

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a person in a red robe and white hat, standing on a green hill. Above the figure is a golden crown. To the left is a golden castle tower, and to the right is a golden lion rampant. The background is a light blue sky. The circular border contains the Latin text "ORBIS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMATELNSIS INTER CATTIVAS" in a serif font.

**ESTIMACIÓN DEL AZOLVAMIENTO EN LA PROFUNDIDAD DE
NAVEGACIÓN DE LA DÁRSENA DE MANIOBRAS DE PORTUARIA
QUETZAL EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS POR INFLUENCIA DE LA
CORRIENTE SUPERFICIAL DEL RÍO ACHIGUATE, ESCUINTLA,
GUATEMALA, C.A.**

ODENILSON FRANCO LÓPEZ RODRÍGUEZ

GUATEMALA, MAYO 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**ESTIMACIÓN DEL AZOLVAMIENTO EN LA PROFUNDIDAD DE NAVEGACIÓN
DE LA DÁRSENA DE MANIOBRAS DE PORTUARIA QUETZAL EN LOS
ÚLTIMOS 10 AÑOS POR INFLUENCIA DE LA CORRIENTE SUPERFICIAL DEL
RÍO ACHIGUATE, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

**PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

POR:

ODENILSON FRANCO LÓPEZ RODRÍGUEZ

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO**

GUATEMALA, MAYO 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR EN FUNCIONES

M.A. WALTER RAMIRO MAZARIEGOS BIOLIS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

Decano:	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
Vocal I:	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
Vocal II:	Dr. Gricelda Lily Gutiérrez Alvarez
Vocal III:	Ing. Agr. M.A. Jorge Mario Cabrera Madrid
Vocal IV:	Br. Carmen Aracely Garcia Pirique
Vocal V:	P. Agr. Mynor Fernando Almengor Orenos
Secretario Académico:	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López

Guatemala, abril 2022.

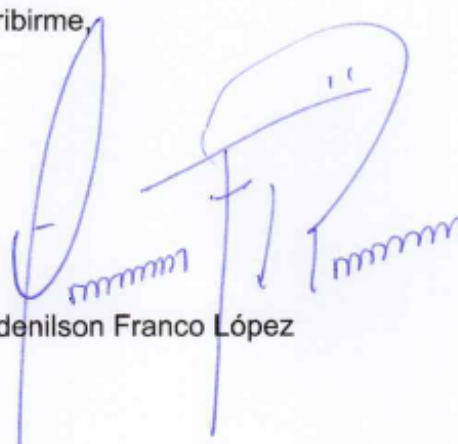
Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el **TRABAJO DE GRADUACIÓN: ESTIMACION DEL AZOLVAMIENTO EN LA PROFUNDIDAD DE NAVEGACION DE LA DARSENA DE MANIOBRAS DE PORTUARIA QUETZAL EN LOS ULTIMOS 10 AÑOS POR INFLUENCIA DE LA CORRIENTE SUPERFICIAL DEL RIO ACHIGUATE, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.** como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo, llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,



Odenilson Franco López

ACTO QUE DEDICO
A

DIOS	Ser supremo creador del universo, sustentador de sabiduría y constancia en mi vida.
MIS PADRES	Jesús Eliseo López Mérida y Jesús Alejandra Rodríguez Tello.
MIS HIJOS	María Alejandra, Ana Paula, Rodrigo Emmanuel y Diego Emilio.
MIS HERMANOS	Liliana Alejandrina, Edson Jhovany e Ilse María.
MI ESPOSA	Aura Yesenia Vásquez Martínez.
MIS AMIGOS	Juan Antonio Montufar Flores (QEPD), Joram Matías Gil Laroj (QEPD)

TESIS QUE DEDICO

A

MIS MAESTROS	Por el esfuerzo y dedicación en la formación académica que recibí en cada etapa educativa, fundamental para llegar a ser profesional.
MIS PADRES	Jesús Eliseo López Mérida y Jesús Alejandra Rodríguez Tello, por el apoyo incondicional durante toda mi vida y por estar siempre acompañando mis retos y metas, gratitud por siempre.
MIS ABUELOS	Petrona Mérida Tello, Héctor José Lopez Alonzo, Braulio Rodríguez y Clementina Tello (QEPD), ejemplos de perseverancia, trabajo, decisión, principios y valores.
MIS HERMANOS	Liliana Alejandrina, Edson Jhovany e Ilse María, compañeros de infancia, risas y empujones, ejemplos visibles para finalizar este proceso académico en mi vida.
MI ESPOSA	Aura Yesenia Vásquez Martínez, compañera, oídos y opiniones fundamentales de vida.
MIS AMIGOS	Juan Antonio Montufar Flores (QEPD), Joram Matías Gil Laroj (QEPD), experiencias que el destino pone y quita, mi admiración hasta el cielo.

AGRADECIMIENTOS

A

FAUSAC	Por permitir durante el paso por sus aulas, la formación y educación que desarrollo la capacidad intelectual para la realización de la presente investigación.
MIS COMPAÑEROS	Ing. Smaily Enrique Hernández Gil y Lic. Florencio Vinicio Arango Custodio.
MIS ASESORES	Dr. Eugenio Oliverio Orozco y Dr. Tomas Padilla Cambara.
MIS AMIGOS	Por su presencia, amistad y trato asiduo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CONTENIDO	I
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE CUADROS	VII
RESUMEN	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Marco Conceptual.....	3
2.1.1. El papel del comercio en la economía de las comunidades y pueblos.....	3
2.1.2. Comercio marítimo	4
2.1.3. Puerto	5
2.1.4. Partes de un puerto	5
2.1.5. Importancia de la infraestructura de transporte marítimo	7
A. Trabajos de dragado de puertos.....	8
B. Aspectos previos al dragado	8
C. Definición batimétrica de la zona.....	9
D. Importancia de la batimetría en los puertos.....	10
2.1.6. Dársena de maniobras	11
2.1.7. Análisis de la dinámica de sedimentos en la región	11
A. Corrientes de aires que influyen en la dirección del oleaje en la región...	12
B. Corrientes marinas que transportan sedimentos e influyen en la dirección del oleaje en la región	14
C. Descarga de sedimentos por parte del río Achiguate.....	15
2.1.8. Erupción del volcán de Fuego y su relación con los sedimentos en la Dársena de Puerto Quetzal.....	16
2.2. Marco Referencial.....	18
2.2.1. Ubicación	18
2.2.2. Dársena	19

