, decreciendo progresivamente su abundancia de acuerdo con la profundidad. ¹

4.5.1.1. Clasificación del bento

Son muchas las clasificaciones que se han hecho del sistema bentónico, como por ejemplo por regiones de profundidad, al tipo de hábitat y por su talla.

¹ http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/46/htm/sec_5.html

Regiones de profundidades

Una de las más utilizadas lo divide en cuatro regiones de profundidades progresivamente crecientes: la supralitoral o subterrestre; la costera o intermareal, también llamada sublitoral; la litoral propiamente dicha o batial, y la abisal. En estas regiones, las condiciones del medio: luz, temperatura, presión y salinidad, así como el tipo de materiales sedimentarios del fondo, van cambiando de manera gradual de acuerdo con la profundidad y la distancia de la costa, lo que ocasiona modificaciones características en la distribución de los organismos del bento.

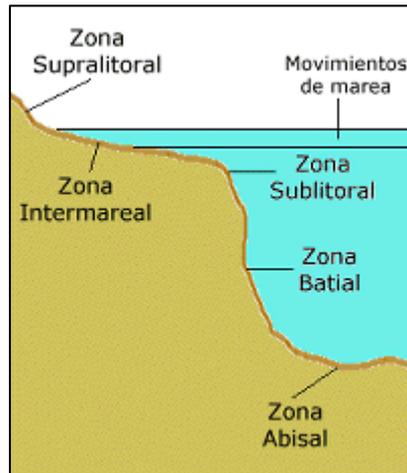


Figura 49. Regiones de profundidades (bentos)

Fuente: Grupo Maremundi 2005

Tipo de hábitat

De acuerdo con su hábitat específico, tales organismos pueden clasificarse en hiperbentos (organismos con buena capacidad de nado que realizan migraciones verticales sobre el sustrato), epibentos (organismos que habitan sobre la superficie del sustrato) y endobentos (organismos que viven enterrados en el sustrato).

Por la talla de los organismos

Los organismos del bento también pueden ser clasificados en función de su talla, es decir en macrobentos ($>500 \mu\text{m}$), meiobentos ($< 500 \mu\text{m}$ y $> 63 \mu\text{m}$) y microbentos ($> 63 \mu\text{m}$).

4.5.1.2. Distribución del bento

La distribución del bento depende de los factores físicos, químicos y biológicos que se presentan en el fondo del océano. Algunos de ellos controlan la distribución horizontal y otros la vertical; por ejemplo, la luz caracteriza la distribución de la flora y la fauna de los fondos oceánicos iluminados, mientras que el tipo de fondo caracteriza la vida bentónica en las facies rocosas, en los fondos arenosos y fangosos, y la profundidad a los organismos de los fondos oceánicos abisales.

4.5.1.3. Composición del bento

El bento está constituido por una gran diversidad de especies pertenecientes a diversos phylum o grandes grupos, entre los cuales se encuentran: Porifera (esponjas), Annelida (gusanos poliquetos), Anthropoda (Crustacea, que comprende a organismos marinos como la langosta y el camarón), Cnidaria (coral negro, coral pétreo), Echinodermata (estrellas y pepinos de mar) y Mollusca (pulpo y calamar).

4.5.1.4. Importancia de los organismos bentónicos

Los bentos constituyen un eslabón importante al interior de la red trófica, de los ecosistemas acuáticos. Su papel funcional reside en la transferencia de energía entre los productores primarios y consumidores terciario (Wilber y Clarke, 1998). Debido a sus hábitos alimenticios (por ejemplo, predadores o carroñeros) y a su poca o nula movilidad (sésiles), algunos componentes del bento, por ejemplo, poliquetos, son empleados como especies indicadoras de cambios ambientales. Otros organismos, holotúridos (pepino de mar), decápodos (langosta, jaiba o camarón) o gasterópodos (caracol rosado o chivita) presentan un interés comercial.²

4.5.2. Estudios de organismos bentónicos en TPM

De los estudios ambientales de TPM se desprende que el estado de la dársena (agua y sedimentos) se verá reflejado en la riqueza y abundancia de sus comunidades biológicas principales (plancton, necton y bentos) mientras que la calidad de agua debe evaluarse de acuerdo a criterios de la normativa vigente descrita en el Libro VI, De la calidad ambiental y ante la ausencia de criterios locales para la interpretación de la calidad de sedimentos se debe recurrir a normativas internacionales referenciales.

En cada estación de análisis se colectaron dos muestras del fondo marino con una draga tipo Van Been de 4 litros de capacidad, 10 kilos de peso vacía y una superficie de 0.08m² de boca abierta al impactar, esta se mantuvo a péndulo de la embarcación entregándosele cabo ordenadamente para dejarla en caída libre cerca del fondo, la draga al impactar el fondo es cobrada evitándose el garreo de la misma y se acciona un mecanismo de cierre siendo izada a pulso para depositar su contenido en una malla rectangular de 500 micras para lavar la muestra para eliminar el exceso de sedimentos y concentrar la muestra de seres bentónicos hacia un copo de tela. La muestra ya reducida es depositada en envases plásticos de 1.75 L de boca ancha etiquetados siendo completados con alcohol industrial al 70%, evitando la descomposición de la muestra hasta su posterior análisis en laboratorio.

² Diversidad en el bento marino-costero – Daniel Pech Pool / Ardisson Herrera



Figura 50. Adquisición de muestras bentónicas

Fuente: Estudios y Obras de Dragado de la Fase 1, para la Terminal Internacional del Puerto de Manta, 2018.

En la tabla se observan los conteos de seres bentónicos y la proporción de seres colectados vivos categorizados en grupos taxonómicos principales en las 2 estaciones, solamente existieron representantes vivos de bivalvos, anélidos, crustáceos y equinodermos, encontrándose vestigios de gasterópodos y escalopados.

Tabla 18. Proporción de seres bentónicos colectados vivos en muestreo con draga.
TPM 2 de marzo 2018

	E1AT	E1BT	E2BT	E2BV	E2BT	TPMV	TPMT	%seres vivos
Bivalvos	2	12	3	15	23	15	40	37.5%
Gastropodos	0	9	1	0	5	0	15	0%
Escafopoda	0	0	0	0	2	0	2	0%
Anellida	0	0	0	12	12	12	12	100%
Crustacea	0	0	1	1	1	1	2	50%
Echinodermata	0	0	0	7	7	7	7	100%
Briozoa	1	0	0	0	0	0	1	
Subtotal	3	21	5	35	50	35	79	
% seres vivos	0%	0%	0%	70%		44.3%		
% global	0%	0%	0%	100%				

Fuente: Estudios y Obras de Dragado de la Fase 1, para la Terminal Internacional del Puerto de Manta, 2018.

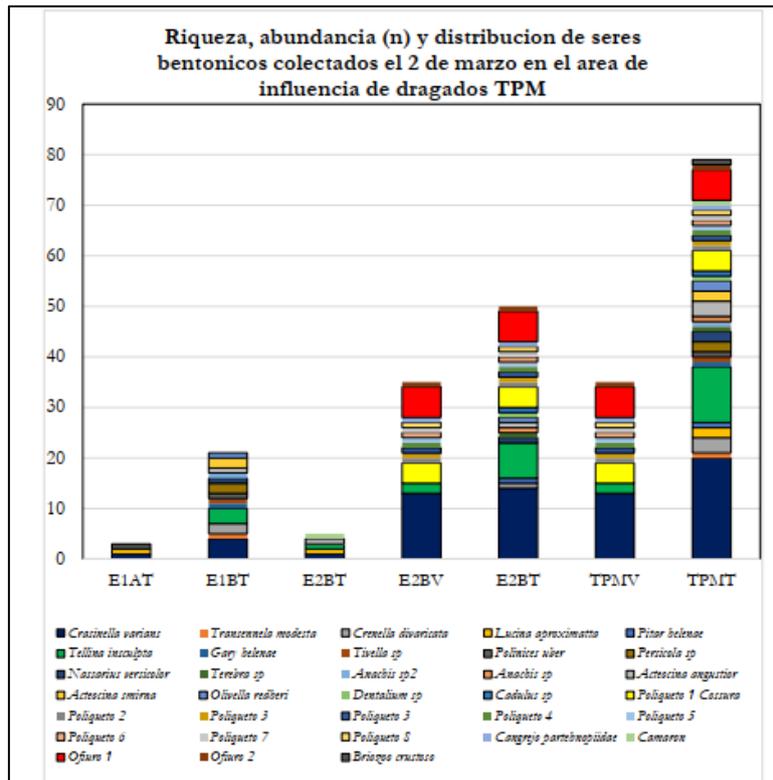


Figura 51. Distribución de seres bentónicos en el área de estudio, TPM 2 de marzo 2018
Fuente: Estudios y Obras de Dragado de la Fase 1, para la Terminal Internacional del Puerto de Manta, 2018.

El estado ecológico de las inmediaciones del Terminal Portuario internacional de Manta TPM durante el tercer monitoreo en su fase de dragado muestra aun la continua disminución de seres bentónicos en el conjunto del sector colindante al área de dragados. Sin embargo, la muestra 2B exhibe la reaparición de seres que se habían encontrado solamente en la fase previa del dragado en el mismo sitio, dando a entender que la zona se recupera adecuadamente.

4.5.3. Descarga del material dragado

En general, como se había indicado, es aceptado que todos los métodos de dragado y descarga de material dragado tienen el potencial para generar directa o indirectamente ciertos impactos negativos al ambiente. Esos impactos generan cambios en las características físicas, químicas y biológicas de los ecosistemas.

Los impactos ambientales asociados con la descarga del material dragado en aguas son: incremento de la turbidez, suspensión y distribución de contaminantes, disminución del oxígeno disuelto y hundimiento y/o cobertura de los organismos vivos presentes en la zona de depósito.³

³ Landaeta, Cruz J. - Potenciales Impactos Ambientales generados por el dragado y la descarga del material dragado

Los impactos sobre el medio biótico producto de la disposición del material durante el dragado serán el resultado del sepultamiento (para el caso del bento) y de la generación de plumas de turbidez (plancton, peces, aves, reptiles y mamíferos).

Los efectos de la deposición de los sedimentos sobre las comunidades bentónicas dependerán fundamentalmente de la capacidad de los organismos para emigrar hacia arriba a través de la capa de sedimento depositada (La Salle, et al. 1991) y de las características de la dinámica oceánica.

Cuando se realiza el vertido del material dragado, este material, se mantendrá en suspensión incrementando temporalmente la turbidez del área, lo cual es aceptable por el corto periodo que se mantiene el material en suspensión, pues las particularidades de la dinámica oceánica hacen que estos se dispersen.

En este caso, por las condiciones hidrodinámicas, el material dragado se dispersará desde el punto de vertido en dirección a la prevalencia de las corrientes marinas de ese momento, lo cual evita que exista una gran cobertura de los bentos en el punto de fondo del sitio de vertido.

5. MODELAMIENTO MATEMÁTICO

5.1. Aspectos generales de los modelos numéricos

Con el gran desarrollo que han tenido las máquinas de procesamiento computacional en las últimas tres décadas, los modelos numéricos se han convertido en una herramienta muy atractiva para estudiar el movimiento del agua y el transporte de sustancias (contaminantes, nutrientes, sedimentos en suspensión y de fondo) en ambientes como ríos, lagos, embalses, estuarios y zonas costeras.

Con base en la caracterización del proceso físico que se quiere simular, es posible identificar las variables y propiedades gobernantes del sistema, y a partir de ello, es viable construir índices de medición que permitan cuantificar la capacidad de un modelo hidrodinámico, para simular el fenómeno en estudio y comparar su comportamiento respecto a otros modelos, para decidir cuál es el que mejor se ajusta a las necesidades del usuario y del fenómeno en análisis.

Por otra parte, la importancia de los modelos numéricos para el estudio de las condiciones hidrodinámicas y de transporte radica en su adaptabilidad a las condiciones del sitio, su flexibilidad para evaluar diversos escenarios y estados del sistema. Es conveniente advertir que la aplicación de un modelo numérico requiere de información de campo tanto de la zona circundante (forzadores climatológicos) como del cuerpo de agua (temperatura, velocidad, turbidez, etc.) para poder calibrar y validar los resultados de las simulaciones.

Se plantea en este caso la necesidad de ejecutar un modelamiento numérico en el Puerto de Manta, Ecuador, que permita diagnosticar el comportamiento del sedimento y su dispersión por labores de dragado en el área y sus

inmediaciones, con la finalidad de obtener información necesaria para los futuros proyectos que se darán asiento en la zona.

Para el presente proyecto se implementará un modelo que abarque hidrodinámicamente, lo que se pretende realizar mediante la plataforma de modelación MIKE21/3.

5.2. Mike 21/3

Mike 21/3 FM Acoplado es un sistema de modelado dinámico diseñado por DHI-Water & Environment, para aplicaciones en el análisis de costas, estuarios y ríos. El modelo está compuesto por los módulos siguientes:

- Hidrodinámico (HD).
- Transporte de sedimentos cohesivos (ST)
- Módulo de propagación de oleaje (SW).
- Seguimiento de Partículas (PT)

Los componentes básicos de MIKE 21/3 FM son los módulos hidrodinámicos y de oleaje. El sistema permite simular la interacción mutua oleaje y corriente usando un acoplamiento dinámico entre ellos. También incorpora un acoplamiento entre el módulo de transporte de sedimentos y la hidrodinámica, además tiene la opción de incluir una realimentación completa de los cambios de nivel en el lecho debidos al oleaje y corrientes.

MIKE 21/3 FM tiene la capacidad de retroalimentar cada uno de los módulos entre sí, razón por la cual se utilizaron los módulos HD, SW, ST y PT para realizar una simulación acoplada de la hidrodinámica, el oleaje, transporte de sedimentos y la dispersión del sedimento en la zona de estudio.

5.2.1. Módulo Hidrodinámico (HD)

Este módulo resuelve las ecuaciones de Navier - Stokes promediadas por Reynolds en tres dimensiones, para simular la variación del nivel de agua y corrientes sujetas a forzamientos y condiciones de frontera. El modelo considera la hipótesis de incompresibilidad, suponiendo flujo de Boussinesq y presión hidrostática.

La ecuación de continuidad se puede escribir como:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad \text{Ec. 1}$$

Y las ecuaciones de momento para las componentes de x, y respectivamente son:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial p}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \quad \text{Ec. 2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial p}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \quad \text{Ec. 3}$$

En donde t es el tiempo, x , y , z son las coordenadas cartesianas, η es la elevación de la superficie, $h=\eta+d$ es la profundidad total, u , v y w son las componentes de velocidad en la dirección x y z , $f=2\Omega\sin\varphi$ es el parámetro de Coriolis, (Ω) es la tasa de revolución angular y φ la latitud geográfica, g la aceleración de la gravedad, S la magnitud de la descarga; S_{xx} , S_{xy} , S_{yy} son las componentes del tensor radiación; ν_t es la viscosidad turbulenta vertical; ρ_a es la presión atmosférica; ρ_0 , u_s y v_s son la densidad de referencia del agua y las velocidades de descarga de las fuentes de agua respectivamente.

5.2.2. Módulo de Oleaje Espectral (SW)

El modelo SW es un modelo espectral de viento y oleaje basado en mallas no estructuradas. El modelo simula el crecimiento, decaimiento, y transformación del oleaje, generado por el viento y mar de fondo en zonas costeras y en aguas profundas. El modelo incluye aumento de oleaje por la acción del viento, interacción no lineal ola-ola, interacción ola-corriente, disipación por descrestamiento, disipación por fricción del fondo, disipación por rotura de las olas y refracción por variaciones de profundidad. Así mismo, reproduce los principales fenómenos físicos asociados con la propagación del oleaje como asomeramiento, reflexión y difracción.

La dinámica de las ondas de gravedad está descrita por la ecuación de transporte para la densidad de acción de onda. Para aplicaciones a pequeña escala el transporte básico es usualmente formulado en coordenadas cartesianas, mientras que para aplicaciones a grandes escalas se utiliza un sistema de coordenada esférico-polar.

Mike 21 SW está formulado en términos de la dirección de oleaje (θ) y la frecuencia angular relativa (σ), donde la densidad de acción $N(\sigma, \theta)$, se relaciona con la densidad de energía $E(\sigma, \theta)$ del espectro por:

$$N = \frac{E}{\sigma} \quad \text{Ec. 4}$$

La dirección de propagación del oleaje $\bar{\nu}$ se obtiene a partir de la irrotacionalidad del vector número de onda:

$$\bar{\nu} \times \bar{k} = 0 \quad \text{Ec. 5}$$

Y los parámetros correspondientes derivados de la teoría lineal del oleaje:

$$\omega = \sigma + \bar{\nu} \cdot \bar{k} \quad \text{Ec. 6}$$

$$\sigma^2 = gk \tanh(kd) \quad \text{Ec. 7}$$

donde ω es la frecuencia angular absoluta, g es la aceleración de la gravedad, d es la profundidad, k el vector número de onda, k su magnitud y el módulo de la celeridad de grupo está dada por:

$$C_g = \frac{\partial \sigma}{\partial k} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \quad \text{Ec. 8}$$

mientras que la celeridad de fase está dada por:

$$c = \frac{\sigma}{k} \quad \text{Ec. 9}$$

La función fuente de energía S , representa una sobre posición de distintas funciones fuentes que describen los múltiples fenómenos físicos, y está dada por:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf} \quad \text{Ec. 10}$$

donde S_{in} representa la energía del viento, S_{nl} representa las interacciones no lineales ola-ola, S_{ds} es la disipación de energía debido al descrestamiento, S_{bot} es la disipación de energía por fricción de fondo descrita en Johnson & Kofoed-Hansen (2000); y S_{surf} es la disipación de energía por rotura del oleaje, descrita por Battjes and Janssen (1978) y Eldeberky and Battjes (1996). La discretización de las ecuaciones de gobierno se realiza utilizando el método de volúmenes finitos centrado en la celda utilizando una malla no estructurada para el dominio geográfico. La integración en tiempo se basa en una aproximación de paso fraccional aplicando un método de multi-secuencia explícito para la propagación de acción de oleaje.

5.2.3. Módulo de Transporte de Sedimentos (ST)

El módulo de transporte de sedimento (no cohesivo) ST permite estimar la tasa de transporte, así como las variaciones en la morfología del área costera sujeta al efecto combinado del oleaje y las corrientes.

Este modelo se fundamenta en las formulaciones de Meyer-Peter & Mueller (1948), Engelund & Hansen (1967) y Zyserman & Fredsøe (1978). La ecuación de transporte total por unidad de ancho unitario, q_t , se compone de transporte de fondo (q_b) y transporte en suspensión (q_s) de acuerdo a:

$$q_t = q_b + q_s \quad \text{Ec. 11}$$

en el que q_b y q_s están dadas por:

$$q_b = 0.005Uh \left[\frac{U - U_{cr}}{\sqrt{gd_{50}(s-1)}} \right]^{2.4} \left(\frac{d_{50}}{h} \right)^{1.2} \quad \text{Ec. 12}$$

$$q_s = 0.012Uh \left[\frac{U - U_{cr}}{\sqrt{gd_{50}(s-1)}} \right]^{2.4} \left(\frac{d_{50}}{hD_*} \right)^{0.6} \quad \text{Ec. 13}$$

donde U (m/s) es la velocidad horizontal promediada en vertical del flujo, U_{cr} (m/s) es la velocidad umbral de inicio de movilización del sedimento, h (m) es la profundidad del agua, g (m²/s) es la aceleración de la gravedad, d_{50} (mm) es el tamaño medio del sedimento, $s = \rho_s/\rho$ es la densidad específica del sedimento, siendo ρ_s (kg/m³) la densidad de la arena, ρ (kg/m) la densidad del

fluido y D^* es un parámetro adimensional del sedimento expresado por la ecuación:

$$D_* = d_{50} \left[\frac{(s - 1)g}{\nu^2} \right] \quad \text{Ec. 14}$$

donde ν (m²/s) es la viscosidad cinemática del agua.

5.2.4. Módulo de Seguimiento de Partículas (PT)

La implementación de este módulo es una forma eficiente de estudiar el destino y dispersión de partículas dadas las condiciones hidrodinámicas del sitio a estudiar en el Puerto de Manta. Esta técnica utiliza la discretización de Lagrange, separando la masa total del sistema en un número de partículas con coordenadas específicas en 3D.

La idea principal del Módulo PT, es el transporte de partículas de acuerdo a un régimen de deriva agregando dispersión mediante la introducción de un término de paso aleatorio.

El desempeño del Rastreo de Partículas depende directamente del número de partículas en el dominio, la simulación se realiza rápidamente si la masa en el dominio se divide en pocas partículas y lentamente si se divide en muchas partículas.

La estimación de transporte y dispersión de partículas, se hace siguiendo el principio de la ecuación de Langevin, quien junto con otros autores formularon la dinámica del movimiento Browniano en términos de una ecuación diferencial estocástica, la cual se expresa mediante la ecuación:

$$dX_t = a(t, X_t)dt + b(t, X_t)\xi_t dt \quad \text{Ec. 15}$$

en donde: a : término de deriva, b : término de difusión, ξ_t : Número aleatorio

Para simular la trayectoria Y con la aproximación de Euler, para un tiempo discreto dado se inicializa el valor $Y_0 = X_0$ y se procede de manera recursiva para generar el siguiente valor, esto se representa como:

$$Y_{n+1} = Y_n + a(t, X)Y_n\Delta_n + b(t, X_t)Y_n\Delta W_n \quad \text{Ec. 16}$$

Para $n = 1, 2, 3, \dots$ de acuerdo al esquema de Euler con coeficiente a de deriva y b coeficiente de difusión $\Delta W_n = W_t - W_s \in N(\mu = 0, \sigma^2 = \Delta_n)$ es el incremento de la distribución normal gaussiana del proceso de Wiener, que es un proceso gaussiano estocástico continuo con incrementos independientes sobre el sub intervalo $\tau_n \leq t \leq \tau_{n+1}$.

5.3. Hipótesis

- Se supone que la hidrodinámica de la Bahía de Manta es responsabilidad únicamente de la corriente.

- El transporte del Sedimento ocurre en el mismo sentido de las corrientes de marea.
- El Sedimento en la zona de dragado del Puerto de Manta, corresponde según el diámetro medio a Limo Grueso, esto avalado por estudio previos.
- El oleaje en la zona depende de la rapidez de los vientos y tienden en dirección Noroeste Oeste-Noroeste.
- Se supone el comportamiento de la dispersión del Sedimento correspondan al flujo y refluo dinámico de la zona.

5.4. Metodología para realizar el modelamiento numérico

Se plantea en este caso la necesidad de ejecutar un modelamiento numérico en el Puerto de Manta, Ecuador, que permita diagnosticar el comportamiento del transporte de sedimentos y la dispersión por labores de dragado que afecta al área y sus inmediaciones, con la finalidad de obtener información necesaria para los futuros proyectos que se darán asiento en la zona.

5.4.1. Procesamiento

Para la ejecución del modelamiento en la zona del Puerto de Manta, se debe presentar inicialmente: la descripción del sitio, determinación del clima marítimo y el tipo de sedimento, implementación del modelo, modelación numérica, estimación del transporte de sedimentos y la dispersión de estos tras los trabajos de dragado.

Se presenta información relevante sobre el modelo numérico MIKE 21/3 FM así como las ecuaciones que gobiernan los módulos que se utilizarán, en este caso el Módulo PT.

Las simulaciones numéricas se realizarán con modelos basados en la data batimétrica recolectada y ajustados con la información metoceanica (corrientes, marea, oleaje, sedimentos, vientos y otros) típica de la zona. El modelo también permitirá conocer el comportamiento del clima marino sobre la dispersión del sedimento tras las actividades de dragado. De forma general se presenta un diagrama (Figura 52), donde se detallan cada uno de los pasos a seguir para la ejecución del modelo. Respecto al diagrama:

- La recopilación de datos se refiere a la adquisición de los datos (de campo y a partir de modelos).
- El proceso de datos se refiere a la manipulación, procesamiento y análisis de los datos para la adquisición de información que resulte de utilidad para la caracterización del sitio, el clima marítimo presente y la evolución morfológica medida durante un año.
- La Preparación del dominio y las condiciones de contorno de los modelos, se basa en la creación de grillas batimétrica del área dominio de los modelos, donde se definen y ajustan la(s) malla(s) computacionales, para determinar las condiciones iniciales y de contorno en la zona a estudiar.

- La calibración se basa en ajustes iterativos a los parámetros de entrada hasta que los resultados del modelo concuerden con los datos medidos, aplicando parámetros del para la variabilidad de marea normal, para el caso de estudio.

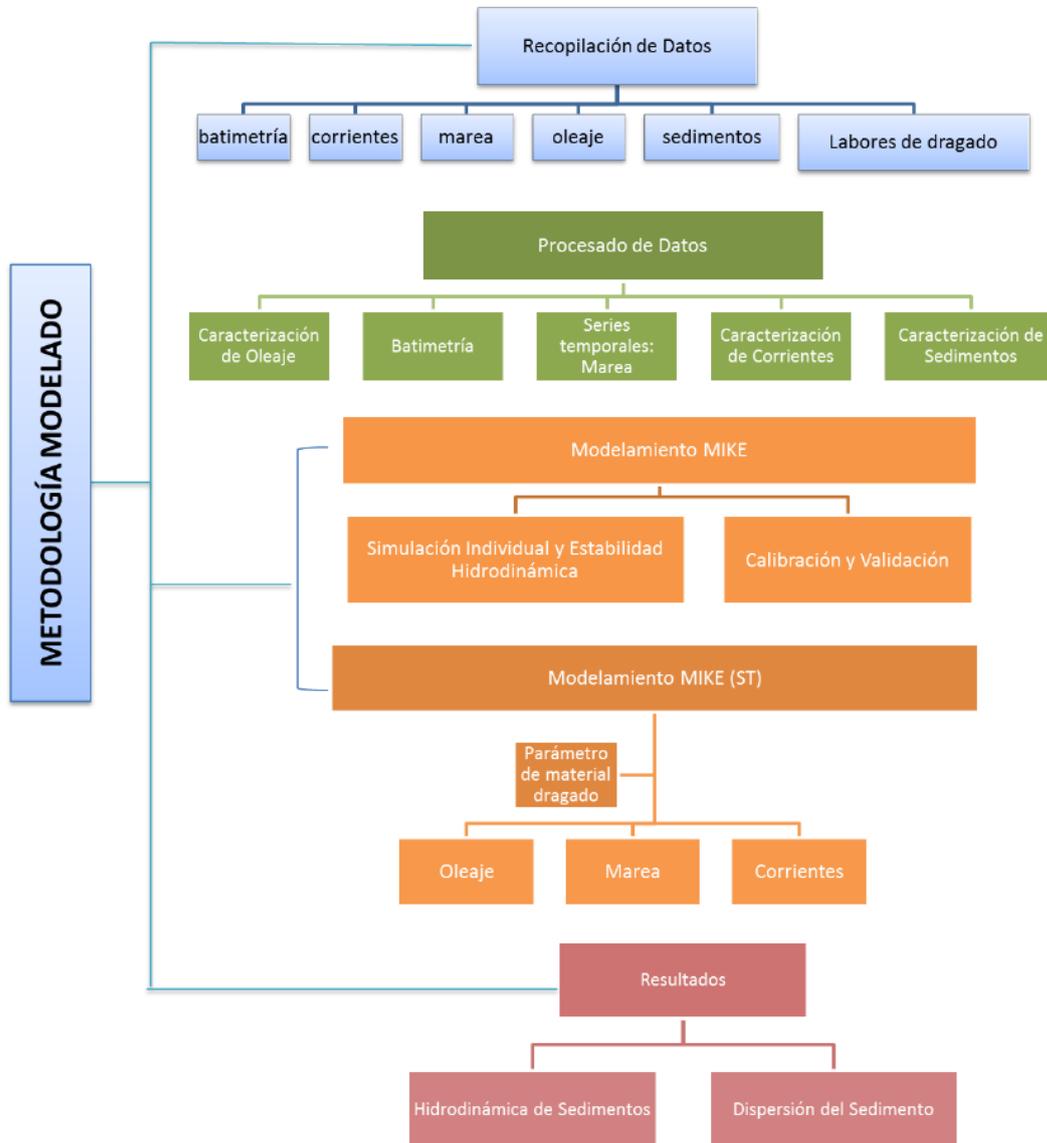


Figura 52. Diagrama de la Metodología a emplear para el Modelamiento en el Puerto de Manta

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Se implementa el modelo numérico Mike en su modulo PT, el cual debe ser forzado con viento, oleaje, marea y sedimentos, obteniéndose los primeros resultados los cuales permiten la calibración para así afianzar el modelo y obtener resultados precisos que se ajusten a la zona.

Una vez caracterizado el clima marítimo y definido los parámetros de sedimentos se procede con el dimensionamiento y la realización de las corridas del modelo, para obtener los resultados coherentes y necesarios solicitados

De manera general, en la siguiente tabla se presentan las actividades que se llevan a cabo para la ejecución de los modelos:

Tabla 19. Actividades para la Ejecución del Modelamiento en el Puerto de Manta.

ID	ACTIVIDAD
	Procesamiento de los datos de campo.
1.1	Caracterización de los elementos forzantes presentes en la data Metoceánica (Vientos, Marea, Corriente, Oleaje)
1.2	Discusión y muestra de los resultados de la caracterización para determinar los escenarios del modelamiento
2	Preparación del dominio y las condiciones de contorno del modelo
2.1	Creación de la grilla batimétrica del área dominio
2.2	Definición y ajuste de la(s) malla(s) computacional para la ejecución
2.3	Definición de las condiciones iniciales y de contorno para la ejecución
3	Calibración
4	Ejecución del modelo sobre los escenarios asociados a la caracterización
4.1	Seguimiento de la Partícula (MIKE 21/3, PT)
5	Resultados del Modelamiento
5.1	Hidrodinámica de Sedimento
5.2	Dispersión

Fuente: Consulsua C. Ltda. 2021.

5.5. Configuración y Calibración del Modelo MIKE 21/3

5.5.1. Descripción del dominio de aplicación

El dominio representa el área de modelación y está delimitado por 4 fronteras (Norte, Sur, Este y Oeste). En nuestro caso, el dominio tiene una extensión aproximada 5.00 km del Puerto de Manta, la cual comprende un área de incidencia de 27.50 km² la cual es donde se proyectan los resultados obtenidos por el modelamiento.

5.5.2. Condiciones Iniciales

El dato fundamental de los modelos numéricos es la batimetría de la zona a modelar. En este caso se usó información de batimetrías de 2018 y cartas del INOCAR, tras el procesamiento de esta información se presenta el plano batimétrico en la Figura 53.

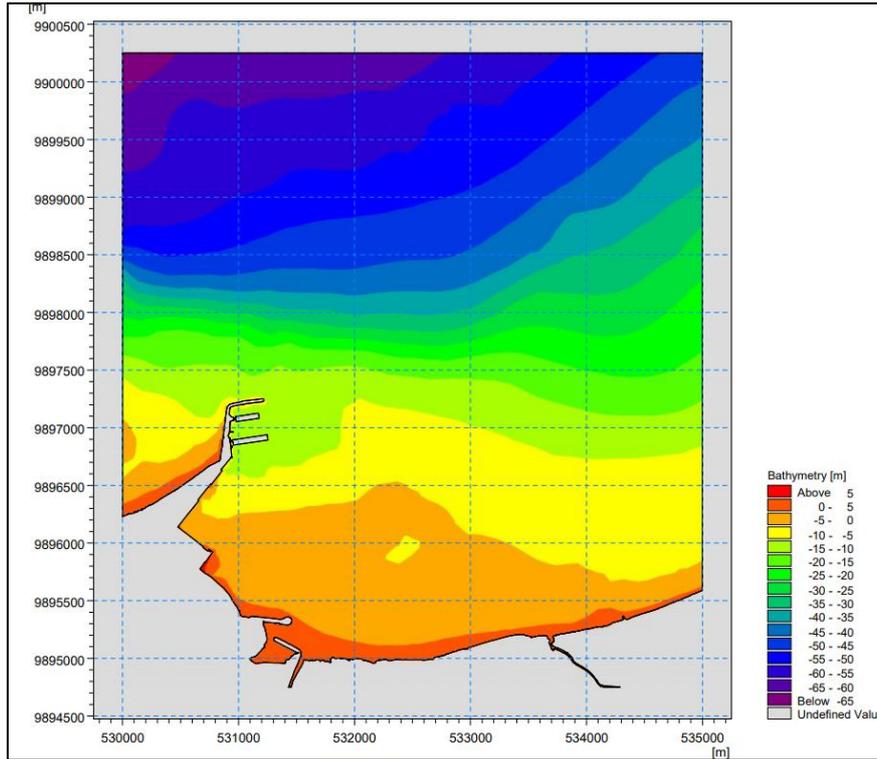


Figura 53. Batimetría Puerto de Manta Aplicada al modelo
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Las variables hidrodinámicas de la zona, también representan suma importancia ante el modelado, pues son éstas las que rigen los patrones de circulación. Por tal razón tras una evaluación de estos parámetros, el factor primordial en la extensión de las plumas de material fino son las corrientes marinas en la zona de vertido. Dados los objetivos del estudio se ha analizado en primer lugar, el efecto de las corrientes de marea sobre la extensión de la pluma de sedimentos considerando tamaño de partículas finas (limos), los cuales permitieron determinar los escenarios de evaluación para la respuesta de la dispersión en representación 3D. Ver Tabla 20.

Tabla 20. Escenarios previstos para el modelo 3D.

EVENTO	ESCENARIO		ABREVIATURA
Flujo	Sin Vertido		F1
	Con Vertido	TSHD	F2
		SHB	F3
Reflujo	Sin Vertido		R1
	Con Vertido	TSHD	R2
		SHB	R3

Fuente: Consulsua C. Ltda. 2021.

Las consideraciones que se presentan para la evaluación de dispersión de la partícula, se presentan en la Tabla 21, donde se debe tener en cuenta el tipo de sedimento, su diámetro medio y la velocidad de sedimentación del mismo, para estimar el tiempo que tarda en llegar al fondo y la profundidad de

descarga de cada draga empleada, en toda la columna de agua de la zona dispuesta para el vertido.

Los parámetros considerados en este apartado, se basan en las características de las embarcaciones presentadas en el apartado de la metodología de dragado, estudio previo de sedimentos en la zona de dragado por Soledispa, B (2009) donde se atribuye que predomina el limo grueso por la medida media de su diámetro y la velocidad de sedimentación donde, se ha considerado que la dispersión del material dragado puede equipararse al comportamiento del material sedimentario en el que la cohesión interna entre granos de sedimento es despreciable. Para el cálculo de la velocidad de sedimentación, se ha empleado la expresión de Stokes, que se expresa del siguiente modo (Allen, 1985):

$$V_s = \frac{1}{18} \frac{(\sigma - \rho)}{\eta} g \Phi^2 \quad \text{Ec. (17)}$$

Dónde: V_s ; es la velocidad de sedimentación (m/s), σ ; es la densidad de la partícula (kg/m^3), ρ ; es la densidad del agua del mar (kg/m^3), g ; es la aceleración de la gravedad (m/s^2) η ; es la viscosidad del agua del mar en ($\text{N}\cdot\text{s/m}^2$), Φ ; es el diámetro medio de las partículas (m). Considerando los valores típicos de las variables ambientales.

Tabla 21. Consideraciones para cada escenario evaluado.

ESCENARIO	Sin Vertido	Con Vertido	
		TSHD	SHB
Profundidad de descarga (m)	0.00	11.00	6.00
Profundidad de vertido (m)	0.00	43.00	48.00
Tiempo de sedimentación (h)	0.00	7.24	8.09
Velocidad de sedimentación (m/s)	1.65E-03		
Tipo de sedimento	Limo Grueso		
Diámetro medio (μm)	50.00		
Profundidad zona de vertido (m)	54.00		
Velocidad de sedimentación (m/s)	1.65E-03		

Fuente: Consulsua C. Ltda. 2021.

5.5.3. Discretización Espacial

Las mallas desestructuradas y flexibles, proporciona una flexibilidad óptima mientras se conserva una solución numérica eficiente. La discretización horizontal puede combinar triángulos y elementos cuadriláteros, mientras que la vertical se basa en una discretización sigma o cuadrática. La resolución a escala regional y la batimetría pueden aproximarse muy bien en los contornos y límites, imponiendo gradualmente una mayor resolución a través del método de malla flexible.

MIKE 21/3 Flow Model FM se basa en una malla flexible, utilizando el método de volúmenes finitos centrado en la celda para discretizar el flujo y las ecuaciones

de transporte. En el plano horizontal (coordenadas esféricas o cartesianas), emplea una malla no estructurada con elementos triangulares y/o cuadrangulares (DHI, 2012).

La malla utilizada para el Puerto de Manta, es flexible de tipo irregular con 5047 nodos y 8355 elementos triangulares, los cuales están distribuidos en dos zonas con una resolución aproximada de 200 m y 100 m en cada zona respectivamente, configuración que se aprecia en la Figura 54.

Para la simulación en el escenario 3D, se utilizó una malla estructurada en capas para el dominio vertical (Figura 54), ésta se dividió en 6 capas sigma con un tipo de distribución Layer thickness, estas capas basadas en la batimetría. (0.00 m a -54.00 m).

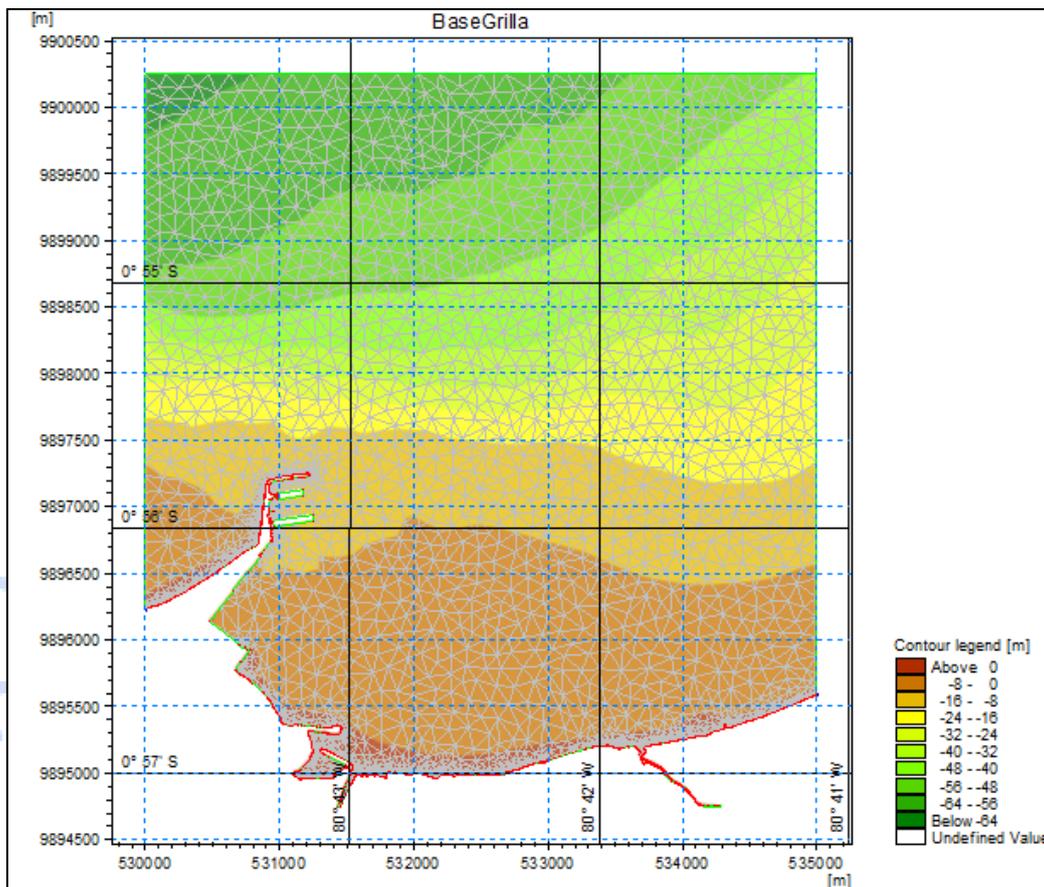


Figura 54. Mallas flexibles no estructuradas y anidadas, creadas para el modelamiento con MIKE 21/3 en el Puerto de Manta
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

5.5.4. Especificaciones de parámetros de entrada del modelo

El modelo para la obtención de resultados, implementa diversos módulos entre ellos los descritos anteriormente, HD, ST, MT, SW y PT, los cuales ameritan insumos para su propagación en el espacio. En la Tabla 22 se presentan los parámetros empleados para la ejecución del módulo PT.

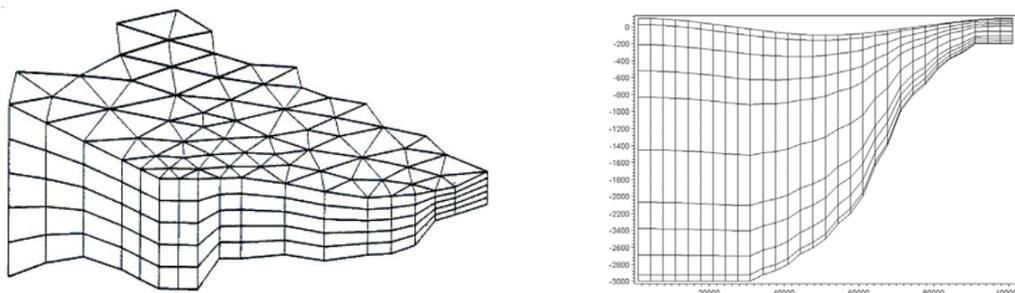


Figura 55. Mallas estructuradas y anidadas como ejemplo para la representación en 3D del modelamiento con MIKE 21/3
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Tabla 22. Parámetros de entrada del módulo de Dispersión de Partículas en Mike 21/3.

ESPECIFICACIÓN PARTICLE TRACKING (PT)	
Clase	Nombre: Sedimento
	Unidad: kg
	Tipo de Sedimento: Limo Grueso
	Masa mínima de partícula = 0.01 (masa mínima que debe tener la partícula para omitirla en los cálculos)
	Diámetro medio: 50.00µm
	Edad máxima de partícula = 1800 (edad máxima que debe tener la partícula para omitirla en los cálculos)
Asentamiento	Velocidad de asentamiento = 0.0024 m/s
Dispersión	Coeficiente de dispersión Vertical = 0.01 m ² /s
	Coeficiente de Dispersión Horizontal = 0.01 m ² /s
Perfil de Deriva	Datos Crudos del Modelo Hidrodinámico
Rugosidad del Fondo	Igual que el hidrodinámico

Fuente: Consulsua C. Ltda. 2021.

5.5.5. Calibración

Los intervalos de confianza del modelo se fundamentan en la calibración y validación y para las condiciones particulares del Puerto de Manta. La calibración consistió en ajustes iterativos a los parámetros de entrada hasta que los resultados del modelo coincidieron con los datos medidos. Se aplicó los parámetros del modelo se ajustó en la calibración y la verificación para la variabilidad de marea normal (Flujo y Reflujo). Los datos medidos disponibles para la calibración consistieron en mediciones variación del nivel del mar por un intervalo comprendido ente el 09/10 al 10/10/2021 contándose con mediciones continua.

Los resultados obtenidos de la calibración muestran el ajuste entre la variabilidad del nivel del mar medida y la modelada por MIKE21/3 FM. Se muestra en la Figura 56, denotando el ajuste entre la variable medida en línea

punteadas y la modelada en línea continua, lo cual certifica y valida la implementación del modelo en el Puerto de Manta.