	Página
A. Localización	19
B. Descripción topográfica	20
C. Clima	21
D. Suelos	21
E. Hidrología	21
F. Batimetrías	22
3. OBJETIVOS.....	25
3.1. Objetivo General.....	25
3.2. Objetivos Específicos.....	25
4. Metodología.....	26
4.1. Fase I.....	26
4.1.1. Revisión de material cartográfico	27
4.1.2. Establecimiento y delimitación del área de estudio	27
4.1.3. Obtención de información biofísica del área.....	27
4.1.4. Evaluación inicial	28
4.2. Fase II.....	28
4.3. Fase III.....	30
4.4. Fase IV	32
4.5. Ejecución	33
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
5.1. Profundidad media en cada área en la Dársena.....	38
5.2. Volumen de sedimentos en la Dársena	39
5.3. Análisis comparativo de las batimetrías.....	40
5.3.1. Dársena principal / Norte / Este.....	40
5.3.2. Dársena de maniobras	40
5.3.3. Dársena Oeste	41
5.4. Ubicación de áreas con menor profundidad dentro de la Dársena de Maniobras.....	42

Página

5.5.	Acciones para mantener la profundidad adecuada y segura de navegación dentro del área de la Dársena de Maniobras.....	42
5.6.	Granulometría de los sedimentos en la Dársena.....	43
5.7.	Situación y relación con el caso del Canal de Suez	43
5.8.	Efecto de la erupción de volcán de Fuego en 2018.....	44
6.	CONCLUSIONES	47
7.	RECOMENDACIONES.....	49
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	50
9.	ANEXOS.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Dirección de los vientos.....	12
Figura 2. Rosa de vientos anuales promedio.	13
Figura 3. Dirección de las corrientes mundiales.	14
Figura 4. Dirección del oleaje en Puerto Quetzal.	15
Figura 5. Ubicación del volcán y las cuencas cercanas.	16
Figura 6. Traslado de sedimentos de volcán de Fuego en cuenca río Achiguate. ..	17
Figura 7. Ubicación Puerto Quetzal.....	19
Figura 8. División de la dársena en Puerto Quetzal.	20
Figura 9. Batimetría de abril en 2010.	22
Figura 10. Batimetría de marzo en 2016.	23
Figura 11. Batimetría de junio de 2018.....	23
Figura 12. Batimetría en el año 2019.	24
Figura 13. Colocación de plano en AutoCAD®.	34
Figura 14. Asignación de altura y posición sobre plano.	35
Figura 15. Planta de dársena con todos los puntos asignados.	36
Figura 16. Vista de superficies digitales o isobatas generadas.	37
Figura 17. Ingreso de sedimentos a la dársena.....	46
Figura 18A. Batimetría de abril en el año 2010	54
Figura 19A Batimetría de marzo en el año 2016.....	55
Figura 20A Batimetría de junio en el año 2018.	56
Figura 21A Batimetría en el año 2019.....	57
Figura 22.A Hoja cartográfica 2057 IV Puerto San José	58
Figura 23A .Isobatas de la Dársena de Puerto Quetzal en el año 2010.....	59
Figura 24A .Isobatas de la Dársena de Puerto Quetzal en el año 2016.....	60
Figura 25A .Isobatas de la Dársena de Puerto Quetzal en el año 2018.....	61
Figura 26A .Isobatas de la Dársena de Puerto Quetzal en el año 2019.....	62
Figura 27A .Áreas de análisis en la Dársena	63
Figura 28A .Perfil de la Dársena Norte y de Maniobras	64

	Página
Figura 29A .Perfil de la Dársena Oeste y Canal de Acceso	65
Figura 30A .Batimetría generada por AUTOCAD	66
Figura 31A .Batimetría generada por AUTOCAD	67
Figura 32A .Batimetría generada por AUTOCAD	68

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Profundidades comparación de la batimetría entre los años en análisis. .	38
Cuadro 2. Comparación de la batimetría en 2010 con respecto a los otros años en análisis.	39
Cuadro 3. Comparación de la batimetría entre los años en análisis 2016, 2018 y 2019.	39
Cuadro 4. Datos de sedimentos anuales en metros cúbicos.	45

ESTIMACIÓN DEL AZOLVAMIENTO EN LA PROFUNDIDAD DE
NAVEGACIÓN DE LA DÁRSENA DE MANIOBRAS DE PORTUARIA
QUETZAL EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS POR INFLUENCIA DE LA
CORRIENTE SUPERFICIAL DEL RÍO ACHIGUATE, ESCUINTLA,
GUATEMALA, C.A.

ESTIMATION OF THE SILTATION IN THE NAVIGATION DEPTH OF THE
MANEUVERING BASIN OF PORTUARIA QUETZAL IN THE LAST 10 YEARS
CAUSED BY THE INFLUENCE OF THE SUPERFICIAL CURRENT OF THE
ACHIGUATE RIVER, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

RESUMEN

Al sur de Guatemala existe el puerto de mayor importancia para la importación y exportación marítima, Puerto Quetzal, que aporta al flujo de la economía nacional, por lo que es de importancia mantenerlo en óptimas condiciones esta área y con ellos también implica el monitoreo constante de la dársena, lugar donde se maniobran y embarcan los buques para su carga y descarga.

La forma del lecho marino de la dársena varía de acuerdo a las condiciones oceanográficas y climatológicas, además de accidentes geográficos que puedan ocurrir en la región o cuenca del río Achiguate. Para este caso, se realiza un análisis de la batimetría en un periodo de 10 años, entre 2010 al 2019, utilizando batimetrías realizados por la Empresa Portuaria Quetzal en los años 2010, 2016, 2018 y 2019. Estas batimetrías fueron digitalizadas para generar superficies de datos que puedan interactuar y compararse entre con las superficies de cada año generadas en el Civil AutoCAD® 3D.

Como resultado de la comparación de la superficie de datos, se obtuvo que en el transcurso del tiempo, el movimiento de la marea y la dinámica de transporte de los barcos, los sedimentos, de partículas finas, en la dársena se van distribuyendo hacia los bordes donde barcos con menor calado navegan, y para eventos de erupción del volcán de Fuego aumenta la cantidad de sedimentos presentes en la dársena.

A su vez se generaron datos de volúmenes de sedimentos por año, mapas de isobatas por año y esquemas de la dinámica de los sedimentos producidos por el volcán de Fuego

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país en vías de desarrollo, la novena economía a nivel latinoamericano. El sector más grande en la economía guatemalteca es el agrícola, siendo el mayor exportador de cardamomo a nivel mundial, el quinto exportador de azúcar y el séptimo en café, el sector agrícola es el cuarto en importancia del PIB. Parte importante es la movilización de los productos utilizando diferentes tipos de transporte, entre los mencionados, el transporte marítimo, aéreo, terrestre, ferroviario y la combinación de estos.

De todos estos medios el transporte marítimo presenta los costos más bajos de la “Distribución Física Internacional”, dada la capacidad para movilizar mercancías de gran volumen, poco valor y su capacidad para recorrer grandes distancias. (Comisión Portuaria Nacional 2012).

El presente trabajo permitió cuantificar el volumen de azolvamiento dentro del área de la dársena de maniobras de Puerto Quetzal en los últimos 10 años y la disminución generada en la profundidad de navegación, obteniendo información que permitirá planificar acciones de mantenimiento que garanticen la profundidad adecuada y segura de navegación dentro del área de maniobras, generando con ello una herramienta útil y que influirá en la toma de decisiones a mediano plazo de las autoridades de Puerto Quetzal, considerándose este un instrumento muy importante que ayudará a determinar las acciones y labores a desarrollar en el área.

Para la obtención del volumen y ubicación del azolvamiento en la dársena dentro de Puerto Quetzal luego de realizado el último dragado en el año 2009, se consultaron los registros y las batimetrías realizadas durante los años 2010, 2016, 2018 y 2019, recopilando planos con datos numéricos, para luego realizar la digitalización y comparación para cada uno de los años.

Con los datos digitalizados fue posible realizar el cálculo de volumen sedimentado y desplazado en diferentes áreas de la dársena, utilizando el software Civil AutoCAD® 3D como instrumento de comparación de datos por año.

Las batimetrías a utilizadas fueron realizadas por la Empresa Portuaria Quetzal (EPQ) a través de la Gerencia de Operaciones, División de Operaciones Marítimas, Departamento de Observación e Investigación Marítima (OBIMAR).

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco conceptual

A continuación, se presentan la recopilación, sistematización y exposición de los conceptos fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

2.1.1. El papel del comercio en la economía de las comunidades y pueblos

La globalización es un proceso fundamentalmente económico que consiste en la creciente integración de las distintas economías nacionales en un único mercado capitalista mundial. Los modos de producción y de movimiento de capitales se configuran a escala global, mientras los gobiernos y movimientos sociales van perdiendo atribuciones y capacidades. Este proceso, como se puede apreciar en la actualidad, genera prejuicios y desigualdades.

La importancia del comercio entendido como una de las actividades económicas más importantes del ser humano, es aquel que le permite no solo conseguir productos que no se producen localmente (así como también vender los que si se producen en el ámbito propio) sino que además es la actividad económica que le permite al ser humano entrar en contacto con otras sociedades, conociendo elementos de su cultura y sus tradiciones que luego pueden ser asimiladas de diferentes maneras. El comercio es al mismo tiempo una actividad dinámica que evita el cierre geográfico y político de las comunidades y que requiere, para funcionar correctamente, el contacto e intercambio permanente entre diversas comunidades y pueblos.

El comercio es una actividad que el ser humano realizo desde tiempos muy tempranos, siempre que comprendió que no todo lo que una comunidad necesitaba podría ser producido localmente y que, entonces era necesario intercambiar productos propios por aquellos que interesaban. Así, una comunidad que se especializa en la cosecha

de determinados cereales, puede obtener otro tipo de cereales o alimentos típicos de otras regiones a partir del intercambio en partes o valores iguales de un producto propio. La importancia del comercio para el ser humano es muy profunda ya que no tiene que ver solamente con lo económico sino también con lo social y lo cultural. (Tere Juárez, 2014)

2.1.2. Comercio marítimo

El comercio marítimo ha surgido de la necesidad de intercambio entre las diferentes sociedades del mundo. Cada una de ellas ha tenido que recurrir a otras comunidades en la búsqueda de aquello que satisfaga sus múltiples necesidades (compra y venta de productos) dado que ellas mismas no los puedan producir, siendo el medio más común a través de las vías navegables, lo que ha originado el surgimiento del transporte acuático. (Derechoguatemalteco.org 2014)

El transarte por la vía marítima nació de la necesidad de mover carga o pasajeros de un país a otro, a través del mar, de una forma eficiente, segura y económica en relación a otros medios de transporte, generándose de esta forma el comercio marítimo internacional.

Hoy día, diversos estudios concluyen que alrededor del 80 % del comercio internacional, se efectúa por vía marítima.

Como antecedente de que en Guatemala se ha prestado poca importancia a la regulación del comercio marítimo, teniendo que este se encuentra en parte regulado en el libro III, del código anterior código de comercio. Comercio marítimo, promulgado desde el año 1942, que a la fecha se encuentra vigente, encontrándose en este una serie de normas que han quedado obsoletas, por no responder a las exigencias del comercio nacional e internacional. (Decreto gubernativo 2946)

2.1.3. Puerto

- Puerto: del latín *portus*. Descrito por los marineros como el lugar en la costa protegido de los vientos y preparado para que los barcos amarren, carguen y descarguen sus mercancías. Conjunto de instalaciones para carga y descarga de barcos y para el comercio de sus mercancías.
- Puerto de arribada, aquel al que llega un barco después de una travesía, de depósito, el que está habilitado para el depósito de efectos mercantiles sin pagar derechos de aduana mientras no se introduzcan en el país.
- Puerto fluvial, el construido a la orilla de un río.
- Puerto franco, el que cuenta con una zona en la que se pueden depositar mercancías sin pagar aduana, habilitado, el que permite realizar importaciones o exportaciones. (Gran Diccionario de la Lengua Española© 2016 Larousse Editorial, S.L.)

Lugar en la costa, defendido de los vientos y dispuesto para seguridad de las naves y para las operaciones de tráfico y armamento. (Diccionario Enciclopédico Vox 1. © 2009 Larousse Editorial, S.L.) Lugar en la costa protegido de los vientos para seguridad de las naves.

2.1.4. Partes de un puerto

Se define el puerto como el conjunto de obras, instalaciones y servicios que proporcionan el espacio de aguas tranquilas necesarias para la estancia segura de los buques, mientras se realizan las operaciones de carga, descarga y almacenaje de las mercancías y el tránsito de viajeros. En general, las funciones de un puerto son: comercial, intercambio del transporte marítimo y terrestre, base del barco y fuente de desarrollo regional.

Entre las funciones de índole específica se tiene: actividad pesquera, de recreo y de defensa. Desde el punto de vista funcional, las obras y las instalaciones de un puerto se pueden clasificar por su ubicación. Así, en la zona marítima, destinada al barco, se disponen las obras de abrigo que protegen la zona de atraques del oleaje exterior, constituidas fundamentalmente por los diques; las obras de acceso que facilitan el acceso del barco al puerto en condiciones de seguridad, garantizando su maniobrabilidad, anchura y calado adecuados.

Las obras de acceso son: señalización (radar, faros, balizas, radiofaros, boyas, etcétera), los diques de encauzamiento, canales dragados, esclusas; las obras de fondeo con la función de mantener el barco amarrado en aguas tranquilas a la espera de su turno de atraque en los muelles; y las dársenas que constituyen la superficie de aguas abrigadas aptas para la permanencia y operación de los barcos (de marea o de flotación, según estén o no sometidas a la acción de las mareas).