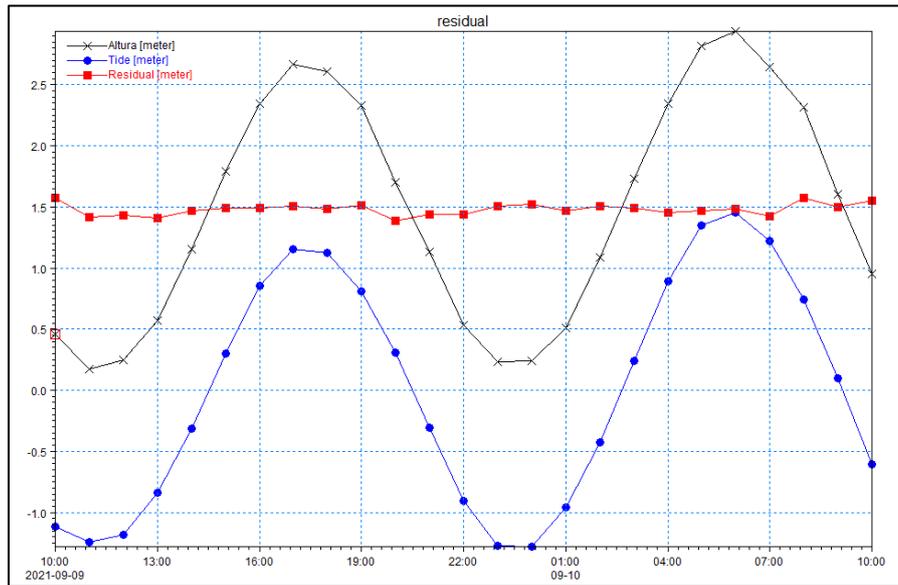


Figura 56. Comparación de las elevaciones de la superficie del agua simulada y medida en WS2 durante la calibración
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

5.6. Análisis de Información

La zona costera de Manta está protegida por un rompeolas de 1.50 kilómetros, con una dirección noreste, en él se encuentra el Puerto de Manta, el cual es el primer puerto turístico, marítimo y pesquero del Ecuador. La influencia de los procesos físicos y dinámicos que se desarrollan en el área marino – costera, se hace importante su conocimiento para la protección de tan importante estructura.

El transporte litoral, al oeste del rompeolas del Puerto, parece derivar hacia el este (hacia el rompeolas). Al este del puerto pesquero, la deriva litoral es hacia el oeste; y, frente a Tarqui, hacia el puerto. Las corrientes de resaca son notorias entre Punta Jaramijó y Manta, especialmente durante eventos El Niño, época en las cuales se han producido inundaciones de la ciudad de Manta (PMRC, 1987).

Estudios Hidrodinámicos previos realizados en la zona, describen el ambiente marino influenciados por:

5.6.1. Vientos

Predominan del Suroeste para la época seca presentando máximas velocidades de 12.20 m/s, presentando variaciones en otras direcciones, pero en mínimos porcentajes de ocurrencia. Sin embargo, durante la época húmeda se registran vientos provenientes del Sur y del O-SO con viento máximo de 6.30 m/s.

5.6.2. Oleaje

Se registran mayor altura de olas durante los primeros meses del año, arribando de oleaje de mar de fondo o swell proveniente del norte del Océano Pacífico, debido a la presencia del invierno en el hemisferio norte. Cabe indicar que no solamente es el único factor, considerando que durante la ocurrencia de eventos El Niño entre moderados y fuertes, existen registros de un incremento en la intensidad del oleaje que arriba al borde costero durante los primeros meses del año.

Los registros de las alturas significativas de olas durante la época seca indican que el mayor porcentaje de ocurrencia son de olas con alturas de hasta 1.50 m, teniendo un alto porcentaje de ocurrencia de olas entre 0.50 y 0.60 m de altura. Para la época húmeda, las alturas de olas se presentaron disminuidas alcanzando valores hasta 0.6 m y con alto porcentaje de ocurrencia de olas entre 0.10 y 0.20 m de altura.

Los mayores porcentajes de ocurrencia de los períodos medios son de 8 segundos para la época seca y de 5 a 6 segundos para época húmeda, teniendo datos hasta de 9 segundos.

El régimen de olas extremas presenta valores de hasta 2.59 metros, que ocurren predominantemente durante los primeros meses del año lo cual permite establecer su relación con el oleaje de mar de fondo que arriba a las costas del Ecuador proveniente del Norte y coincide con la estación húmeda del año (diciembre a inicios de mayo).

5.6.3. Corrientes

La columna de agua presenta variabilidad según la temporada estudiada, en época seca muestran tendencia en dirección Este hasta los 30.00 m de profundidad aproximadamente, mientras que en mayores profundidades tienden al Norte hasta los 65.00 m, a partir del cual se presenta un flujo predominante con dirección E-SE. Para época húmeda presentan tres flujos de corrientes: superficial (hasta los 18 m aproximadamente) tienden hacia el Este, a pesar que en el primer nivel de 7.00 m van al Oeste. La capa subsuperficial (desde los 18.00 m hasta cerca de los 60.00 m), se registra un flujo con dirección predominante al Oeste y con direcciones variables. De manera general se presenta en la Tabla 23 las velocidades máxima y media en la zona de estudio.

Tabla 23. Velocidades máximas y medias en la Zona del Puerto de Manta

VELOCIDAD (m/s)			
ÉPOCA SECA		ÉPOCA HÚMEDA	
Med.	Máx.	Med.	Máx.
0.206	0.561	0.07	0.15
0.172	0.508	0.08	0.24
0.135	0.397	0.11	0.26

Fuente: Asociación de Estudios Marino Costeros Consulsua – Geoestudios, 2014.

5.6.4. Temperatura y Salinidad

Los perfiles de los parámetros de Temperatura y Salinidad permiten definir que la capa de mezcla tiene en la época seca una profundidad de 30.00 m aproximadamente. La Temperatura Superficial del Mar (TSM) registrada en la época seca fue de 25.43°C y de 25.77°C en la época húmeda, la Salinidad varió de 33.28 psu en noviembre a 33.33 psu en enero 2014.

5.6.5. Sedimentos

Soledispa, B., (2009), determina que los sedimentos que cubren el sector del Puerto de Manta, son predominantemente arenosos, de grano muy fino a fino, mal clasificados y asimétricamente positivos. El porcentaje de limo y arcilla en algunas muestras arenosas, es considerable, lo que demuestra la gran influencia de los ríos o esteros, intermitentes, del sector, que, en determinada época, especialmente ante eventos El Niño, acarrean grandes cantidades de los materiales terrígenos antes señalados.

La arena proviene tanto del mar, como de la zona de acantilados bajos, muy inestables, y por lo tanto fácilmente erosionables, que se encuentran ubicados cerca del área en mención.

El diámetro medio, como atributo sedimentario, se comporta parecido a la distribución por textura y puede, en igual forma, ser índice de la efectividad de selección por tamaños en cada ambiente, lo cual está en relación con la uniformidad de la energía presente. Se determina por la categoría del tamaño de las partículas que constituyen la porción más abundante del sedimento (Carranza, 1980). Según este parámetro (Figura 57), en el área de estudio, para la zona dragada predomina el limo grueso.

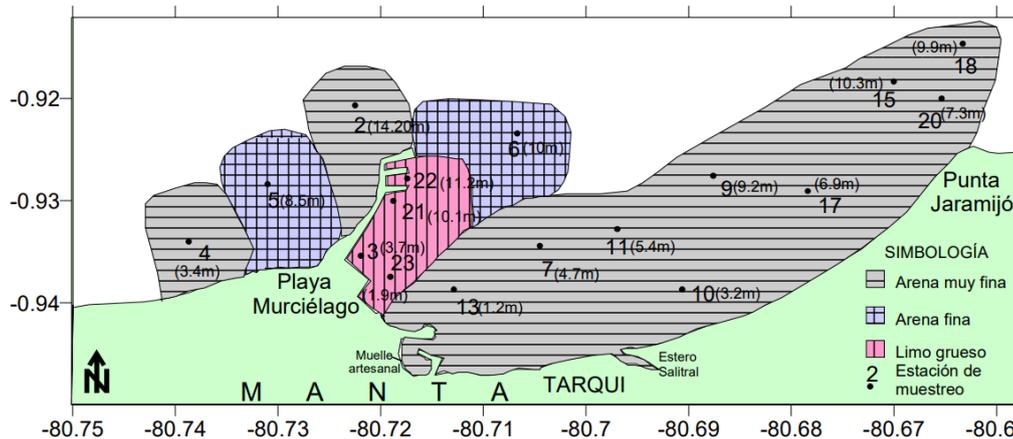


Figura 57. Mapa de distribución aproximada de los sedimentos según su diámetro medio, incluyendo la profundidad a la que fue tomada la muestra

Fuente: Soledispa, B. (2009).

5.6.6. Topobatimetría

La Información Topobatimétrica fue obtenida por procesos de sondeo previos realizados con ecosonda multihaz y planos cartográficos. El área contemplada para el levantamiento se acotó en una longitud de 5.00 km y 5.50 km costa

afuera, cubriendo un área de 2,750.00 ha (27.50 km²). El plano obtenido se presenta en Figura 58.

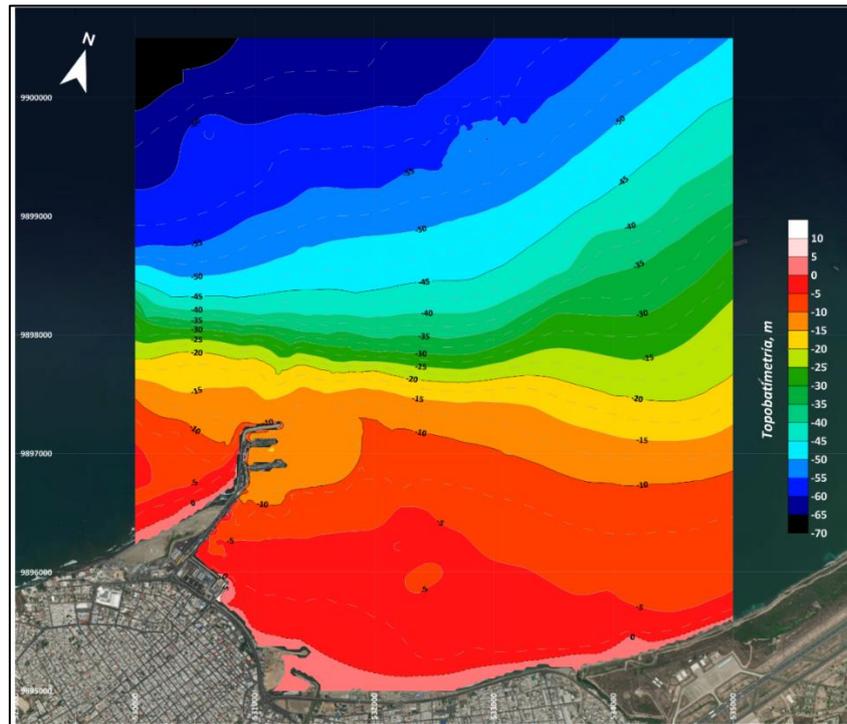


Figura 58. Levantamiento Topobatimétrico en la Zona del Puerto de Manta
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

5.7. Resultados del modelamiento con MIKE21/3 en el Puerto de Manta

En este apartado, se presentan los resultados obtenidos en los estudios de transporte y dispersión de la fracción sedimentaria susceptible de quedar en suspensión, tanto durante la operación de descarga de material dragado como a largo término, y de los efectos químicos y biológicos sobre el medio marino.

Por ser un modelo acoplado, este hace la representación gráfica en dos dimensiones, pero evaluando la columna de agua por capas, haciendo una representación cuasi en 3D, pues con estos resultados se presenta un aproximado del comportamiento del transporte de sedimentos en la capa profunda, media y superficial.

Se toman en cuenta el estado actual de la zona de estudio, así como también el vertido de material dragado para distintos escenarios mencionados anteriormente.

5.7.1. Escenario F1

En el espacio horizontal, se observa la tendencia del patrón de circulación del cambio de masa de sedimento en la zona de estudio para las condiciones de flujo, pero trataremos de forma explicativa el área de vertido.

En la Figura 59, se muestra el inicio del modelamiento con $t=1$, para $t=60$ (Figura 60) se tiene variación de 1500.00 a 3000.00 g/m² (equivalente a 1.50 a 3.00

kg/m²), en la Figura 61 con t=180 se encuentra entre los 4000.00 a 8000.00 g/m² y para t=300 varía entre 16000.00 a 20000.00 g/m² (Figura 62); lo que muestra un aumento en cambio del fondo a medida que transcurre el flujo.

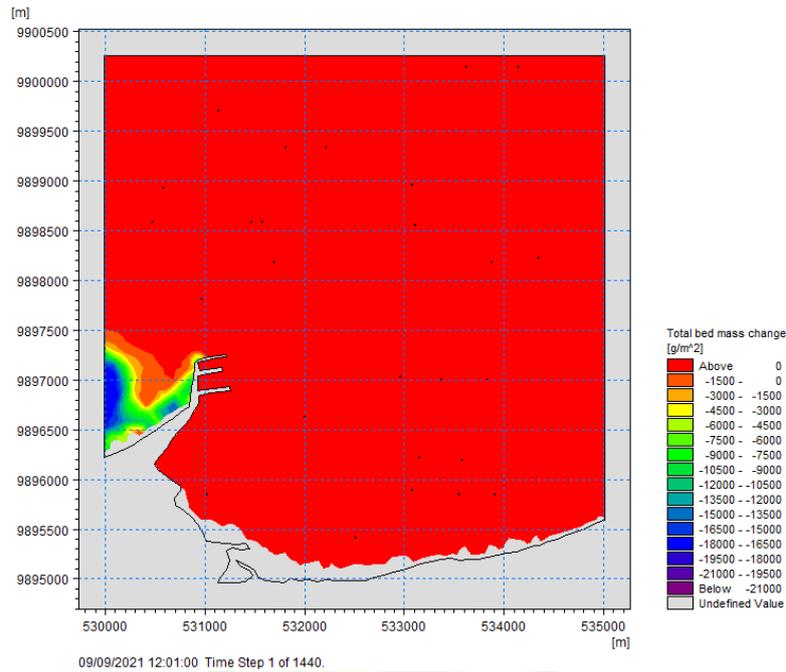


Figura 59. Cambio total de sedimento en fondo para F1 con t=1
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

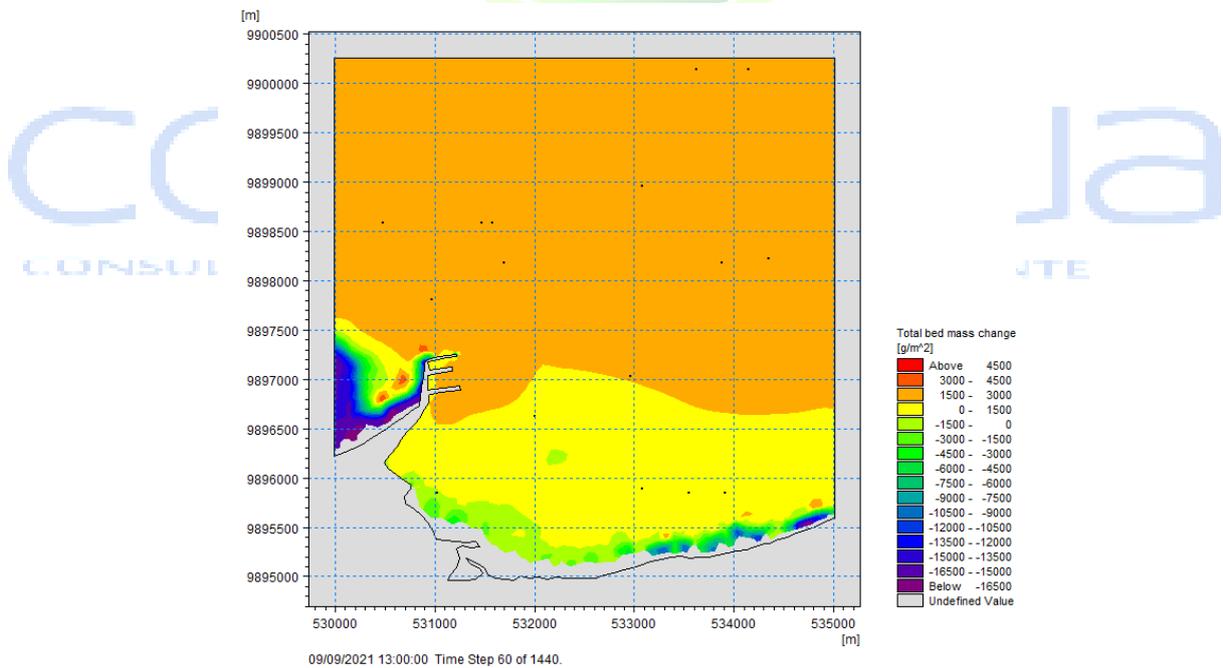


Figura 60. Cambio total de sedimento en fondo para F1 con t=60.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

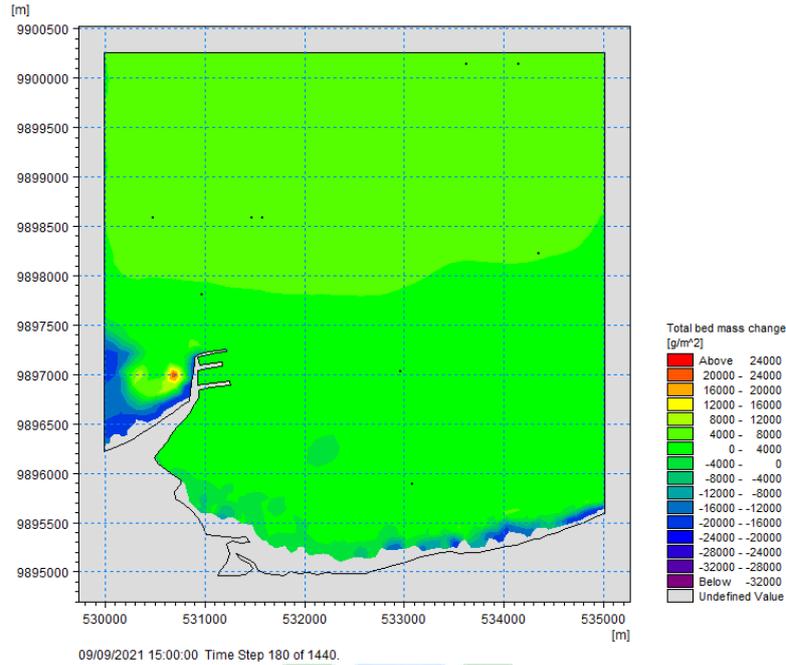


Figura 61. Cambio total de sedimento en fondo para F1 con $t=180$.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

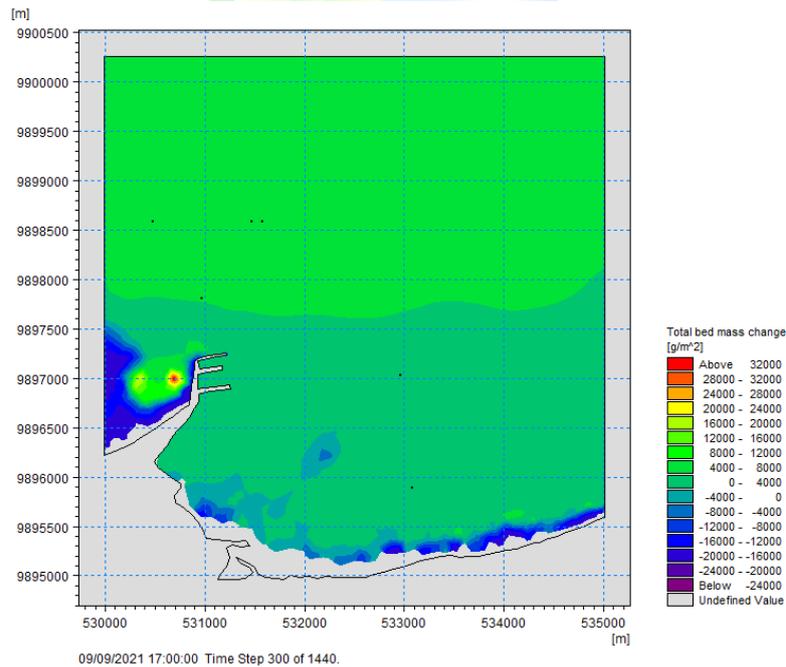


Figura 62. Cambio total de sedimento en fondo para F1 con $t=300$.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

5.7.1. Escenario R1

El cambio de fondo para la zona de vertido en reflujo, se observa en la Figura 63, Figura 64, Figura 65 y la Figura 66, donde el reflujo varía entre 4000.00 y 8000.00 g/m² para $t=420$; 5000.00 y 10000.00 g/m², para $t=480$ y $t=660$ se mantiene entre

10000.00 – 15000.00 g/m². Resultando un cambio de la masa del fondo mayor en el refluo de las corrientes de marea en la zona de depósito de sedimentos.

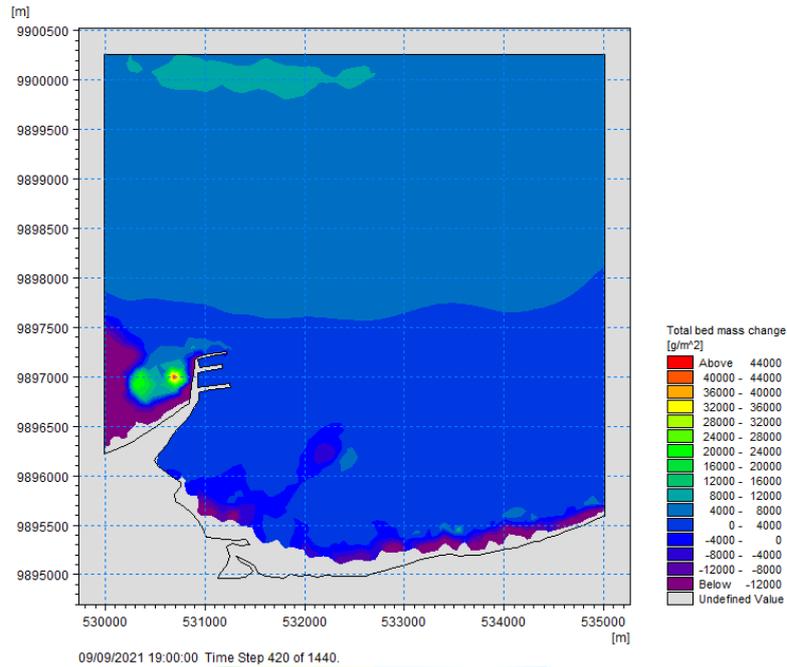


Figura 63. Cambio total de sedimento en fondo para R1 con t=420.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

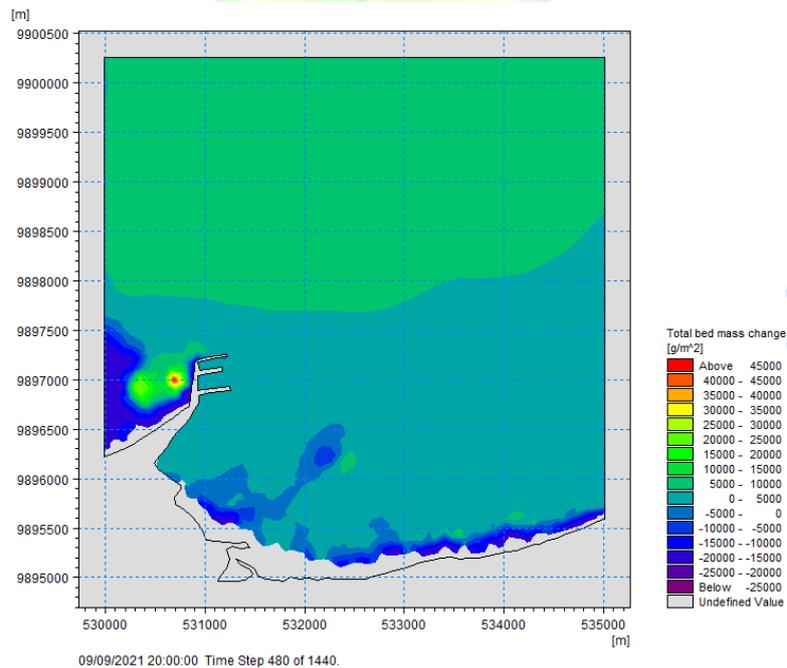


Figura 64. Cambio total de sedimento en fondo para R1 con t=480.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

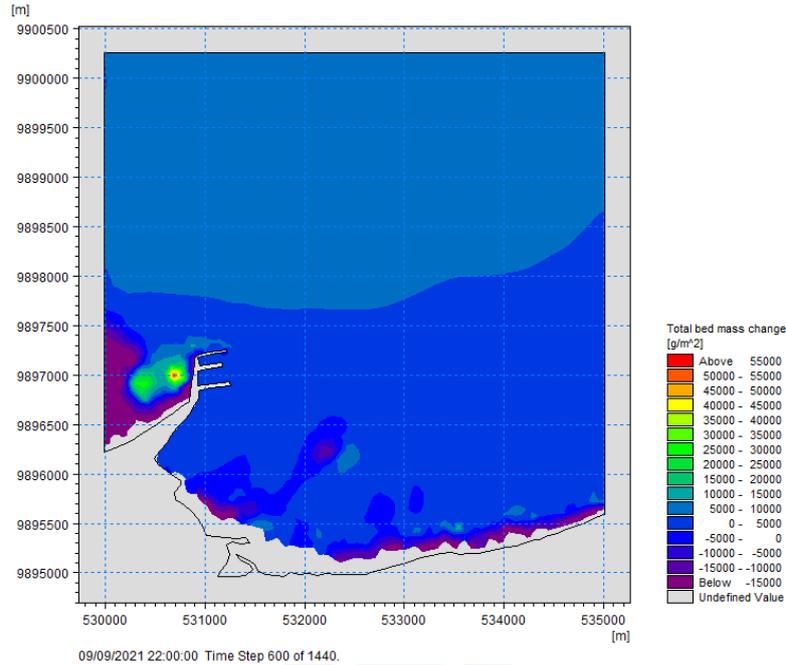


Figura 65. Cambio total de sedimento en fondo para R1 con $t=600$.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

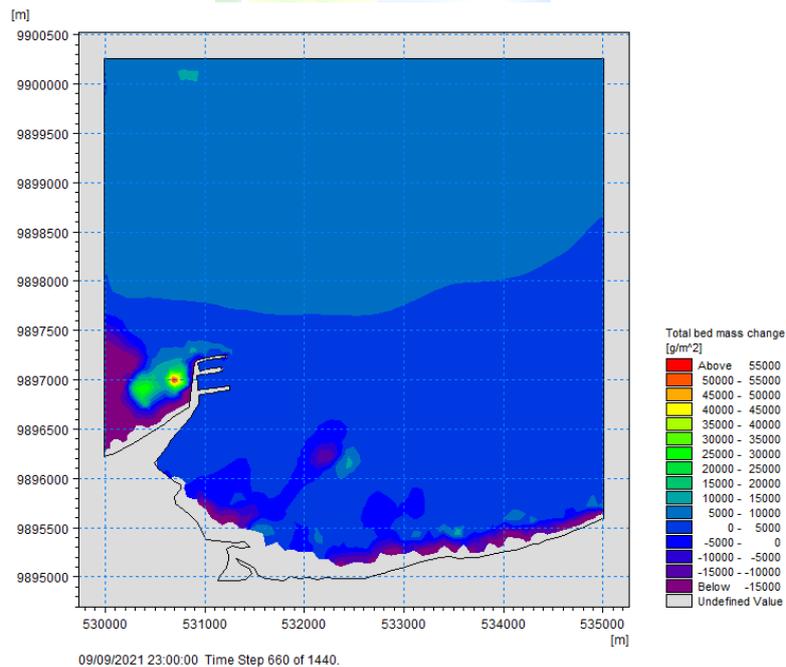


Figura 66. Cambio total de sedimento en fondo para R1 con $t=660$.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

5.7.2. Escenario F2

El vertido de sedimento en la zona de depósito con draga TSHD, se estima que se realice a los 11.00 m de profundidad por el calado de la tolva, por tal razón se evalúa el comportamiento de dispersión del sedimento desalojado desde el inicio (Ver Figura 67) y luego el curso que sigue en flujo al cabo de una hora, en las tres capas (superficie, media y fondo); donde en la superficie (Figura

68), presenta un rumbo hacia el Norte variando su concentración desde 9.00×10^6 a $6.00 \times 10^5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tendencia que se sigue notando en la capa media y fondo pero con menor masa sedimentaria (Figura 69 y Figura 70 respectivamente). Siguiendo la trayectoria que ha tenido la dispersión luego de 5.00 horas de vertido, para las tres capas (Ver Figura 71, Figura 72 y Figura 73) se observa que transcurrido este tiempo varia la concentración de sedimento, que en todos estos casos toma máximos desde $1.12 \times 10^7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta $1.6 \times 10^5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Permaneciendo en suspensión en la zona dispuesta para descarga desplazándose lentamente.

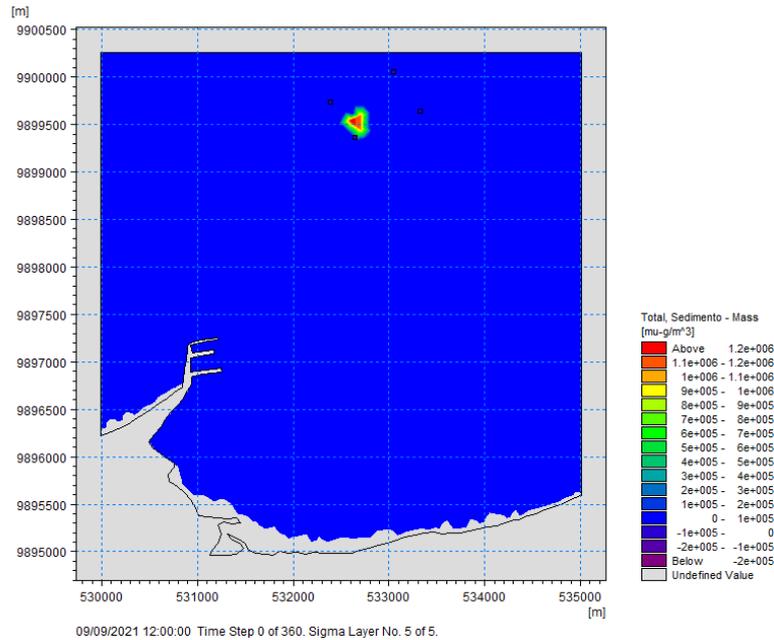


Figura 67. Modelado de descarga de material dragado para F2 con $t=0$ en Superficie.

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

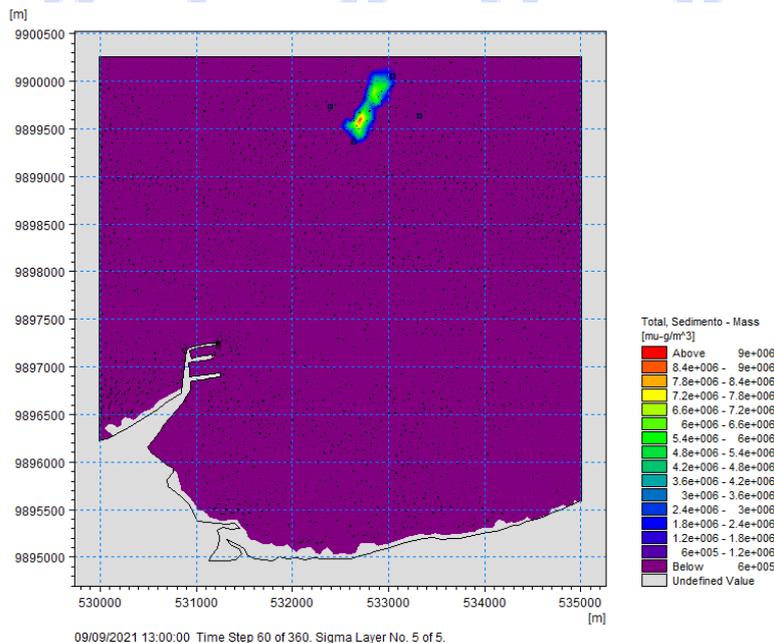


Figura 68. Modelado de descarga de material dragado para F2 con $t=60$ en Superficie.

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

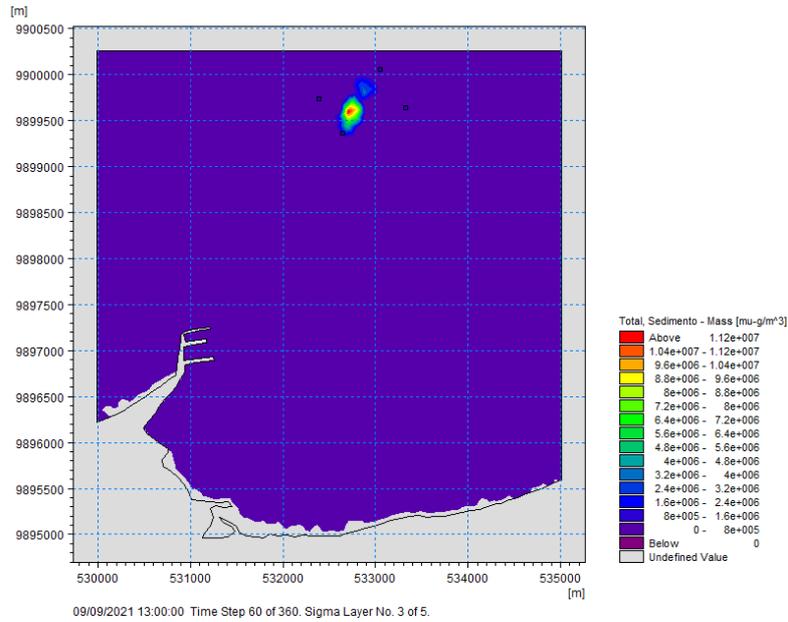


Figura 69. Modelado de descarga de material dragado para F2 con t=60 en Media.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

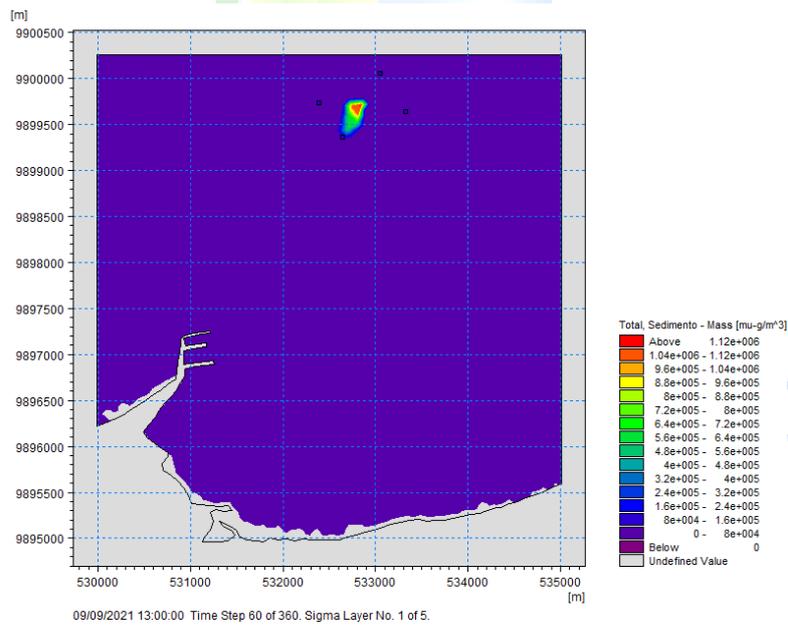


Figura 70. Modelado de descarga de material dragado para F2 con t=60 en Fondo.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

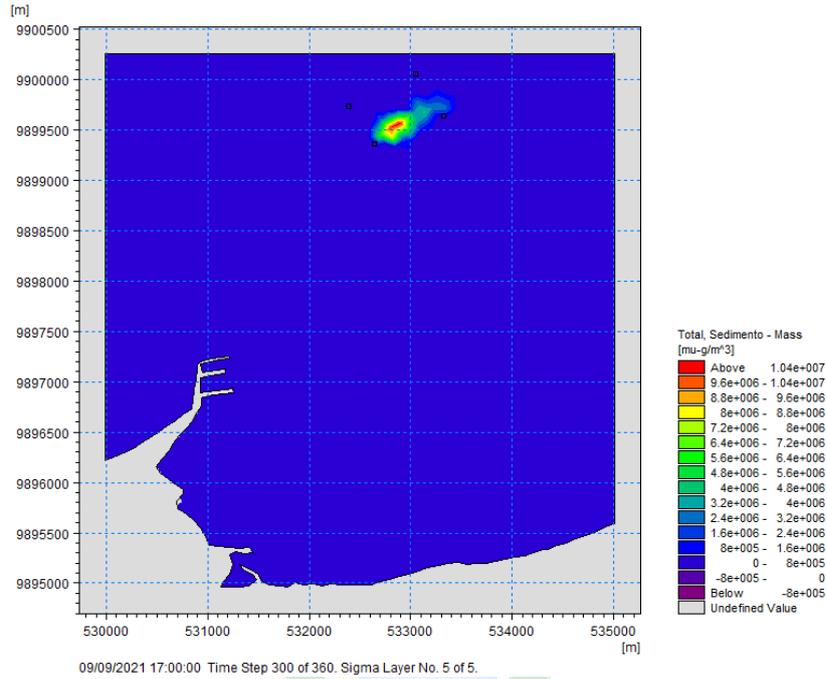


Figura 71. Modelado de descarga de material dragado para F2 con t=300 en Superficie.

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

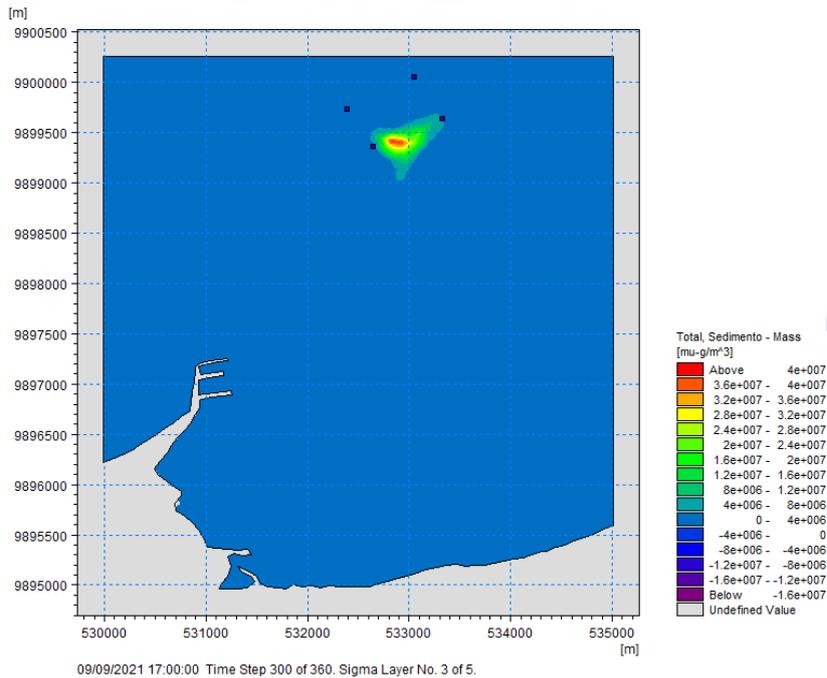


Figura 72. Modelado de descarga de material dragado para F2 con t=300 en Media.

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

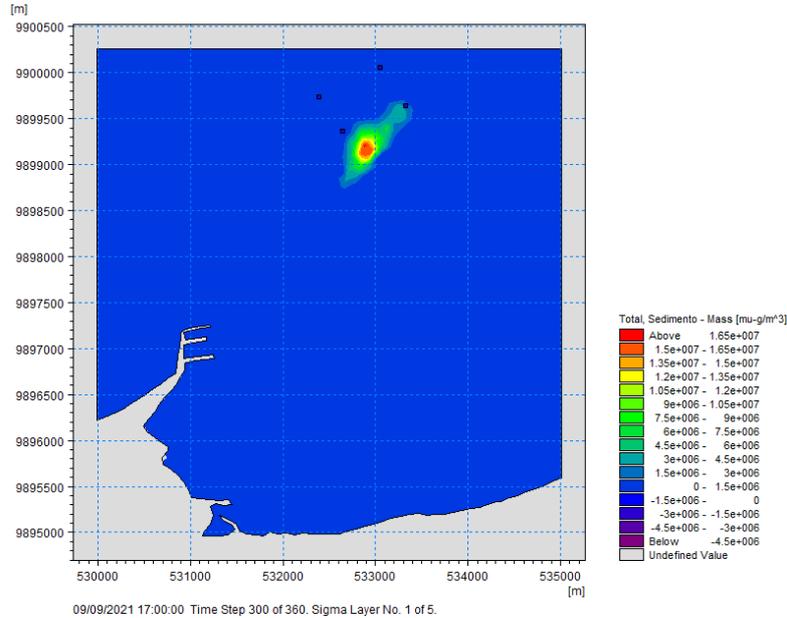


Figura 73. Modelado de descarga de material dragado para F2 con $t=300$ en Fondo.

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

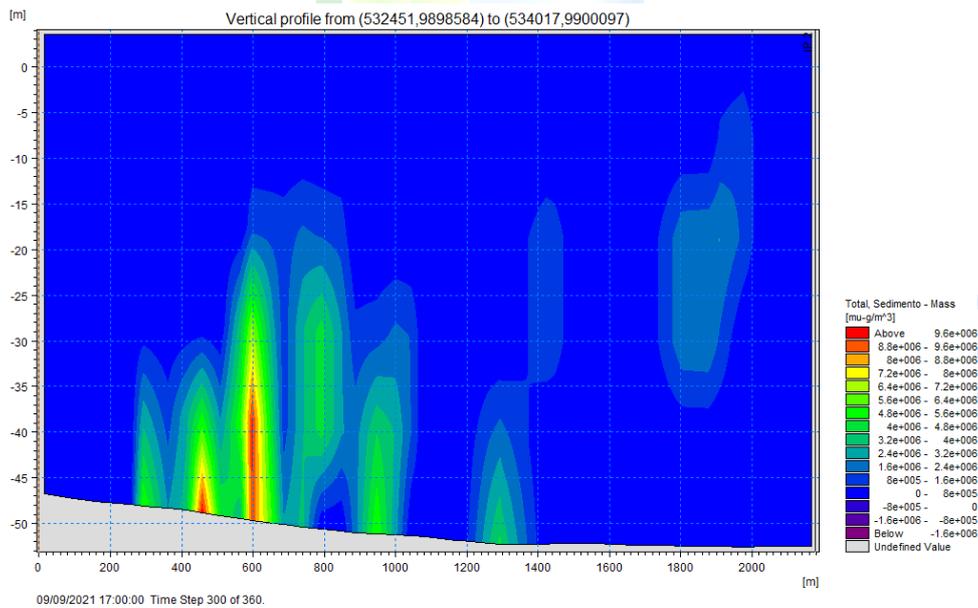


Figura 74. Corte vertical del campo de la concentración de sedimento suspendido en la zona de estudio para F2.

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Se realiza un corte vertical de 2000.00 metros de longitud (Anexo D) para observar la concentración de sedimento en la zona de vertido y así evaluar la trayectoria de la partícula en toda la columna de agua para $t=300$ (Ver Figura 74) muestra que el sedimento no ha llega al fondo de la zona de vertido directamente, sino en un sitio cercano a ésta, en dirección este-sur, ubicándose cerca de la isobata de los -45.00 a -54.00 m.

5.7.3. Escenario R2

Para este escenario se muestra la descarga en reflujo a una cota de -11.00 m (calado de la draga) por una embarcación TSHD, la cual muestra el inicio en la Figura 75 con $t=0$ en la superficie con variación de sedimento máximos desde los 1.20×10^6 y mínimo $1.60 \times 10^5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Una hora ($t=60$) transcurrida la dispersión tiende en dirección Noreste en la superficie con longitud promedio de 1.00km del inicio hasta este tiempo (Figura 76), en la capa media (Figura 77) la concentración de sedimento aumenta con máximo de hasta $7.00 \times 10^6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con la misma dirección que en la capa superior, pero moviéndose más lento, mientras que no se hace presente en el fondo (Figura 78).