En la zona terrestre, destinada fundamentalmente a la mercancía, se encuentra con la superficie de operación terrestre constituida por los muelles, que además de facilitar el atraque y amarre de los barcos, sirven de soporte al utillaje y de acopio provisional de mercancías; y los depósitos que además de adecuar un espacio a las mercancías, sirven de regulación de los flujos marítimo-terrestres.

En la zona de evacuación, destinada al transporte terrestre, se debe diferenciar las vías de acceso al puerto desde la red de carreteras general, las de circunvalación o reparto y las de penetración a la zona de operación terrestre, con sus áreas de maniobra y estacionamiento. Ocasionalmente pueden ubicarse en los puertos una zona de asentamiento de industrias básicas: siderurgias, astilleros, petroquímicas, refinerías, etc. En algunos casos ha sido necesario crear puertos exclusivamente para su servicio. El conjunto de servicios que presta un puerto se puede clasificar en función del ámbito al que van destinados.

Entre los servicios al barco están la consigna, el practicaaje, el remolque, el avituallamiento y el mantenimiento. Para los servicios a la mercancía están la consigna, el estibaje, la aduana, la sanidad, la vigilancia y los servicios comerciales. Los servicios al transporte terrestre son los de representación, reparación y estaciones de servicio. Para terminar, el apartado de servicios varios, entre los que se encuentran los seguros, los bancarios, los mercantiles, los de comunicación, etc. (Edardo 2008)

2.1.5. Importancia de la infraestructura de transporte marítimo

Los puertos marítimos de un país constituyen uno de sus activos logísticos estratégicos más relevantes, dada su participación en el intercambio de bienes. De acuerdo con estadísticas de la Organización Mundial de Comercio más del 80 % de las mercancías que se comercializan en el mundo se mueven por vía marítima, siendo los puertos los nodos que permiten operar dicho intercambio.

Quizá el modo de transporte que más impacto ha tenido por la globalización en los últimos 20 años ha sido precisamente el marítimo, considerando su amplia cobertura geográfica, los grandes volúmenes que se pueden desplazar por este medio y el alto nivel de eficiencia con el que esto se logra.

Desde el punto de vista de su función física, los puertos son instalaciones provistas de espacios de aguas tranquilas que permiten la conectividad entre el medio marítimo y el terrestre, mediante la existencia de tres zonas principales: la zona marítima o de acceso, la zona terrestre para maniobras y la zona de enlace con los modos terrestres.

A. Trabajos de dragado de puertos

Los trabajos de dragado de puertos son fundamentales para permitir el acceso de buques que requieren cada vez mayor calado y para el desarrollo de infraestructuras portuarias. Todos los trabajos de dragado tendrán la consideración de obra marítima. Los trabajos de dragado de un puerto incluyen la medición, extracción, transporte y vertido de rocas y sedimentos situados en el fondo marino realizadas con alguno de los siguientes fines:

- Dragado de primer establecimiento: trabajos de dragado realizados con el fin de mejorar las condiciones de navegación y evitar el riesgo de encallamiento, la creación de nuevos puertos o la excavación de zanjas para cimentación de estructuras portuarias o desarrollo de nuevas instalaciones.
- Dragado para rellenos portuarios: su objetivo es utilizar el material para relleno de estructuras portuarias.
- Dragado de limpieza: su objetivo es la retirada de material contaminado del fondo marino. (Angel, 2016)

B. Aspectos previos al dragado

Para definir correctamente una operación de dragado hay que conocer una serie de aspectos previos sobre las zonas de extracción y vertido, que se pueden resumir en:

- Batimetría de la zona de dragado y de vertido.
- Características geotécnicas y geológicas del material a dragar.
- Condiciones medioambientales de las zonas involucradas en la operación.

Su definición es fundamental a la hora de abordar una operación de dragado y por tanto en la minimización de costes tanto ambientales como económicos, así como en el impacto que las operaciones de vertido van a tener sobre la zona.

C. Definición batimétrica de la zona

Para poder calcular de forma precisa los volúmenes disponibles y delimitar las zonas tanto de dragado como de vertido, es imprescindible tener un buen conocimiento del fondo marino. Esta información no suele estar disponible, por lo que resulta necesario realizar una campaña batimétrica que debe contener la siguiente información:

- Profundidad del fondo en varios puntos de medida convenientemente espaciados.
- Posición planimétrica de estos puntos.
- Medición de las variaciones del nivel medio del mar.

Para la medida de la profundidad en la actualidad el uso de ecosondas para reconocer el relieve marino está ampliamente extendido, llegando a determinar profundidades superiores a los 5,000 m, valor muy por encima a los requerimientos en operaciones de dragado.

El principio de funcionamiento de la ecosonda es la determinación del tiempo transcurrido entre el envío de la señal desde el transductor hasta que es alcanzada por el receptor después de reflejarse. De esta manera, el ecosonda permite medir la profundidad tanto del fondo como de cualquier objeto sumergido en el mar.

El retardo del pulso sonoro enviado y recogido por el receptor permite calcular la profundidad siguiendo la siguiente ecuación: $P = (V_s * t)/2$, donde t es el tiempo de retardo en segundos, V_s la velocidad del sonido y P es la profundidad. La división por dos se utiliza para tener en cuenta el viaje de ida y vuelta del impulso en el agua.

La posición planimétrica hace referencia a la ubicación de los puntos donde se encuentra el sedimento o rocas a extraer. El sistema de posicionamiento utilizado en estas operaciones y que garantiza una alta precisión es el GPS diferencial.

Finalmente, durante la campaña batimétrica se debe registrar también las variaciones del nivel medio del mar, aunque Puerto Quetzal se encuentre en una región micro mareal. (CIRIA, 1991)

D. Importancia de la batimetría en los puertos

La batimetría es el ejercicio de medir las profundidades marinas para determinar la topografía del fondo del mar, actualmente las mediciones son realizadas por GPS diferencial para una posición exacta, y con sonda hidrográfica mono o multi haz para determinar la profundidad exacta, todo ello se va procesando en un ordenador de a bordo para confeccionar la carta batimétrica o plano de la batimetría.

La batimetría se utiliza para saber la profundidad de un canal o muelle, y se realiza con una motonave unas horas o días antes para saber la profundidad por medio de sondeo. Cuando se realiza una batimetría y esta arroja como resultado una buena profundidad o un buen calado, indica que un buque de gran calado puede ingresar y salir sin dificultad a un puerto.