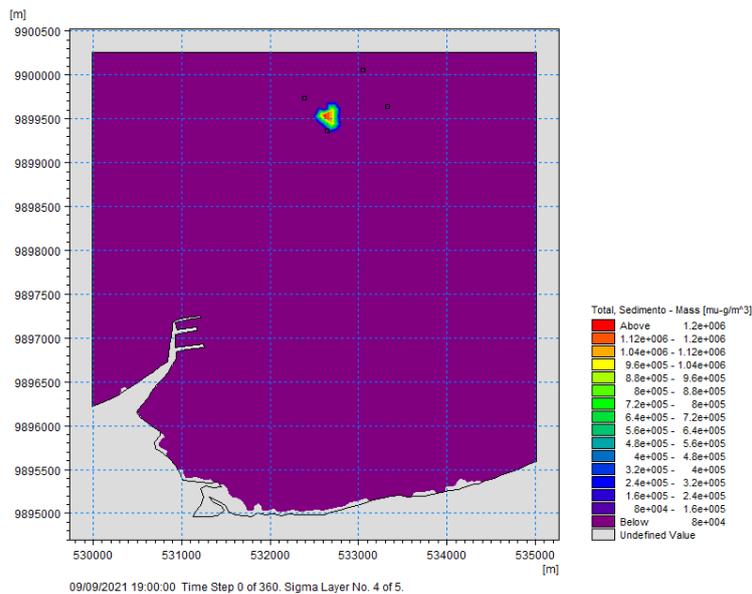


Figura 75. Modelado de descarga de material dragado para R2 con $t=0$ en Superficie.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

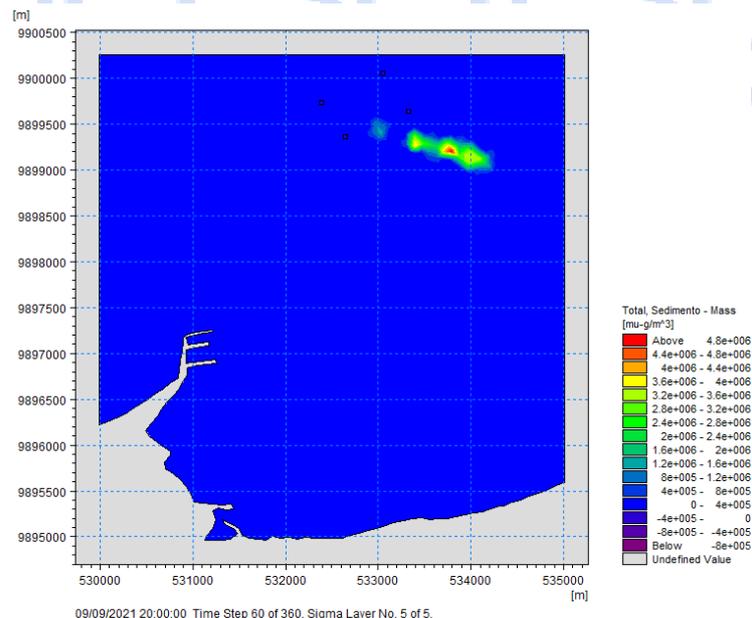
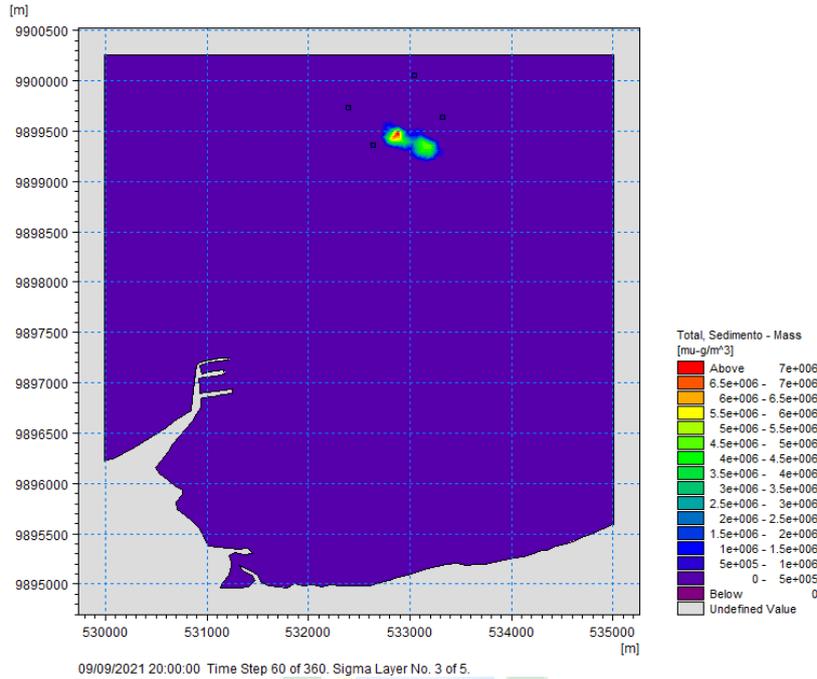
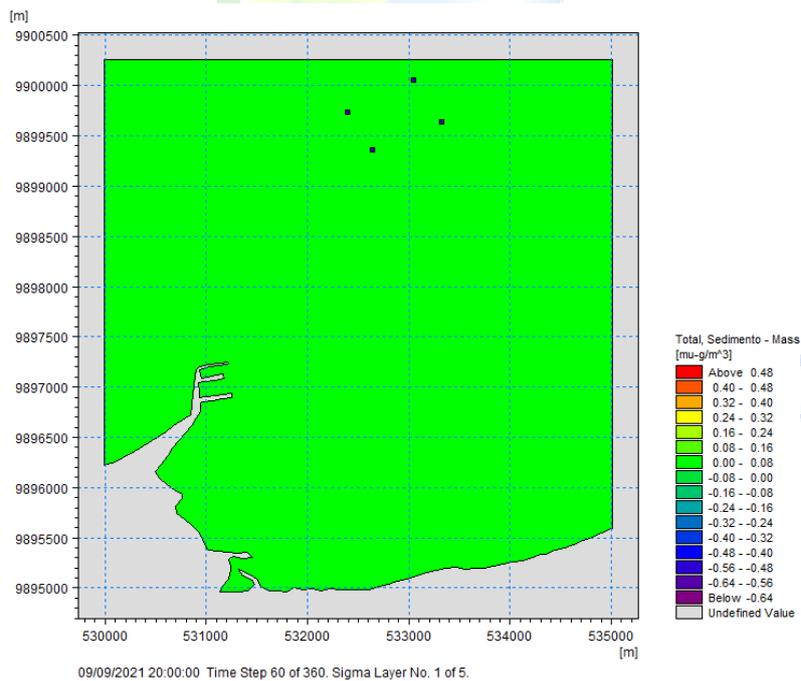


Figura 76. Modelado de descarga de material dragado para R2 con $t=60$ en Superficie.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.



09/09/2021 20:00:00 Time Step 60 of 360. Sigma Layer No. 3 of 5.

Figura 77. Modelado de descarga de material dragado para R2 con t=60 en Media.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.



09/09/2021 20:00:00 Time Step 60 of 360. Sigma Layer No. 1 of 5.

Figura 78. Modelado de descarga de material dragado para R2 con t=60 en Fondo.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Al paso de 4 horas del vertido, la dispersión sale completamente del área dispuesta con tendencia al Este en la superficie y menos concentrada (con máximas de masa de $1.12 \times 10^6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) moviéndose aproximadamente 1.50 km desde el vertido (Ver Figura 79), mientras que en medio se encuentra mayor masa de sedimento ($2.10 \times 10^7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en la zona de vertido y en menor grado hacia el Noreste ($1.50 \times 10^6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), esto se observa en la Figura 80, a diferencia

del fondo que se nota las diferencias de vertido por su concentración, presentando pequeños cúmulos con concentraciones desde 2.40×10^6 a $2.00 \times 10^5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 81) con dirección igual al Este.

En la Figura 82, se presenta el perfil de toda la columna de agua evaluada en reflujos, en dirección Noreste, desde lo profundo a la zona más baja, con longitud de 1850.00 m refleja la disposición de sedimento en fondo a una distancia aproximada de 3.00 km desde donde fue desalojada (en la isobata de -54.00 m).

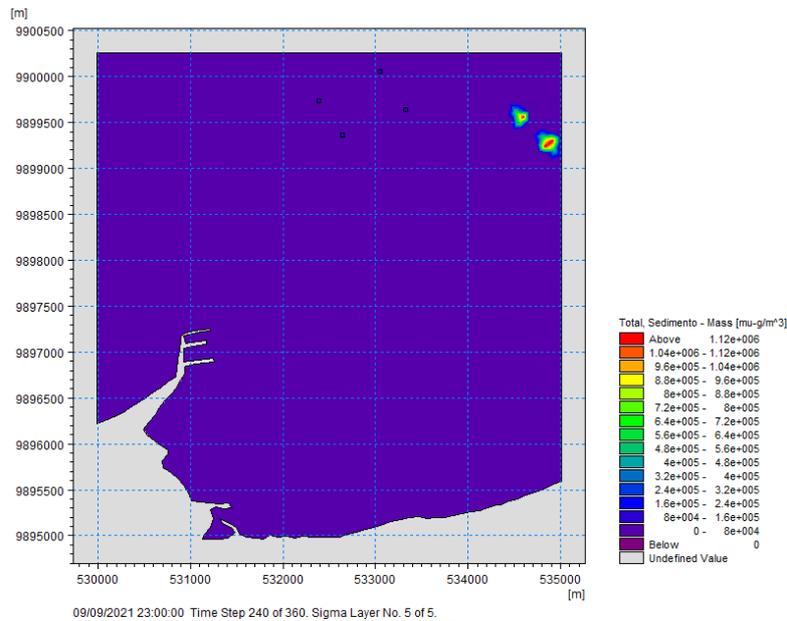


Figura 79. Modelado de descarga de material dragado para R2 con $t=240$ en Superficie.

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

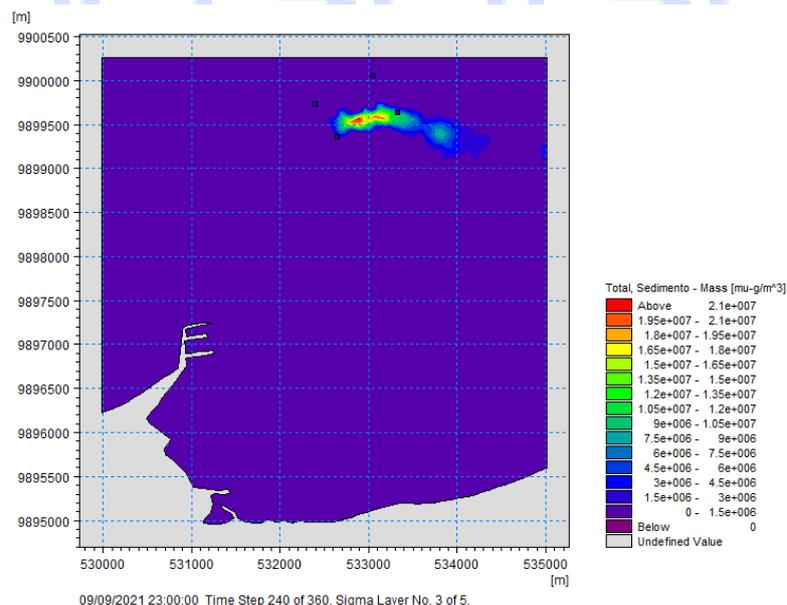
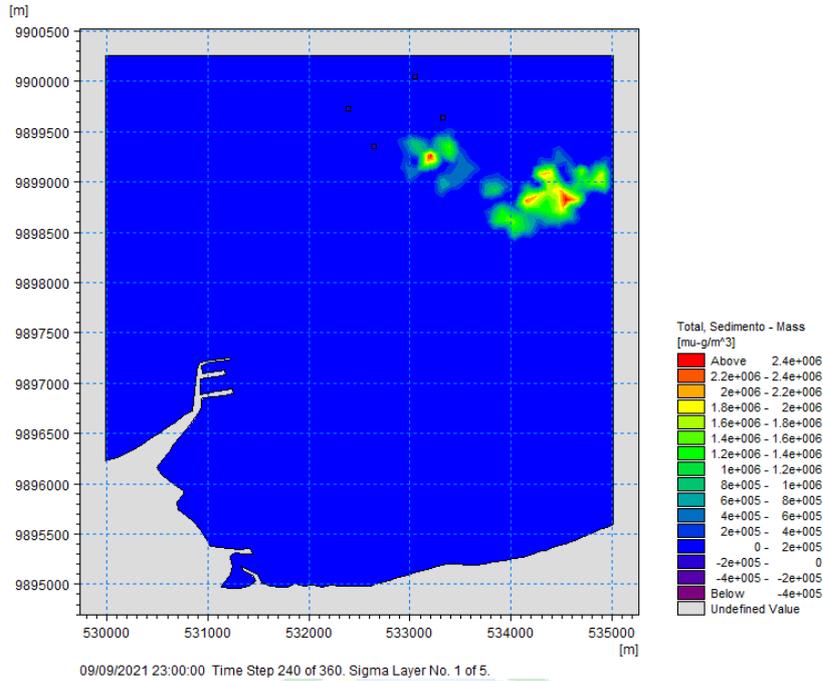


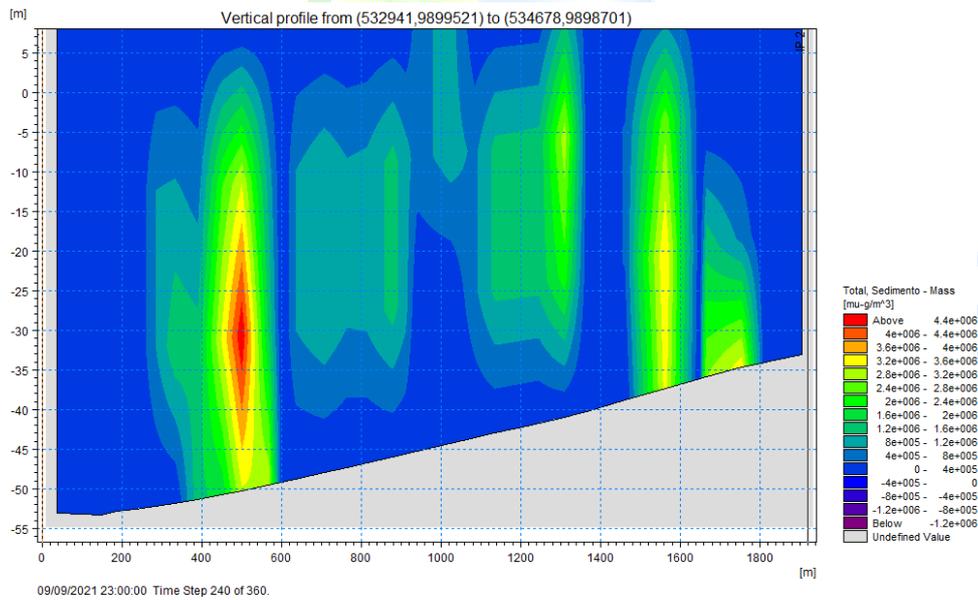
Figura 80. Modelado de descarga de material dragado para R2 con $t=240$ en Media.

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.



09/09/2021 23:00:00 Time Step 240 of 360. Sigma Layer No. 1 of 5.

Figura 81. Modelado de descarga de material dragado para R2 con $t=240$ en Fondo.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.



09/09/2021 23:00:00 Time Step 240 of 360.

Figura 82. Corte vertical del campo de la concentración de sedimento suspendido en la zona de estudio para R2.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

5.7.1. Escenario F3

Realizando descarga con una barcaza SHB a una cota promedio de -6.00 m (calado de la barcaza), se sigue la trayectoria de la dispersión de sedimento en flujo de corrientes de marea, desde el inicio del vertido en la capa superficial (Figura 83); luego de una hora en superficie, media y fondo (Ver Figura 84, Figura 85 y Figura 86 respectivamente) toma rumbo Norte variando la masa desde 2.10×10^7 hasta $2.10 \times 10^5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no observándose el sedimento en el fondo, sino

después de 5.00 horas del transcurso de la partícula ($t=300$), como se presenta en las Figura 87, Figura 88 y Figura 89, donde sí se encuentra totalmente la concentración en la columna de agua y se esparce hasta aproximadamente 1.50 km a lo largo de la dirección Noreste de la zona de deposición.

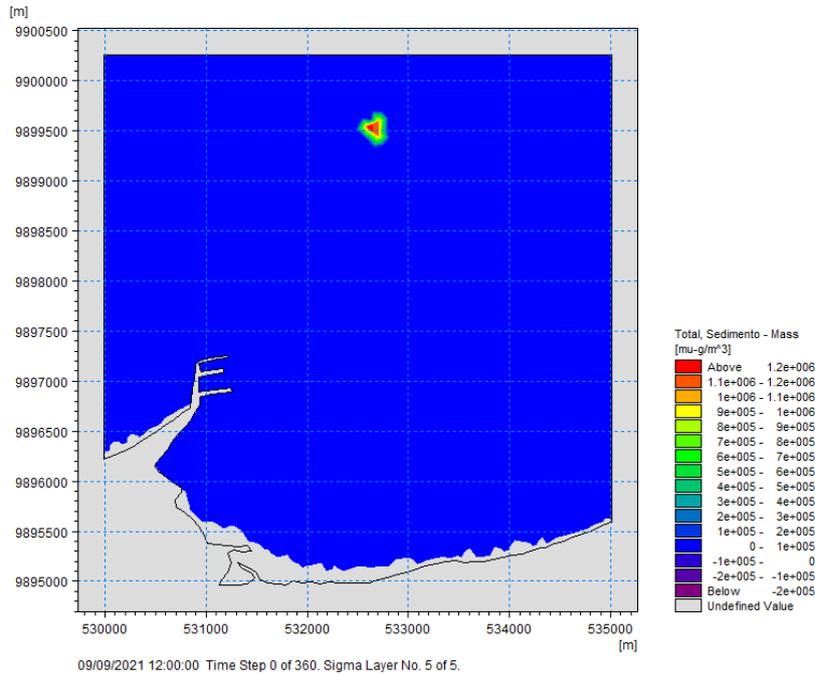


Figura 83. Modelado de descarga de material dragado para F3 con $t=0$ en Superficie
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

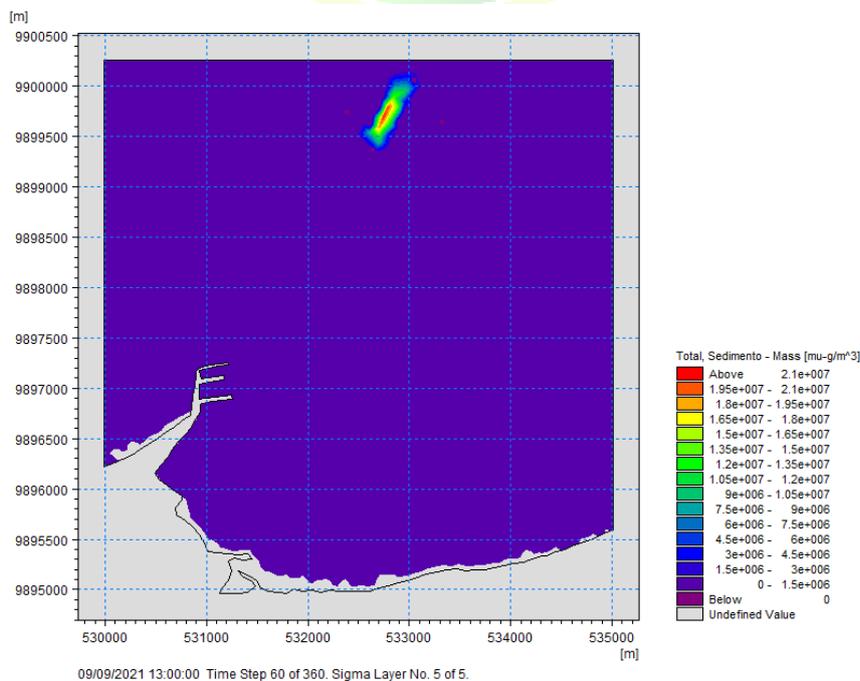


Figura 84. Modelado de descarga de material dragado para F3 con $t=60$ en Superficie
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

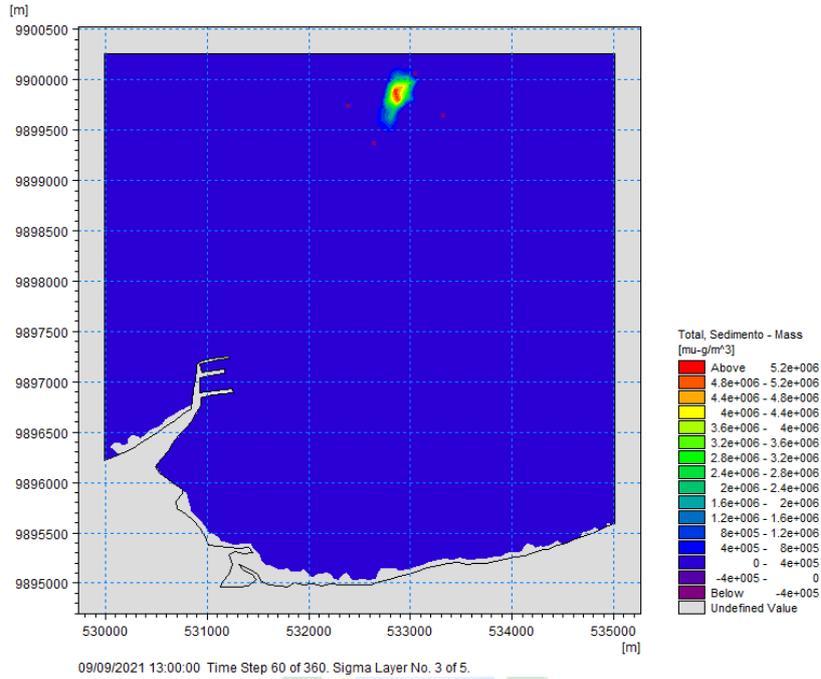


Figura 85. Modelado de descarga de material dragado para F3 con $t=60$ en Media
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

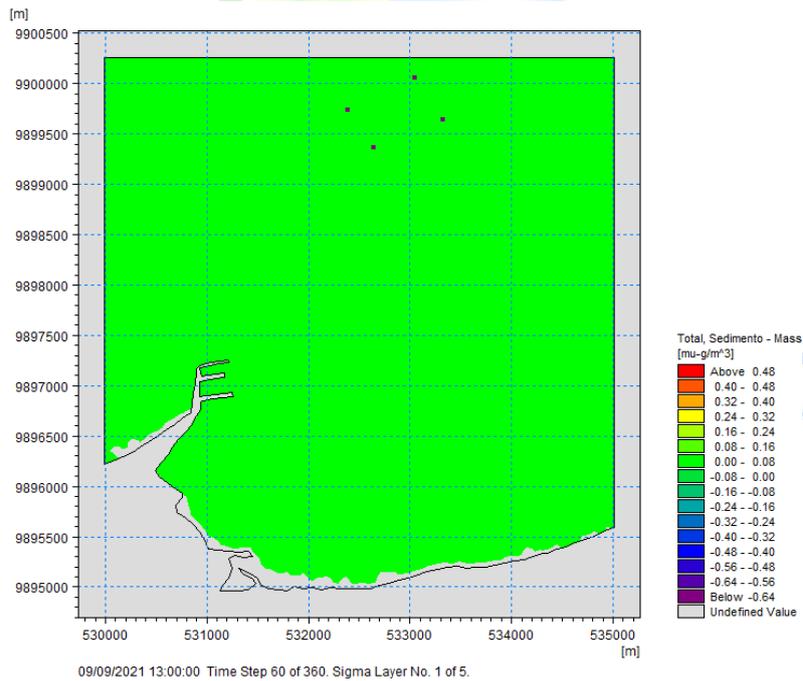


Figura 86. Modelado de descarga de material dragado para F3 con $t=60$ en Fondo
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