La batimetría es de suma importancia para un puerto, puesto que esta le permite saber el calado del canal, río o mar, para poder darle ingreso a los buques y no sufrir encallamientos o daños en la embarcación. Gracias a este proceso se puede obtener información de suma importancia e implementar soluciones para que esto no se vea reflejado en el flujo del dinero de un puerto. Un puerto con mala batimetría y poco calado, da como resultado pocas embarcaciones en sus instalaciones, por ende, escasez de ingresos económicos y muy poca competitividad. (Ferreira. 2011)

2.1.6. Dársena de maniobras

Concepto de Dársena de Maniobras en el ámbito del comercio exterior y otros afines: (portuario). Áreas dentro del puerto destinadas a las maniobras de preparación del buque para el acercamiento o despegue del muelle, normalmente con ayuda de remolcadores. (Enciclopedia de Comercio Exterior y Aduanas)

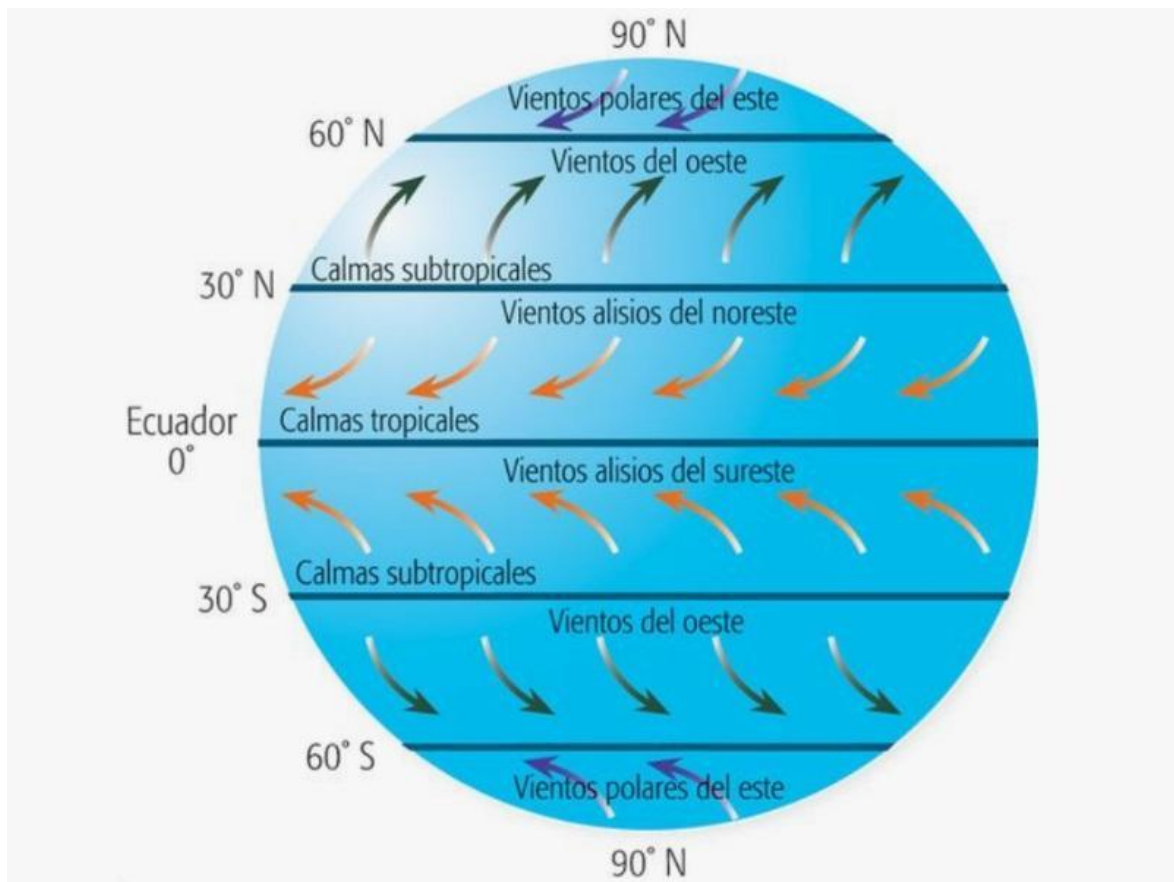
Una dársena o cuenca del balanceo es un cuerpo más amplio de agua, ya sea ubicado en el extremo de un canal de navegación o en un puerto para permitir que los buques de carga para activar e invertir su sentido de la marcha, o para permitir que las barcazas largas y estrechas en un conducto a su vez una esquina afilada. Para un giro completo de 180 °, el ancho de la dársena debe ser mayor que la longitud del barco más largo que normalmente atraviesa el canal. Los propulsores de proa o los remolcadores a bordo pueden ayudar a maniobrar el barco. Lavabo giratorio.

2.1.7. Análisis de la dinámica de sedimentos en la región

Los cambios ocurridos en el volumen de sedimentos dentro de la dársena de Puerto Quetzal son debido a los eventos que ocurren constantemente en la costa del Pacífico en Guatemala y, por consiguiente, la dinámica litoral de la marea, vientos y movimiento de sedimentos. Al analizar esto se espera entender que factores alteran el ingreso (azolvamiento o sedimentación) y comportamiento de los sedimentos en la dársena y los puntos de enfoque a considerar al momento de realizar un estudio batimétrico o de dragado. Estos factores se desarrollan a continuación:

A. Corrientes de aires que influyen en la dirección del oleaje en la región

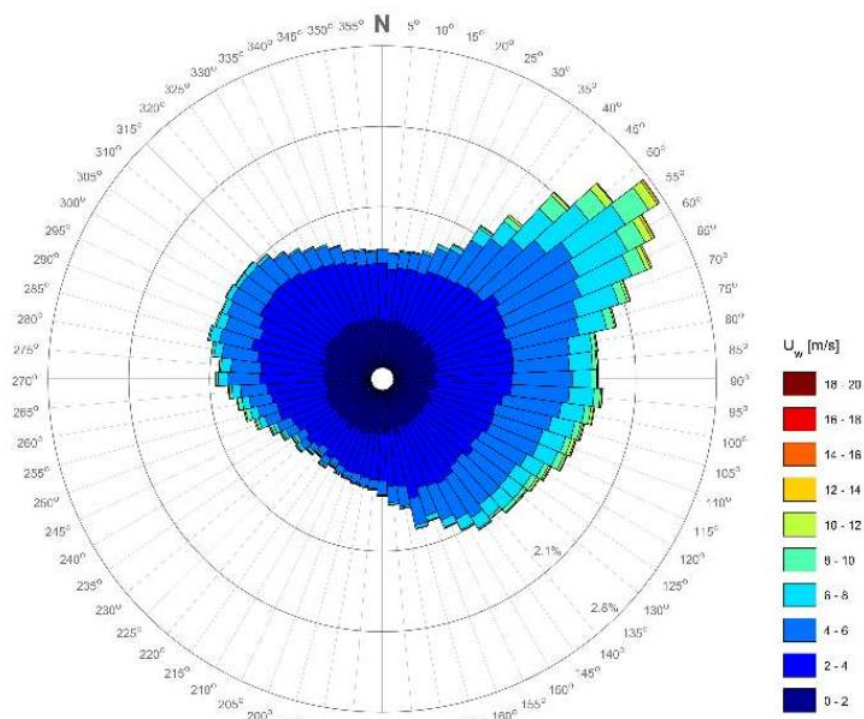
El movimiento de la tierra y la dinámica atmosférica los vientos en la región en donde se encuentra Puerto Quetzal y el resto de la franja litoral de Guatemala, (vientos alisios como se muestra en la figura 1) está un clima medio del viento tranquilo a moderado con respecto a la velocidad del viento.