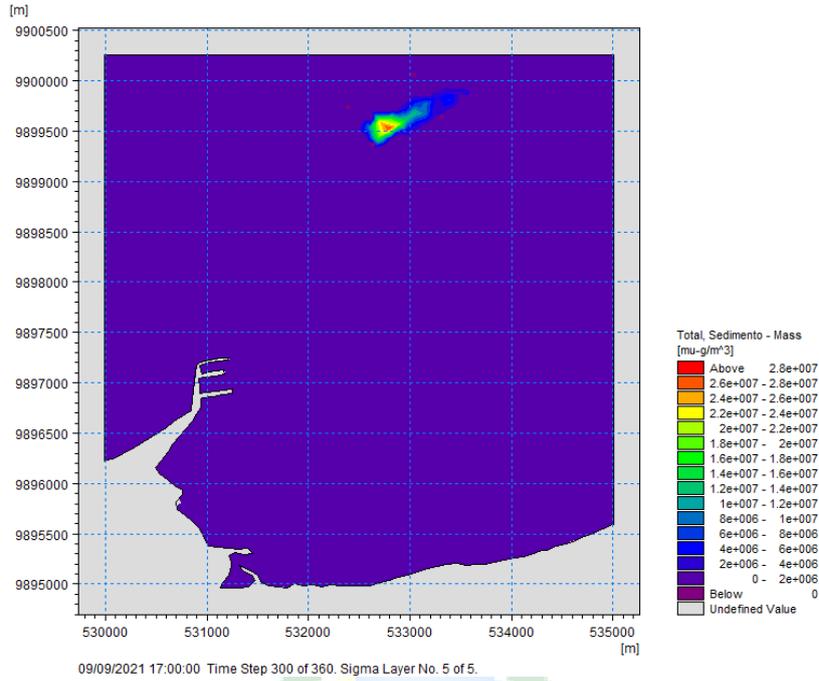


Figura 87. Modelado de descarga de material dragado para F3 con t=300 en Superficie
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

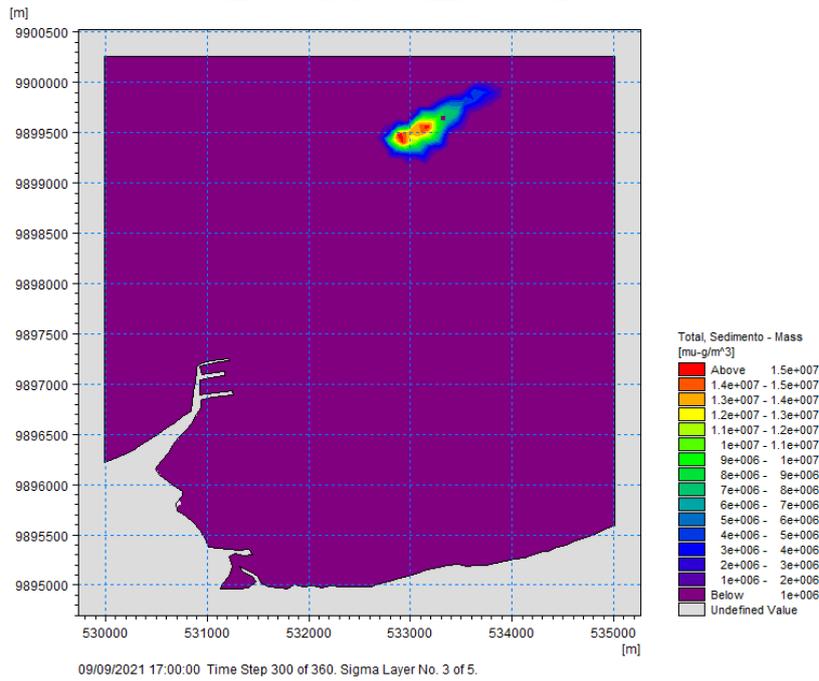


Figura 88. Modelado de descarga de material dragado para F3 con t=300 en Media
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

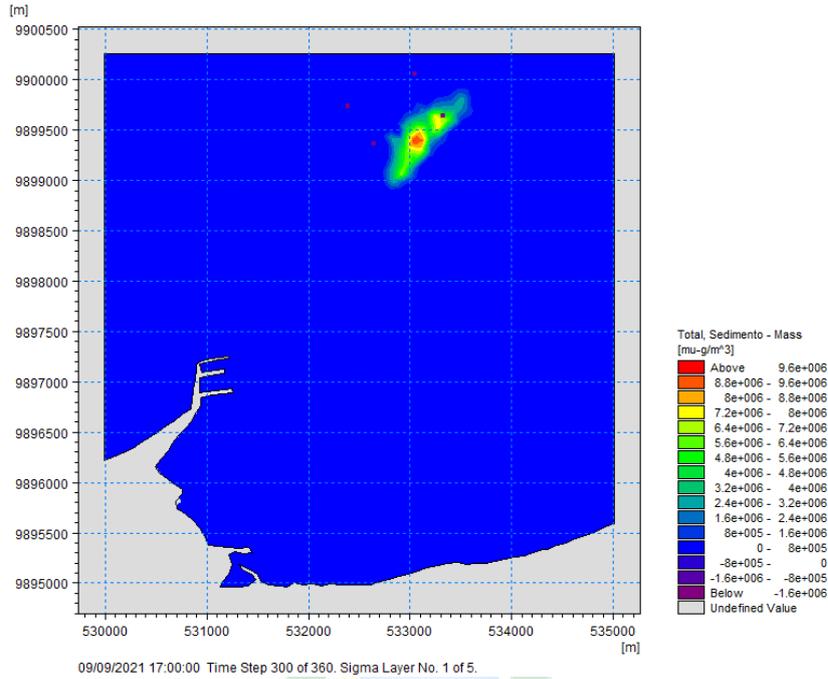


Figura 89. Modelado de descarga de material dragado para F3 con $t=300$ en Fondo
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

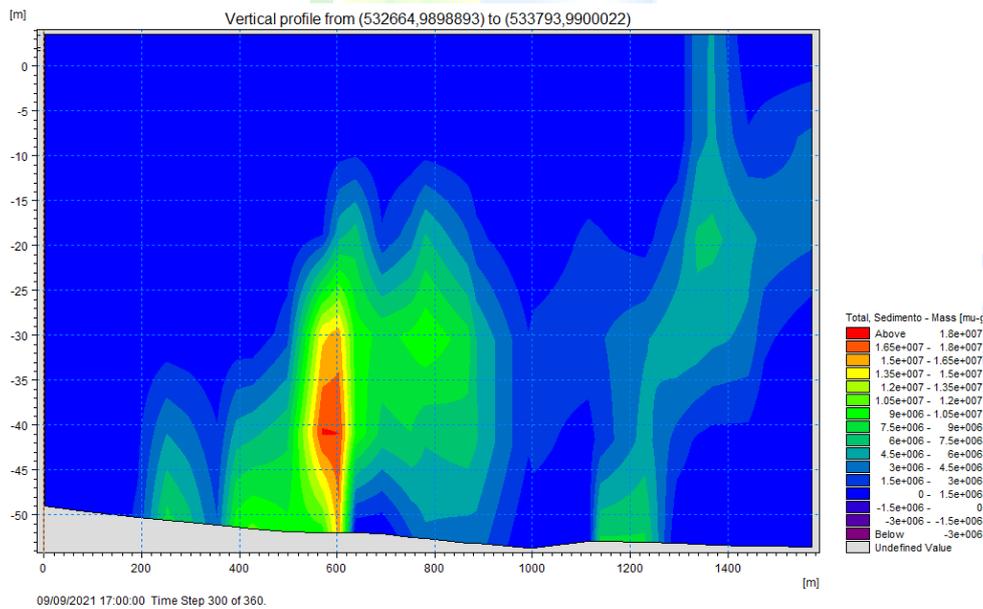


Figura 90. Corte vertical del campo de la concentración de sedimento suspendido en la zona de vertido para F3
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

La Figura 90 muestra el corte vertical para observar el comportamiento de la partícula en la zona de vertido, con $t=300$ (a 5.00 h de ser descargado) cubriendo aproximadamente 1500.00 m de longitud (con dirección off shore, este se muestra en el Anexo D) se encuentra el asentamiento cerca de la isobata de los -48.00 m hasta los -54.00 m la zona más profunda. La velocidad y el tiempo de sedimentación en este caso es menor en comparación con el escenario F2, aun cuando estando en flujo, pero es nivel de vertido a los -6.00 m

de profundidad (5.00 m de diferencia con respecto a F2) ubicándose más hacia la superficie.

5.7.2. Escenario R3

Se muestra el inicio en la Figura 91 con $t=0$ en la superficie con variación de sedimento máximos desde los 1.20×10^6 y mínimo $1.60 \times 10^5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, recordando que la descarga se hace en reflujos a la cota -6.00 m (calado de la barcaza) por una embarcación SHB.

Una hora ($t=60$) transcurrida la descarga esta tiende en dirección Este en la superficie con longitud promedio de 2.00 km dispersa (Figura 92), en la capa media (Figura 93) la concentración de sedimento disminuye y menos dispersa, pero con la misma dirección de la superior, mientras que no se hace presente en el fondo (Figura 94).

Tras 4.00 horas de dispersado el material, la dispersión sale completamente del área dispuesta con tendencia al Este en la superficie y menos concentrada (con máximas de masa de $1.80 \times 10^6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) moviéndose aproximadamente 3.00 km desde el vertido (Figura 95), en la capa media se encuentra mayor masa de sedimento ($2.10 \times 10^7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) hacia el Noreste, esto se observa en la Figura 96, sin embargo en el fondo se muestra diferentes cúmulos de sedimentos, con concentraciones desde 5.20×10^6 a $8.00 \times 10^5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 97) con dirección igual al Este.

La Figura 98, presenta el corte vertical desde superficie a fondo calculada en reflujos, donde la tendencia direccional es hacia el Este, desde lo profundo a la zona más baja, ubicando el asentamiento de la partícula a una distancia aproximada de 3.50 km desde la zona de vertido, en la isobata de -35.00 y 45.00 m).

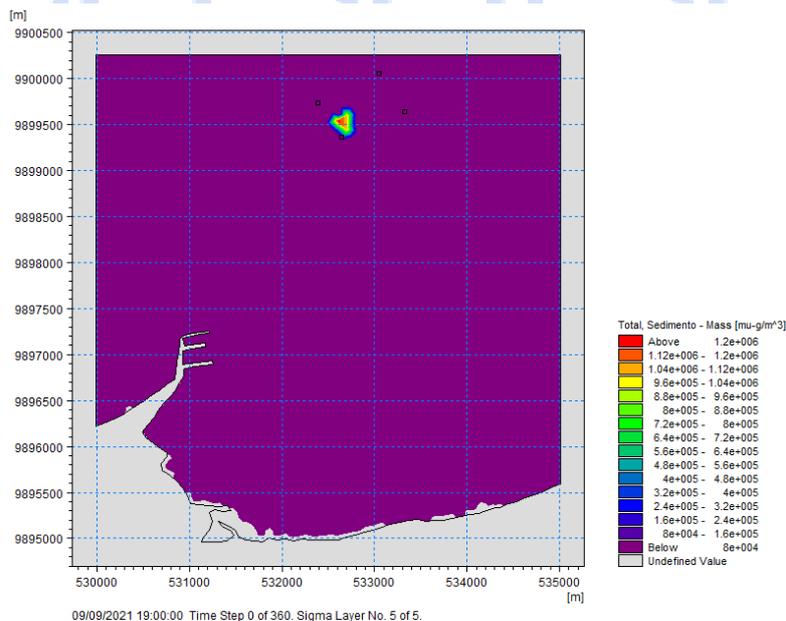
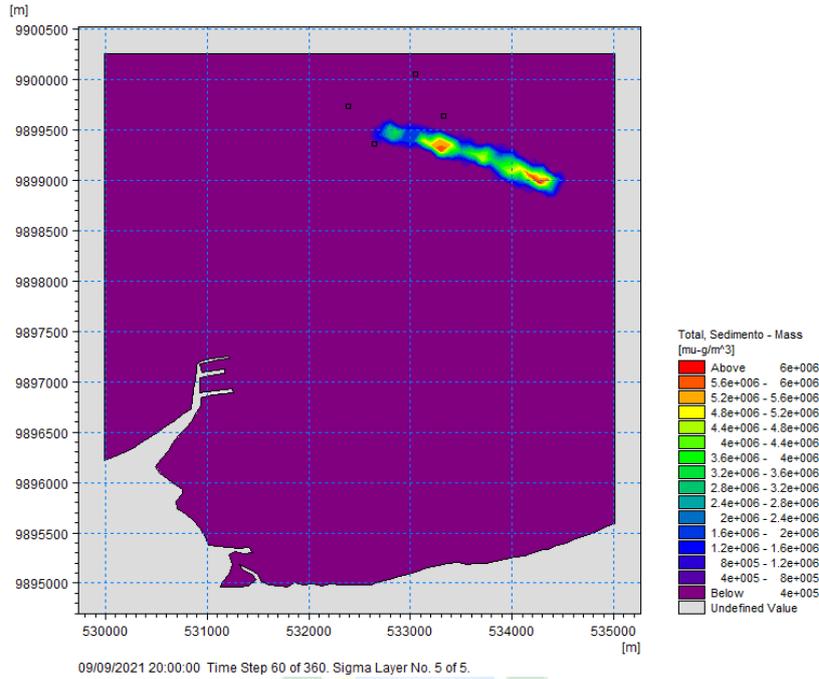


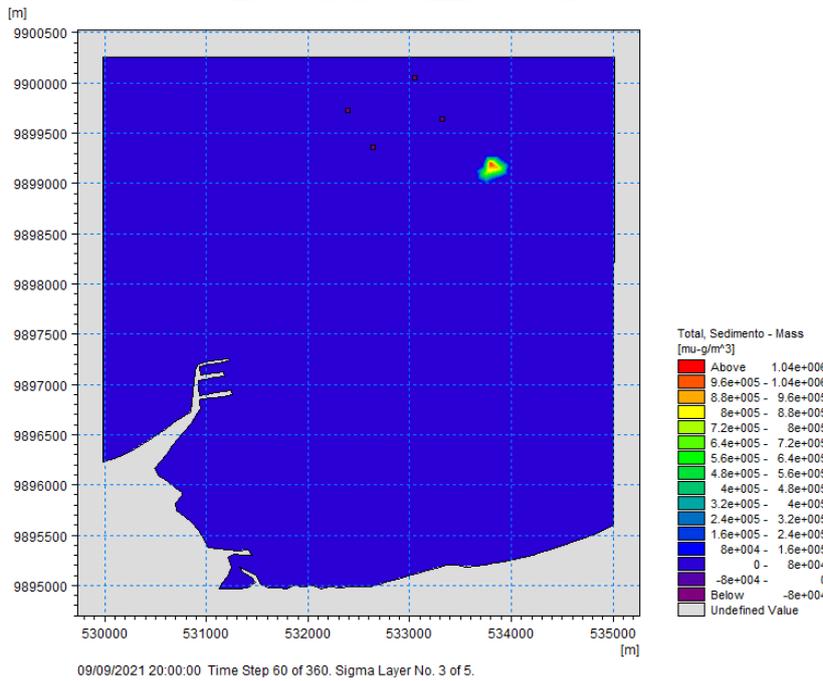
Figura 91. Modelado de descarga de material dragado para R3 con $t=0$ en Superficie.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.



09/09/2021 20:00:00 Time Step 60 of 360. Sigma Layer No. 5 of 5.

Figura 92. Modelado de descarga de material dragado para R3 con $t=60$ en Superficie.

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.



09/09/2021 20:00:00 Time Step 60 of 360. Sigma Layer No. 3 of 5.

Figura 93. Modelado de descarga de material dragado para R3 con $t=60$ en Media.

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

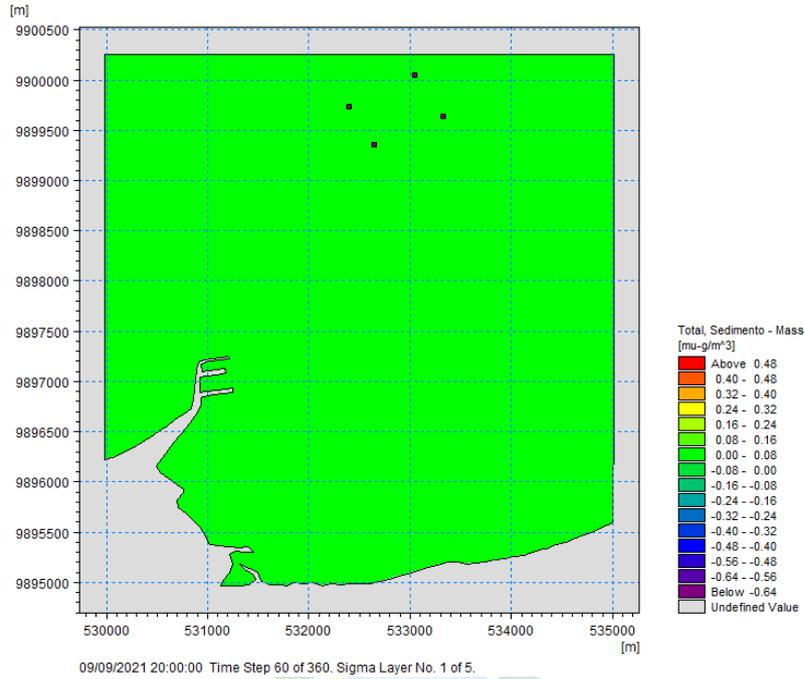


Figura 94. Modelado de descarga de material dragado para R3 con $t=60$ en Fondo.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

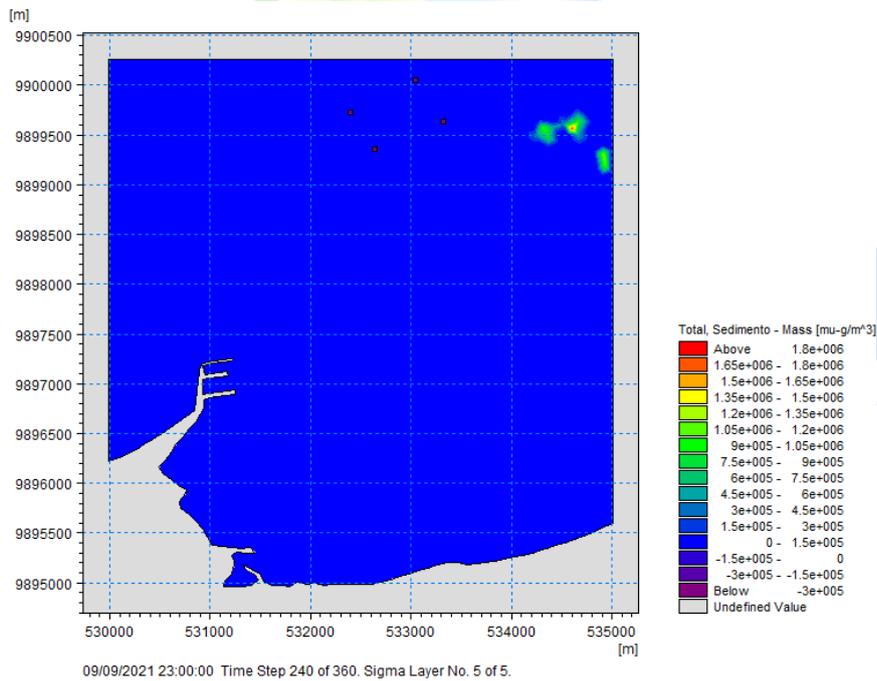


Figura 95. Modelado de descarga de material dragado para R3 con $t=240$ en Superficie.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

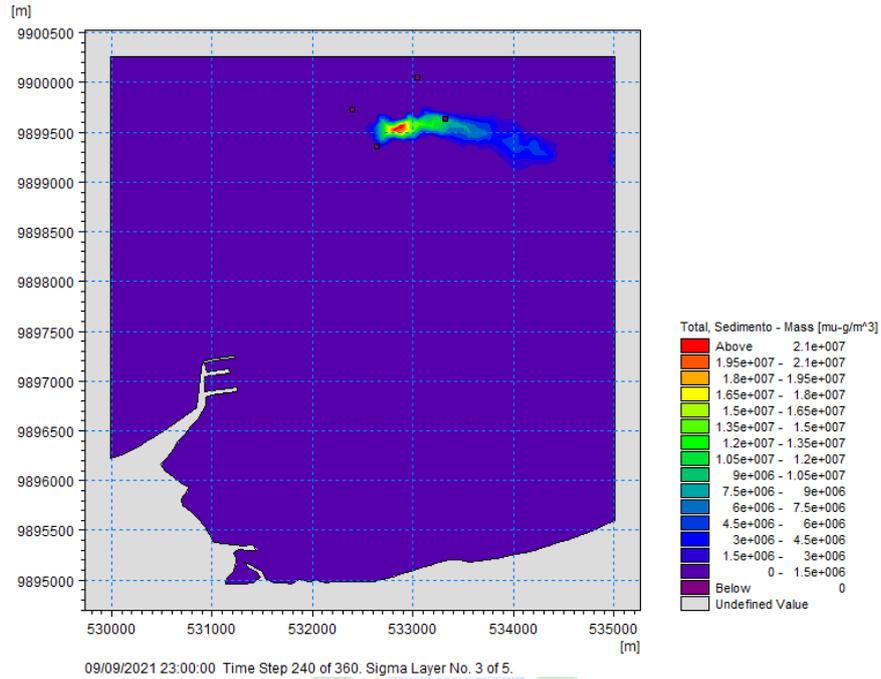


Figura 96. Modelado de descarga de material dragado para R3 con $t=240$ en Media.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

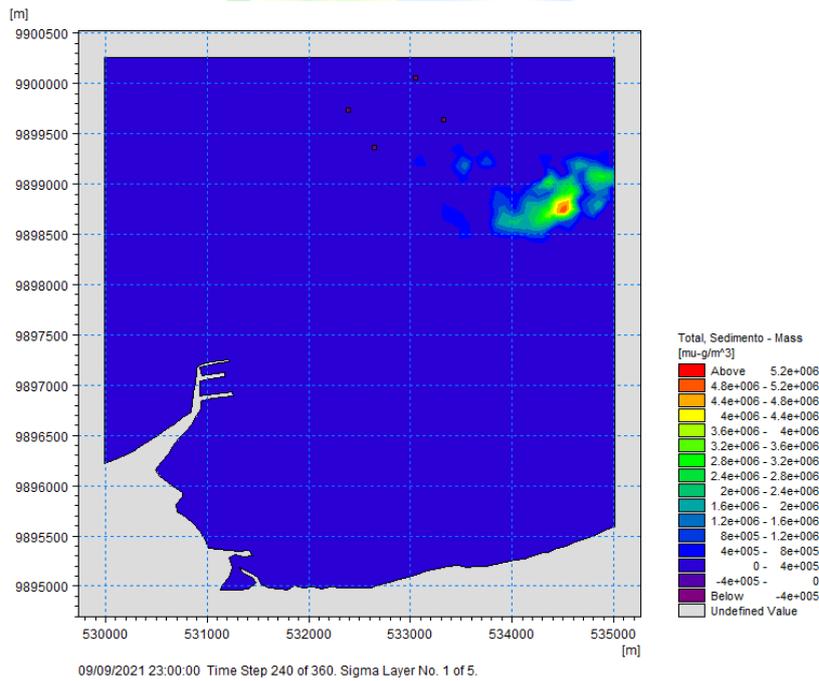


Figura 97. Modelado de descarga de material dragado para R3 con $t=240$ en Fondo.
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

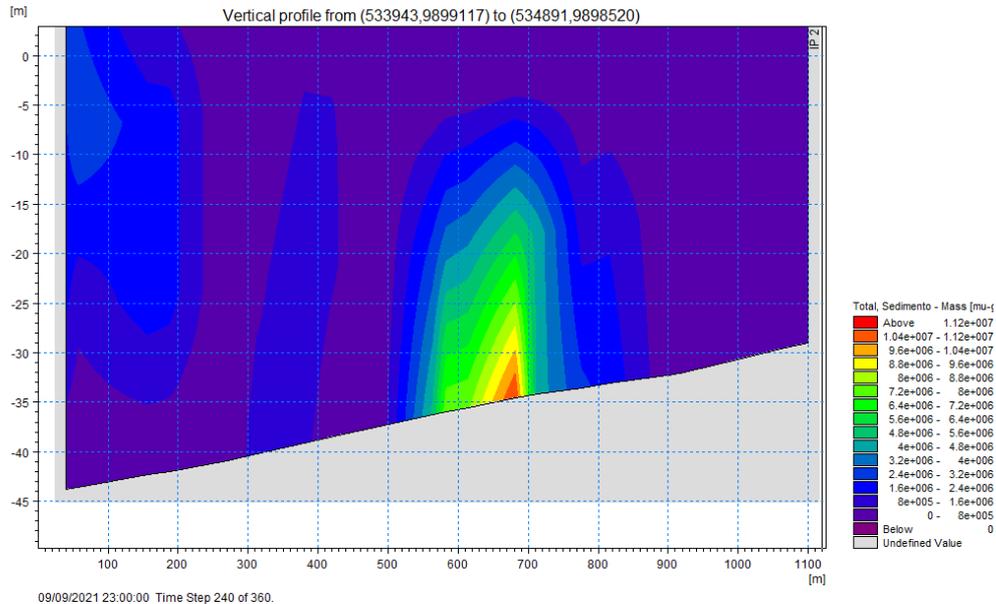


Figura 98. Corte vertical del campo de la concentración de sedimento suspendido en la zona de estudio para R2.

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

5.8. Aplicación de la Ley de Stokes en el Puerto de Manta

Para la determinación de la velocidad de sedimentación, se utilizó información obtenida a partir de los ensayos de granulometría de muestras tomadas en la zona de dragado. Se debe de considera un tamaño de la partícula promedio, observado que se trata de material fino en las tres muestras analizadas.

Además, a partir de los análisis realizados por la consultora sobre las características oceanográficas del área de estudio, se pudo obtener la viscosidad del fluido, y densidad del mismo.

Para lo cual se toman las siguientes consideraciones:

- La partícula se considera como una esfera expresada a través de diámetro equivalente acorde a la distribución de tamaño que se describe en el numeral anterior.
- El diámetro de la partícula más pequeña hallada en los análisis de granulometría realizados fue de 0.075 mm, este tamaño representa a los componentes más finos que existen en el sitio.
- La densidad del sedimento se lo considera homogéneo, y acorde a lo descrito por el laboratorio por lo que nos permite determinar un valor de 2.297.7 kg/m³.
- Se considera una temperatura uniforme del océano pacífico de 25.43°C, lo que permite determinar el valor de densidad de 1023 kg/m³ y viscosidad 967 x 10⁻⁶ N seg/m² del océano.
- Se considera al cuerpo de agua según el Número de Reynolds como un fluido laminar dada su velocidad de movimiento.
- Las profundidades abarcadas por el área del sitio de depósito comprenden desde la cota -53m hasta la cota -58m. Sin embargo, se

tomó en consideración para la ejecución del modelamiento, la distancia que recorre el sedimento desde la superficie hasta alcanzar los -54m, a 3 niveles de profundidad: superficial, medio y fondo.

Con la información obtenida se determinó en primera instancia la velocidad de sedimentación, mediante la aplicación de la Ley de Stokes.

$$V = \frac{9}{18} \left(\frac{Pp - Pf}{\mu} \right) Dp^2$$

$$V = \frac{9}{18} \left(\frac{2,297.7 - 1,023}{0,00000967} \right) (0,000075)^2$$

$$V = 3,7 \times 10^{-3} \text{m/seg}$$

Dónde:

V: velocidad de sedimentación (m/s)

Dp: diámetro de la partícula, que conforma el sedimento 0.075×10^{-5} m

μ: es la viscosidad del océano Pacífico a 25°C; 967×10^{-6} N seg/m²

Pp: densidad de la partícula se toma la densidad del sedimento 2,297.7 kg/m³.

Pf: densidad del fluido, es la densidad del océano Pacífico a 25°C; 1023 kg/m³

Para determinar el tiempo que requiere el sedimento para llegar al fondo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{espacio}}{\text{tiempo}} = V = \frac{x}{t}$$

$$t = \frac{x}{V}$$

t: tiempo

x: distancia (profundidad)

V= 3.7×10^{-3} m/seg

FLUJO:

Tabla 24. Tiempo y distancia de sedimentación de partículas finas en Flujo.

PROFUNDIDAD		TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN	VELOCIDAD DE CORRIENTE	DISTANCIA DE SEDIMENTACIÓN	
m		Horas	m/s	m	km
Superficie	0 - 16.67	1.25	0.37	1,663.65	1.66
Medio	16.67 - 33.33	1.25	0.34	1,528.76	1.55
Fondo	33.33 - 50.00	1.25	0.22	989.19	0.98
		3.75			4.19

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

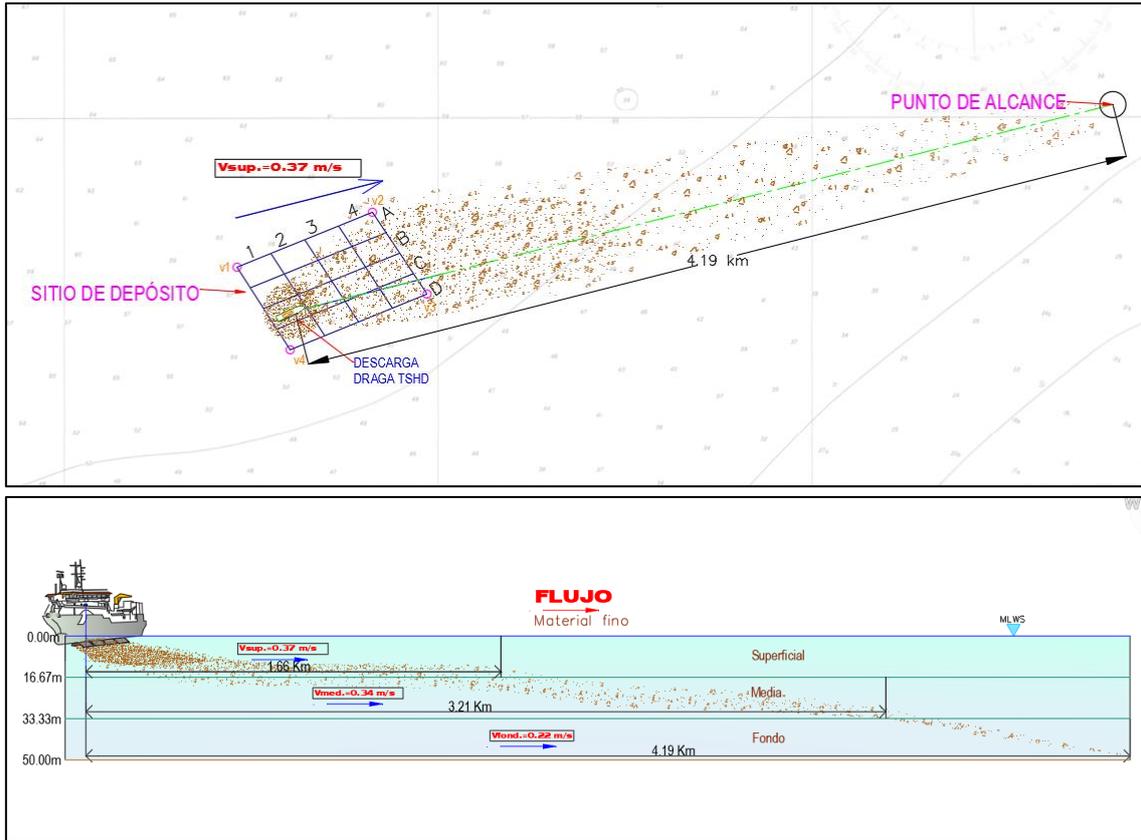


Figura 99. Esquema de dispersión de sedimentos, escenario F2

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

REFLUJO:

Tabla 25. Tiempo y distancia de sedimentación de partículas finas en Reflujo.

PROFUNDIDAD		TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN	VELOCIDAD DE CORRIENTE	DISTANCIA DE SEDIMENTACIÓN	
m				Horas	m/s
Superficie	0 - 16.67	1.25	0.39	1,753.58	1.76
Medio	16.67 - 33.33	1.25	0.37	1,663.65	1.67
Fondo	33.33 - 50.00	1.25	0.16	719.41	0.70
		3.75			4.13

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

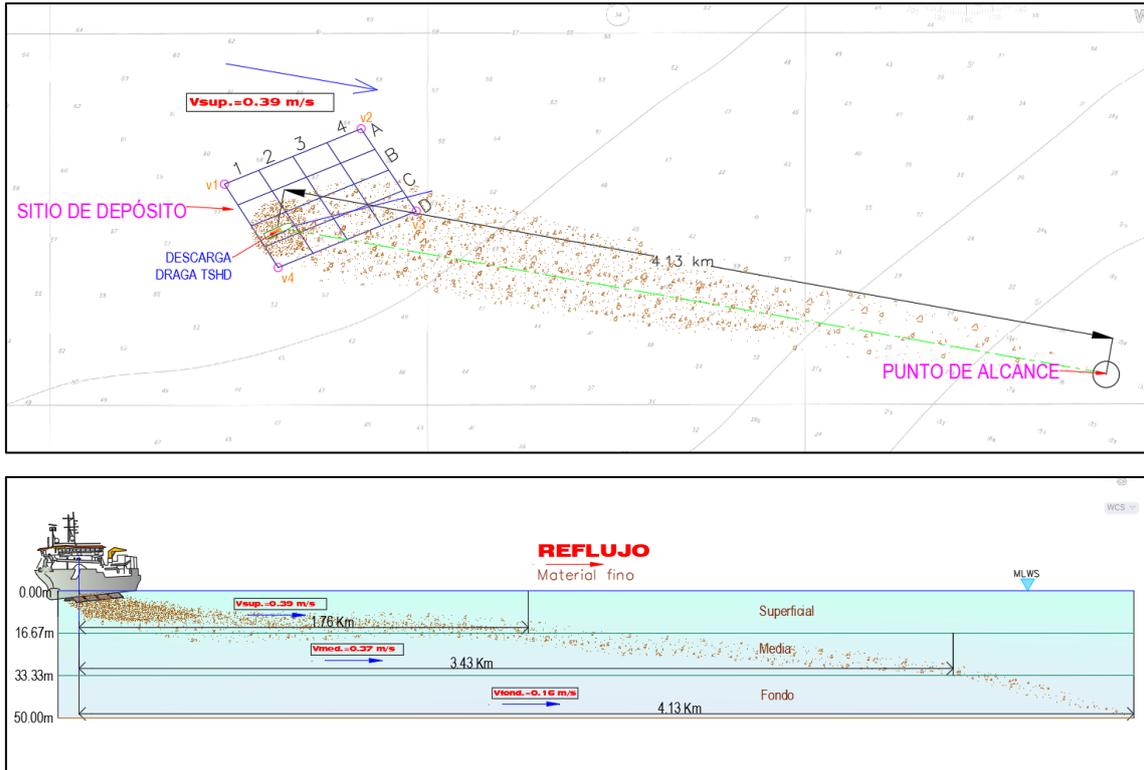


Figura 100. Esquema de dispersión de sedimentos, escenario R2
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

Los esquemas de los escenarios de la dispersión de sedimentos presentados anteriormente fueron calculados y elaborados en base a la Ley de Stokes, la cual analiza el movimiento vertical de una partícula que se mueve bajo la acción de las fuerzas del peso, el empuje y una fuerza de rozamiento proporcional a la velocidad de la esfera.

Como se puede observar los desplazamientos que presentan son muy elevados debido a la densidad de la partícula, es decir mientras más fino sea el material mayor será el desplazamiento, además se asume una velocidad promedio en cada capa (superficie, medio y fondo) una superficie de fondo uniforme una sola profundidad (-50 m MLWS) y la trayectoria en una sola dirección (de la corriente), lo cual no podría ocurrir en un caso real. Para esto hay que verificar que tan afectado se verá la trayectoria (desplazamiento horizontal y vertical) de la partícula considerando otros parámetros como la ola y la marea (menor proporción), profundidad de vertido y morfología en toda el área de influencia. La verificación y el comportamiento de la partícula se lo analizó mediante el empleo de un modelo de dispersión el cual se presenta en mejor detalle en la sección 5.7 y a continuación, se presenta un resumen de los esquemas de la trayectoria de la partícula en cada uno de los escenarios propuestos.

DISPERSIÓN TSHD (FLUJO)

Como se puede observar en la Figura 101 y Figura 102 hay un desplazamiento máximo de 188.5 m medidos desde el punto de depósito, la profundidad del sitio de descarga es de -54 m, y el punto de descarga se la hace a una profundidad de -11.00 m (cota de la draga), la partícula se desplaza hacia el

noreste una distancia de 118 m en horizontal hasta la profundidad de -22 m (MLWS) para luego cambiar de rumbo hacia el sureste asentándose en fondo con profundidad -52 m (MLWS) a una distancia de 188.5 m. El tiempo de decantación es de 2 horas aproximadamente.

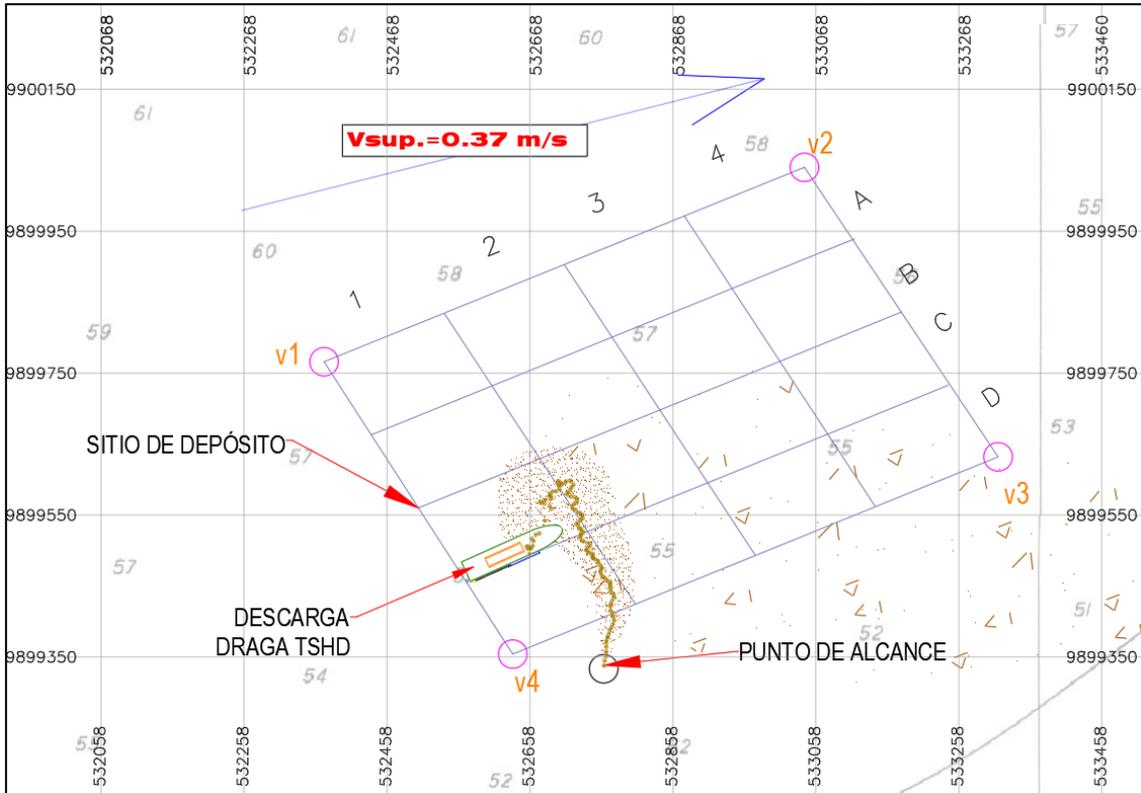


Figura 101. Esquema en planta de dispersión de sedimentos, escenario F2

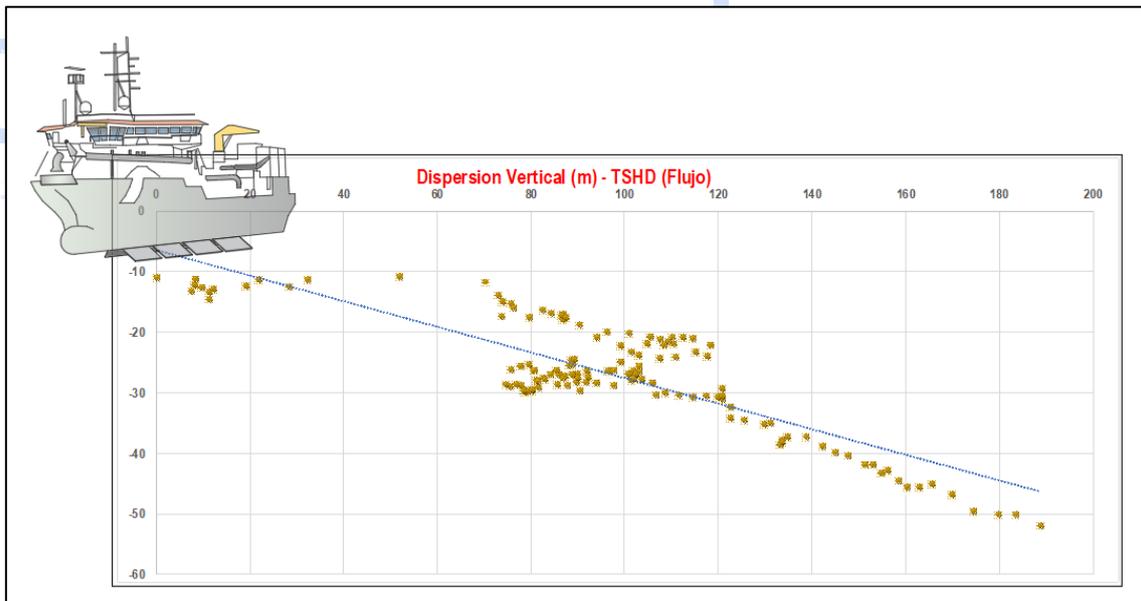


Figura 102. Esquema perfil de dispersión de sedimentos, escenario F2
Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

DISPERSIÓN SHB (FLUJO)

Para este escenario el vertido se lo hace con la barcaza hendible a una profundidad de -54 (MLWS) y el punto de descarga es a -6.00 m de profundidad (cota de la barcaza), como se puede observar en la Figura 103 y Figura 104, hay un desplazamiento de 390 m la partícula de sedimento de hacia el noreste llegando a la profundidad de -24 m (MLWS) y luego cambia de rumbo hacia el sureste recorriendo una distancia de 50 m llegando a una profundidad de 53 m (MLWS), decantándose a una distancia de 189 m desde el punto de vertido en un tiempo de 2 horas aproximadamente.