Fuente: Biología Marina y Oceanografía, 2004.

Figura 1. Dirección de los vientos.

La dirección del viento varía a lo largo del año, con vientos predominantes del Nor- (figura 2). Este se muestra a continuación en el diagrama de Rosa de los vientos anuales promedio para la región cercana a Puerto Quetzal.



Fuente: Dos Océanos, 2020.

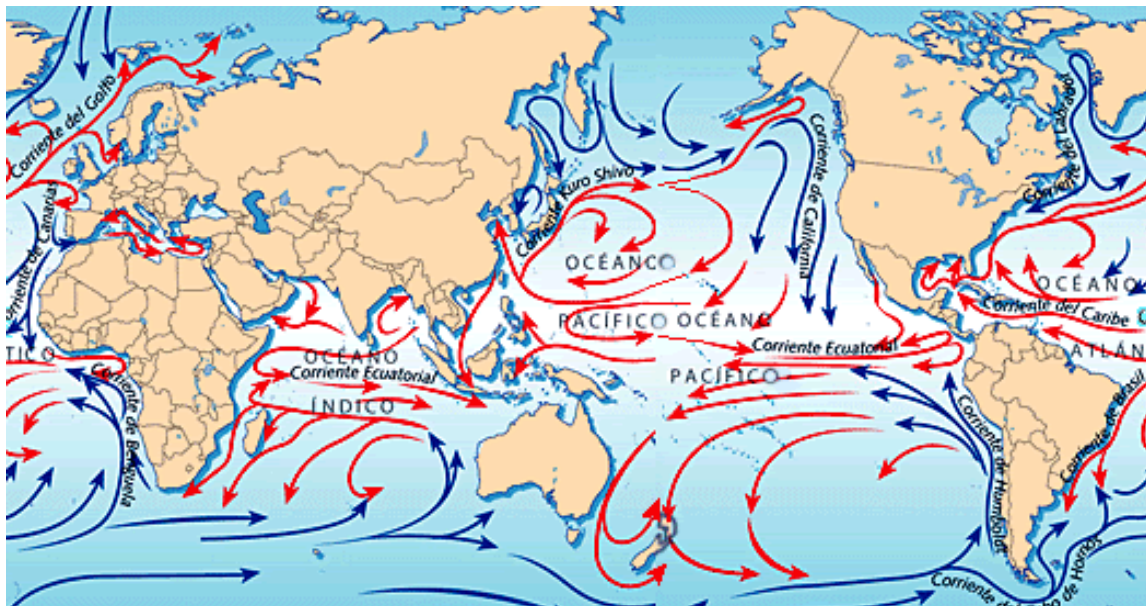
Figura 2. Rosa de vientos anuales promedio.

El resultado de la dirección del viento acompaña al movimiento de las corrientes marítimas y la altura de las olas que pueden producirse en las costas de Puerto Quetzal.

B. Corrientes marinas que transportan sedimentos e influyen en la dirección del oleaje en la región

Debido a las corrientes marinas y su relación con los movimientos del planeta, en nuestra región (Litoral del Pacífico en Guatemala) se produce la combinación entre la corriente con giro subtropical y la corriente ecuatorial, la cual produce una dirección predominante de las olas de Sur/Sur-Oeste, ocurriendo así un transporte de arrastre sedimentos a lo largo de la costa hacia el Este.

Actualmente este transporte litoral de sedimentos en el área de Puerto Quetzal es interrumpido casi por completo por el Rompeolas Oeste, causando el azolvamiento de la línea costera en el lado Oeste y la erosión en el lado Este del puerto. Esto a su vez provoca que los sedimentos que se puedan producir del lado Este de Puerto Quetzal se transporten hacia el Este y luego hacia el Sur-Este, continuando con la dinámica que se muestra (figura 3).



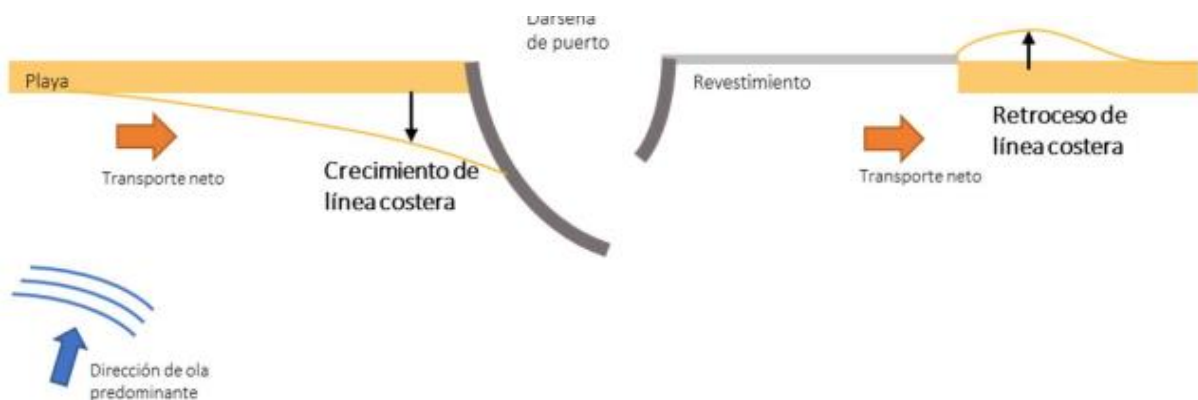
Fuente: Biología Marina y Oceanografía, 2004.

Figura 3. Dirección de las corrientes mundiales.

C. Descarga de sedimentos por parte del río Achiguate

Ubicado aproximadamente a 13.50 km al Oeste del Puerto Quetzal (producto de actividad volcánica del volcán de Fuego). Los sedimentos transportados desde el río Achiguate están compuestos por material grueso y fino al ser descargados al lecho marino cerca de la costa, movilizado en suspensión dentro de las masas de agua, depositándose en donde las aguas son tranquilas. Es por esto que las partículas finas se encuentran principalmente en aguas más profundas, fuera de la zona de rompimiento de las olas. El caudal de sedimentos del río aumenta o cesa debido a la actividad del volcán de Fuego, pero el incremento del delta del río Achiguate será de manera gradual con el paso del tiempo, y esto a su vez afecta directamente al ingreso de sedimentos dentro de la dársena en Puerto Quetzal.