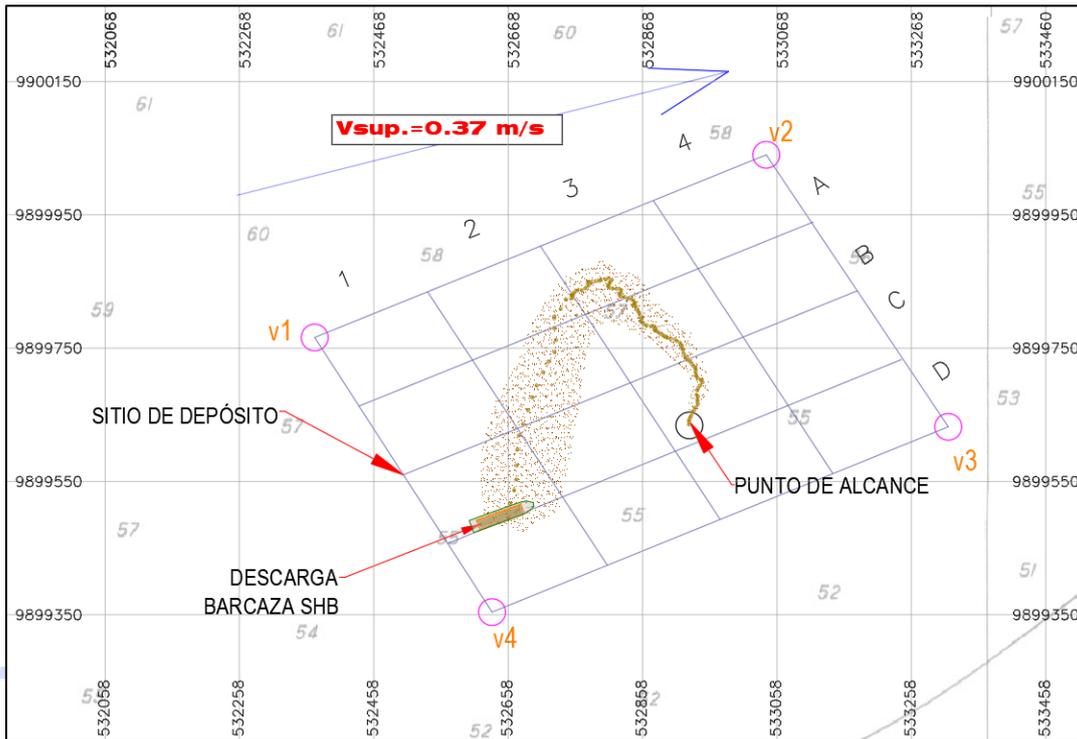


Figura 103. Esquema en planta de dispersión de sedimentos, escenario F3

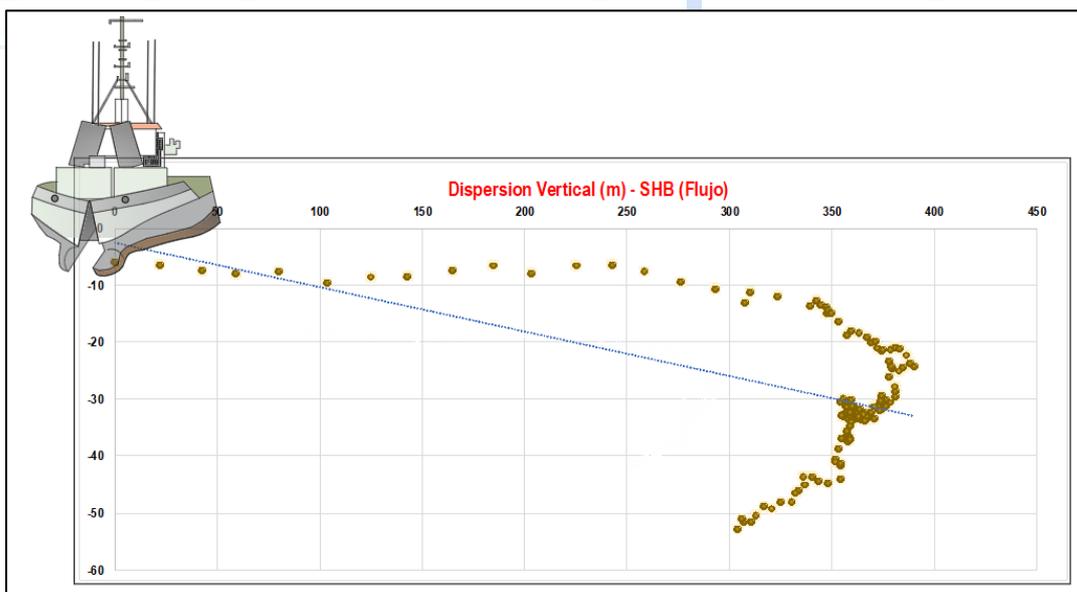


Figura 104. Esquema perfil de dispersión de sedimentos, escenario F3

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

DISPERSIÓN TSHD (REFLUJO)

Para este escenario la profundidad del sitio de vertido es de -54 m y el desalojo de material se lo hace a través de la draga TSHD a una cota -11.00 m MLWS (calado de la draga), como se puede observar en la Figura 105 y Figura 106, la partícula recorre una distancia de 1.2 km hacia el sureste y luego hace un quiebre hacia el suroeste recorriendo una pequeña distancia llegando y decantándose a la profundidad de -28 m (MLWS). El tiempo que recorre la partícula desde el punto de vertido hasta su decantación es de en un tiempo de 2.5 horas aproximadamente.

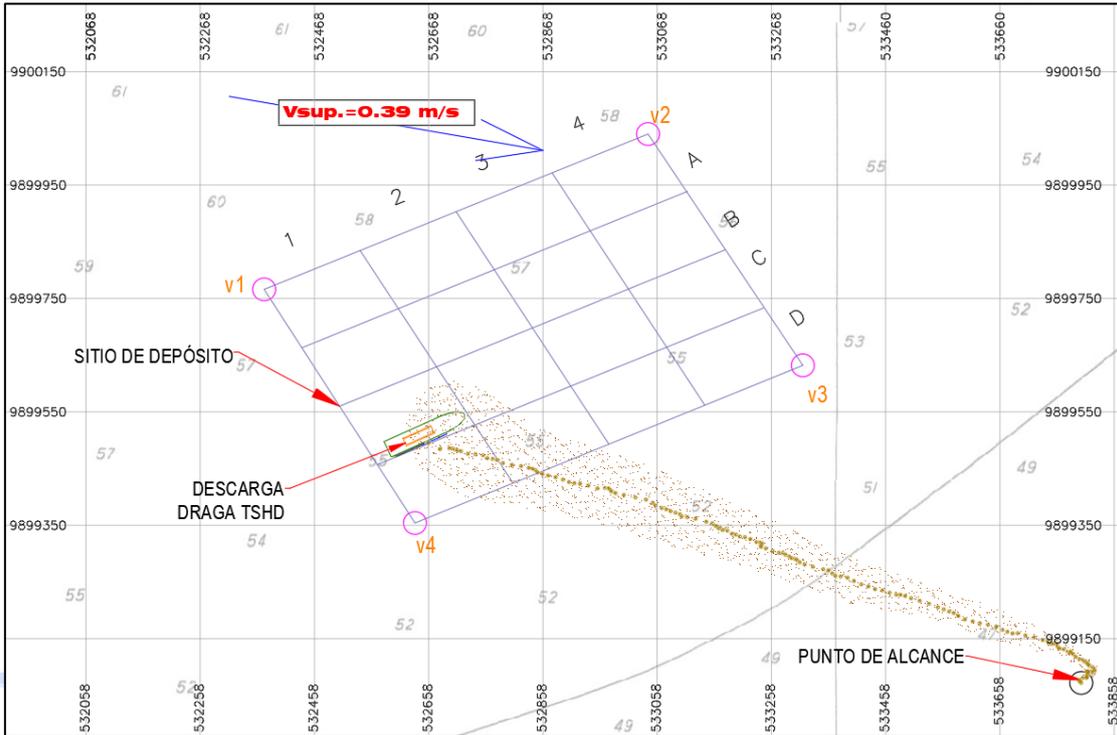


Figura 105. Esquema en planta de dispersión de sedimentos, escenario R2

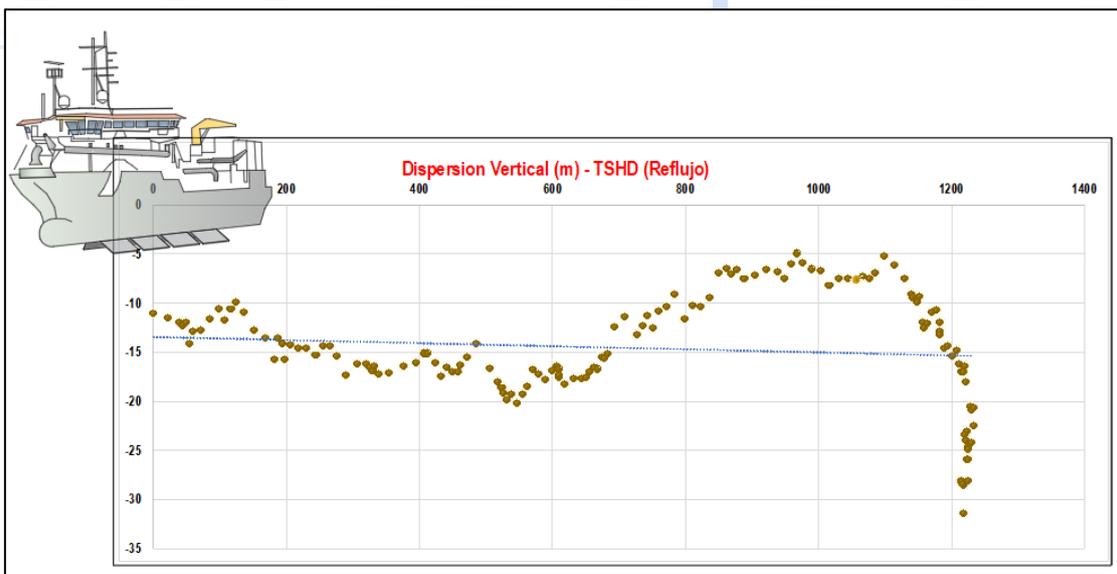


Figura 106. Esquema perfil de dispersión de sedimentos, escenario R2

Elaborado por: Consusua C. Ltda. 2021.

DISPERSIÓN SHB (REFLUJO)

Para este escenario el vertido se lo hace a través de la barcaza hendible (SHB) de igual manera con profundidad del sitio de -54 m y una cota de descarga de -6.00 m (calado de la barcaza), como se puede observar en la Figura 107 y Figura 108, la partícula recorre una distancia de 1.6 km hacia el sureste y realiza un quiebre hacia el suroeste recorriendo una distancia de 50 m y llegando a decantarse a la profundidad de -25 m (MLWS). El tiempo que recorre la partícula desde el punto de vertido hasta su decantación es de en un tiempo de 2.5 horas aproximadamente.

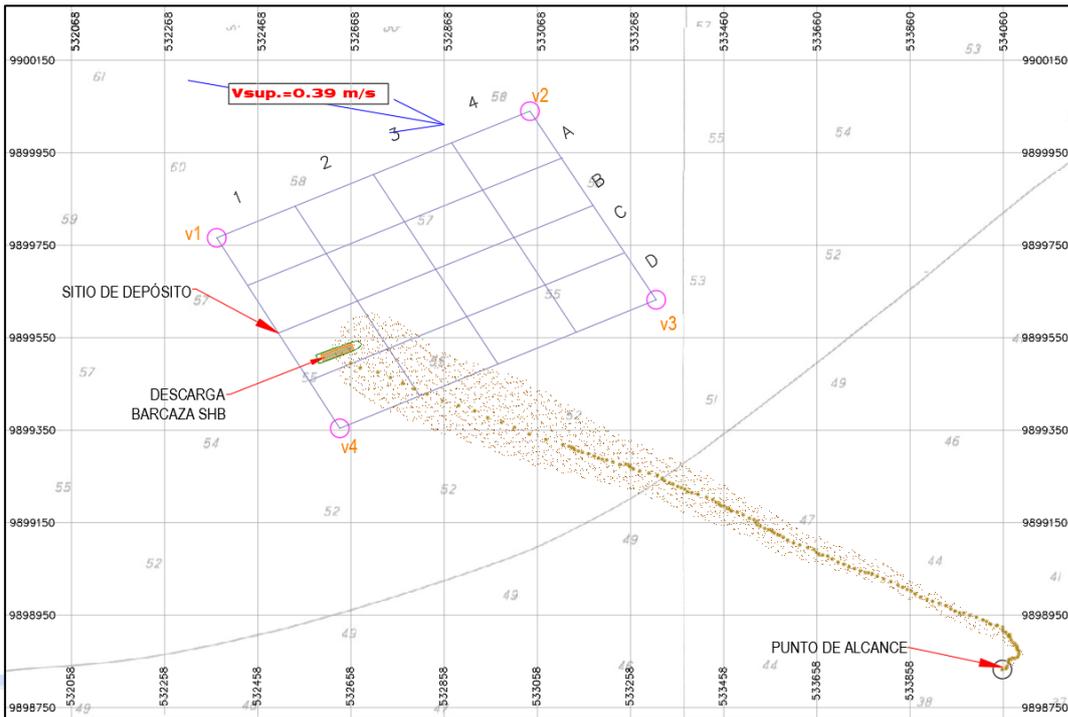


Figura 107. Esquema en planta de dispersión de sedimentos, escenario R3

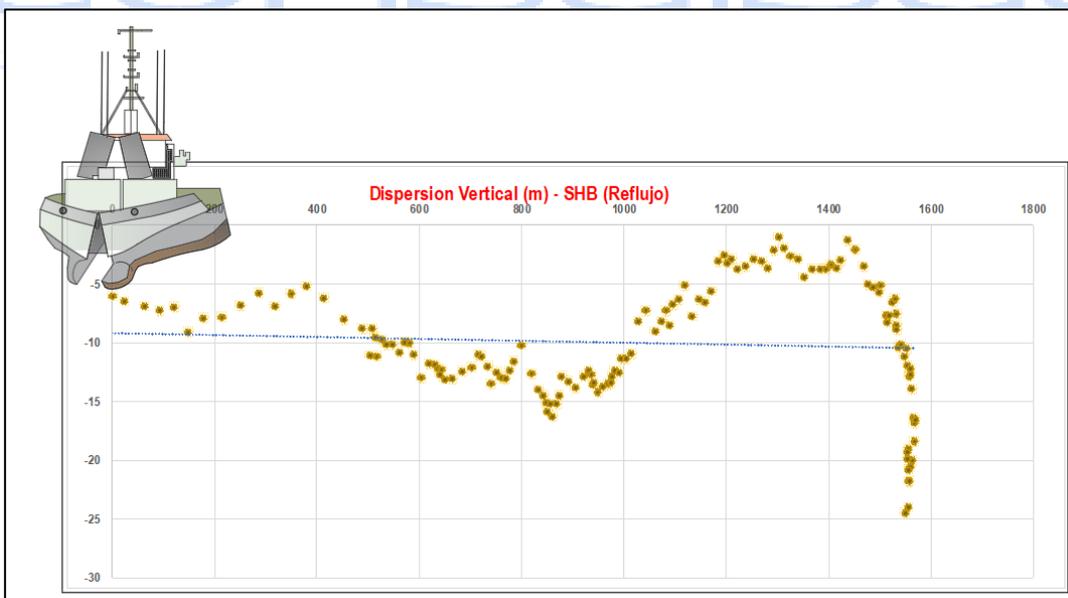


Figura 108. Esquema perfil de dispersión de sedimentos, escenario R3

Elaborado por: Consulsua C. Ltda. 2021.

De los escenarios presentados y analizados mediante modelo matemático en comparación con la aplicación de la Ley de Stokes se puede observar que la dispersión se comporta de una manera diferente, presentado movimientos variables a lo largo del desplazamiento tanto horizontal como vertical, las distancias de recorrido están muy por debajo que las calculadas por la Ley de Stokes y puntos de decantación están más cercanos al sitio de vertido en espacial cuando se vierte el material en el escenario de flujo.

Los mayores desplazamientos se presentan en estado de reflujo debido a que es en este escenario donde se presentan las mayores profundidades, además que es donde mayor tiempo se demora la partícula en decantarse.

6. CONCLUSIONES

Del análisis preliminar se puede compartir las siguientes conclusiones:

- Establecida la batimetría y las condiciones hidrodinámicas de la zona de estudio, se pudo determinar los escenarios previstos para el modelamiento de la dispersión del sedimento dragado del Puerto de Manta, donde las corrientes de mareas son las que definen el comportamiento de la columna de agua (en flujo y reflujo).
- Definiendo el sedimento dragado como Limo Grueso, se suponen las velocidades y tiempo de asentamiento en fondo de manera teórica por la Ley de Stokes, como insumo de modelado, así como las distintas profundidades de vertidos en el área dispuesta.
- Para los escenarios F1 y R1 no hay dispersión de sedimento y se presenta el cambio del fondo en periodos de flujo y reflujo en la horizontal, donde éste presenta variaciones mínimas en flujo y máximas en reflujo.
- En F2 y R2 se emplea una draga TSHD la cual alberga mayor cantidad de sedimento; la profundidad del sitio de vertido es a los - 54 m; el punto de descarga es a los -11.00 m de profundidad (calado de la draga), pero presenta diferentes tendencias direccionales, F2 tiende al Norte, mientras que R2 tiende al Este. Las longitudes de dispersión alcanzan los 3.00 km para R2 mientras que F2 se mantiene más tiempo suspendido en la zona de vertido y solo se desplaza 1.50 km.
- Para F3 y R3 la embarcación de descarga es de tipo SHB, la profundidad del sitio de vertido es a los - 54 m; el punto de descarga es a los -6.00 m de profundidad (calado de la barcaza). F3 tiene dirección Este y Noreste a medida que transcurre el tiempo, quedando más tiempo en suspensión y se expande hasta 1.50 km, sin embargo, R3 se desplaza con mayor rapidez y tiempo de asentamiento más corto alcanzado desplazarse hasta aproximadamente 3.50 km desde el vertido.
- Las corrientes de los alrededores del lugar del proyecto están dominadas por los vientos, olas, y en menor grado por las mareas.
- El transporte del sedimento ocurre en el mismo sentido de las corrientes.

- Se supone que la deriva del sedimento se debe a los efectos de corriente que se experimenta en cada capa, apartando que es de tipo muy liviano quedándose en más tiempo en suspensión.
- Aun cuando el vertido se hace en diversas profundidades la dispersión por cambios de densidad (de limo y agua de mar) hace que cierta cantidad de sedimento suba a la superficie y se propague a lo largo de esta.

7. COMENTARIOS

La zona de depósito del material dragado de TPM, es adecuada y no genera afectaciones al entorno. Sin embargo, aun cuando se dispone de una zona de vertido alejada de la zona de dragado, este material podría luego de un adecuado análisis ser empleado como una alternativa para una potencial recuperación de playas cercanas en bordes costeros que han sido afectados por la erosión marina.



8. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Interministerial de Estrategias Marinas (2015). Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre.

Cucalon E. (1987). Oceanographic Variability off Ecuador associated with El Niño Event in 1982-83, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 92 #C13, pp. 14309-14322.

Chavez, F. (1986). The Legitimate El Niño Current, *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter*, 34, p. 1.

Daniel Pech Pool / Ardisson Herrera (2011). Diversidad en el bento marino-costero.

DHI (2012). MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM. Hydrodynamic and Transport Module Scientific Documentation. Horshølm, Denmark: DHI Water & Environment, Inc. Scientific Documentation, 52p.

Dome Petroleum Limited, Esso Resources Canada Limited and Gulf Canada Resources INC. (1982). "Environmental impact statement for hydrocarbon development in the Beaufort Sea – Mackenzie Delta region". Volume 4. Biological and physical effects.

Equatorial Pacific Ocean Climate Studies (EPOCS) (1987). An EPOCS study of the Pacific North Equatorial Countercurrent and the Intertropical Convergence Zone.

ESL ENVIRONMENTAL SCIENCE LTD. (1979). "Inventory of pertinent reports dealing with dredging Projects and associated environmental impacts in the southern Beaufort Sea." ESL Environmental Science Limited for Dome Petroleum Ltd. Calgary, Alberta.

Laboyrie, H. P., Van Koningsveld, M., Aarninkhof, G. J., Van Parys, M., Lee, M., Jensen, A., . . . Kolman, R. (2018). "Dredging for Sustainable Infrastructure". The Hague, Netherlands: CEDA/IADC.

Landaeta, Cruz J. (2002). Potenciales Impactos Ambientales generados por el dragado y la descarga del material dragado.

Lasalle, M.W., D.G. Clarke, J. Homziak, J.D. Lunz y T.J. Fredette. (1991). "A framework for assessing the need for seasonal restrictions on dredging and disposal operations", Technical Report D-91-01, US Army of Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Newell, R.C., Seiderer, L.J. & Hitchcock, D.R. (1998). The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources in the sea bed. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 36, 127-178.

Newell, R.C., Seiderer, L.J., Simpson, N.M. & Robinson, J.E. 2003. Impacts of marine aggregate dredging on benthic macrofauna off the south coast of the United Kingdom. *Journal of Coastal Research*, 19, (in press).

Núñez, A., Elizabeth, M., Zambrano, H., & Mónica, C. (2010). Caracterización técnica de la acuicultura en el Cantón Manta. Recuperado a y propuesta a partir de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10400>

Okuda T. (1983) Variación estacional de la posición del frente ecuatorial y su efecto sobre la fertilidad de las aguas superficiales ecuatorianas. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, Vol. 2 #1.

Rebolledo E., 2018 Estudios y Obras de Dragado de la Fase 1, para la Terminal Internacional del Puerto de Manta.

Reish, D., and L. Bernard. - (1967).- The benthic Polychaeta and amphipoda of morro Bay, California. *Smithsonian press*. Washington. 120 (3565): 1-26.

Rosales. 2005. Transmisión del oleaje irregular en rompeolas superficiales permeables a talud. Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U.Z., México D.F.

Soledispa, B. (2009). Estudio de las características sedimentológicas de la zona costera frente al balneario de Manta, Ecuador. Instituto Oceanográfico de la Armada, INOCAR. *Acta oceanográfica del Pacífico* 15: 1.

Toledano, N. (2006). Caracterización de la rotura en modelo elíptico disipativo de transformación del oleaje. Trabajo de Grado. Universidad Nacional Autónoma de México. México DF.

Van Dolah, R.F., Calder, D.R. & Knott, D.M. (1984). Effects of dredging and open water disposal on benthic macroinvertebrates in a South Carolina estuary. *Estuaries*, 7, 28-37.

Villamar F., F. fecha de descarga 2021, Estudio taxonómico y distribución de los poliquetos bentónicos en la zona intermareal de las provincias de Esmeraldas y Manabí (Ecuador), *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 13(1). p.169-197.

Zambrano, Q., Martínez, R., and Garcés-Vargas, J. (2000). Variabilidad oceanográfica en Ecuador asociada con el evento ENSO 1997-98, *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 10, 9-20.

9. ANEXOS

ANEXO A: Registro Fotográfico

ANEXO B: Raw Data

ANEXO C: Mapas Temáticos

ANEXO D: Simulación

ANEXO E: Fichas de Equipos

ANEXO F: Certificados de Calibración



consu|sua
CONSULTORA EN INGENIERIA Y AMBIENTE