A su vez, los movimientos del viento y la corriente en la región de Puerto Quetzal, facilita el ingreso de los sedimentos por parte del río Achiguate a la dársena, a pesar de la construcción de los rompeolas, y la dinámica litoral impide el paso de sedimentos que puedan provenir de otras fuentes que se encuentren al Este como por ejemplo la desembocadura San Marino. Este efecto se puede observar en la condición de asolvamiento al Oeste de Puerto Quetzal y la erosión al Este (figura 4).



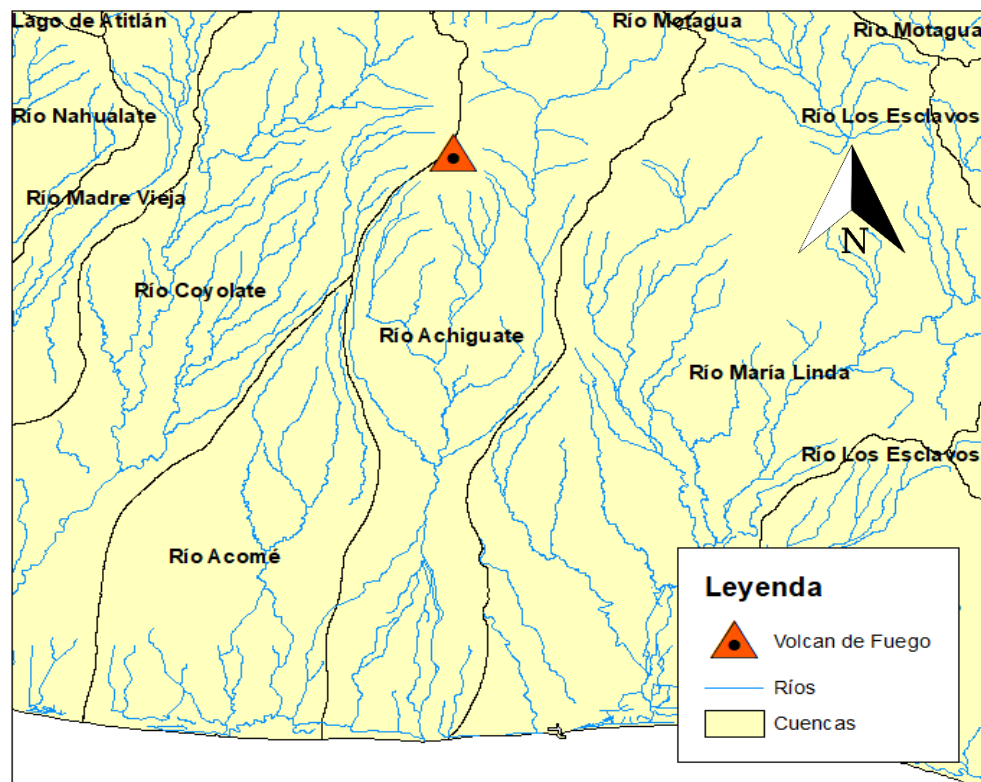
Fuente: Dos Océanos, 2020.

Figura 4. Dirección del oleaje en Puerto Quetzal.

2.1.8. Erupción del volcán de Fuego y su relación con los sedimentos en la Dársena de Puerto Quetzal

Según información del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología e Hidrología (Insivumeh), el volcán de 3,763 m s.n.m. del mar produce ceniza y gas que dispersa en dirección Oeste y Sur-Oeste, entre los departamentos de Escuintla, Sacatepéquez y Chimaltenango.

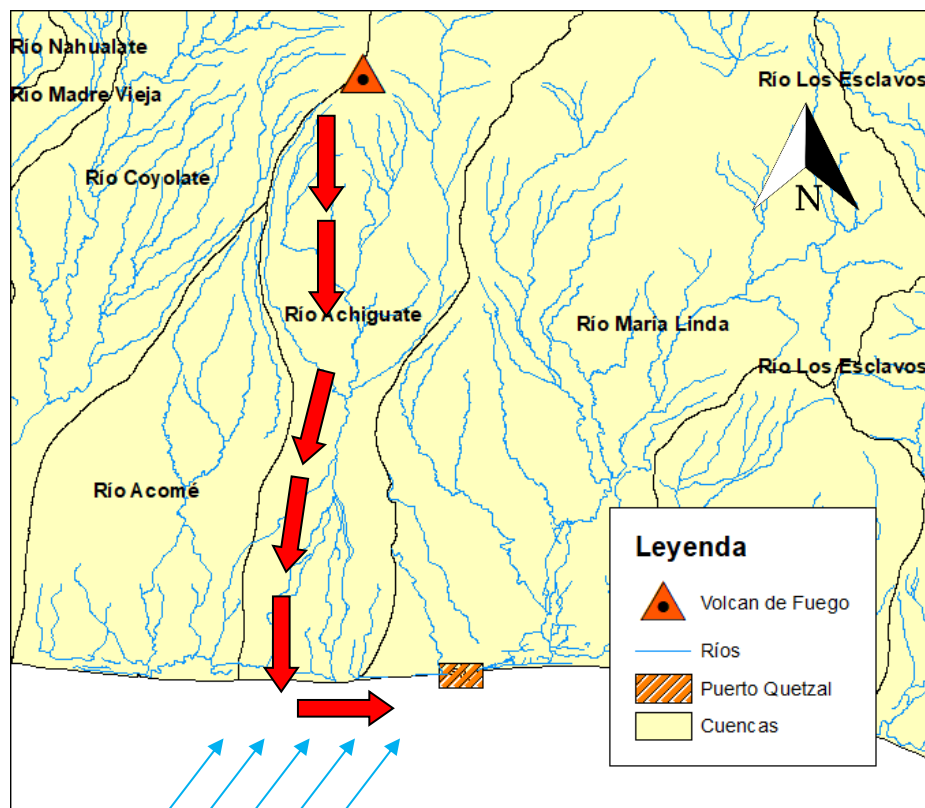
Las erupciones del volcán generan pulsos incandescentes de 100 m a 300 m de altura sobre el cráter y avalanchas débiles que en conjunto expulsan cenizas que afectan en las cuencas del río Achiguate, río Coyolate, río Acomé y río María Linda. Tal como se muestra en la figura 5.



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 5. Ubicación del volcán y las cuencas cercanas.

Una importante cantidad de sedimentos captados en la cuenca a causa de las erupciones (principalmente arena) es transportada por el río Achiguate. El transporte neto según estimaciones de la empresa Dos Océanos S.A., es de 200,000 m³/año a 300,000 m³/año entre sedimentos gruesos y finos, esto agregado a que la cantidad de sedimentos aumenta temporalmente, aumentando la tasa de ingreso de sedimentos a la dársena. El movimiento de los sedimentos dentro de la dársena varía de acuerdo a la frecuencia, dinámica y tipo de embarcaciones que ingresen (Figura 6).



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 6. Traslado de sedimentos de volcán de Fuego en cuenca río Achiguate.

El traslado de estos sedimentos hacia el área del puerto ocurre debido al movimiento de las mareas descrito en el capítulo anterior, en las figuras 3 y 4 específicamente en el inciso 2.1.7.

También se puede observar que los sedimentos provenientes del río María Linda no se dirigen hacia el área de Puerto Quetzal, sino hacia el Este, donde se localiza el mismo, es por ello que no afectan directamente en el incremento de sedimentos en la dársena.

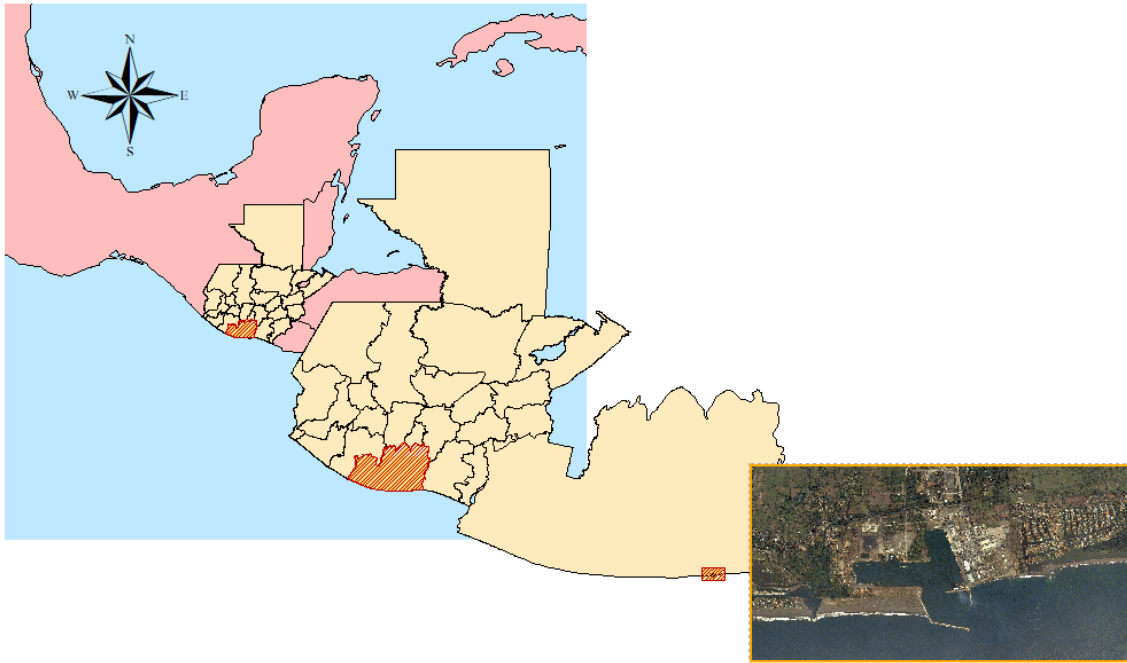
2.2. Marco referencial

Para la presente investigación se describirá y analizará el contexto geográfico, físico, ambiental y fisiográfico para ser fundamento en la discusión y comprensión de los resultados.

2.2.1. Ubicación

El área de Puerto Quetzal se encuentra ubicado en el municipio de San José, del departamento de Escuintla, de la República de Guatemala, con coordenadas geográficas de longitud O 90° 47' 03.7361" y Latitud N 13° 55' 00.0382" (figura 7).

UBICACIÓN PUERTO QUETZAL



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 7. Ubicación Puerto Quetzal.

2.2.2. Dársena

La dársena es la parte resguardada artificialmente de las corrientes marinas, que para la dársena de Puerto Quetzal las estructuras de resguardo artificiales lo constituyen el rompeolas Oeste y el rompeolas Este, ello permite que las embarcaciones puedan fondear, ingresar para cargar y descargar con comodidad contenedores, productos de diferente categoría y personas.

A. Localización

La dársena de Puerto Quetzal se encuentra en las coordenadas geográficas de longitud O 90°47'03.7361" y Latitud N 13°55'00.0382". Dicha dársena se divide en 4

partes para desempeñar funciones diferentes, por lo que mantener la profundidad optima en cada una y un mantenimiento adecuado al uso que se le da es prioritario para el continuo funcionamiento de las actividades portuarias (figura 8).



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 8. División de la dársena en Puerto Quetzal.

Las partes en que se divide la dársena es dársena Oeste, dársena principal (Este o Norte), dársena de maniobras y el canal de acceso.

B. Descripción topográfica

El área topográfica de Puerto Quetzal es una región con pocas pendientes y con diferencia de alturas muy bajas a lo largo de su extensión. No cuenta con montañas o cerros cercanos al puerto. Se encuentra en alturas menores a 2 m s.n.m.

C. Clima

En donde se localiza Puerto Quetzal el clima es tropical húmedo; entre los meses de enero a mayo los valores de temperaturas están en 36 °C - 38 °C, y las mínimas en 18 °C y 25 °C, de junio a diciembre la temperatura está entre 33 °C - 34 °C, y la mínima entre 15 °C y 20 °C, la época de lluvia se manifiesta en los meses de mayo a octubre.

D. Suelos

Los suelos que predominan en la región tienen la capacidad agrícola, además dentro y cercano al puerto es de uso industrial, por lo que se encuentra urbanizado en las áreas más cercanas. (MAGA, 2000)

Los suelos según su clasificación se pueden encontrar en la región los siguientes:

- **Clase I y II: Con capacidad de cultivos agrícolas sin limitaciones.**
- **Clase V: Con capacidad de cultivos agrícolas no arables, pecuarios.**

E. Hidrología

En la región en donde se encuentra Puerto Quetzal existen seis ríos perennes: Achiguate, Botón Blanco, Cristalino, Las Milpas, María Linda y Seco, cuatro riachuelos: Piojoso, El Bosque, Magueyes, y Reposito, accidentes hidrográficos importantes: canal de Chiquimulilla, canal de Ubico; tres lagunas: Amaya, De Los Patos, El Corchal; tres lagunetas: Quitasombrero, Rivera de Chulamar y El Encanto, diez zanjones: Chilate, Las Guabinas, Don Ovidio, Magueyes, El Danto, Marrueco, El Pájaro, San Carlos, El Jobo y Suquite.

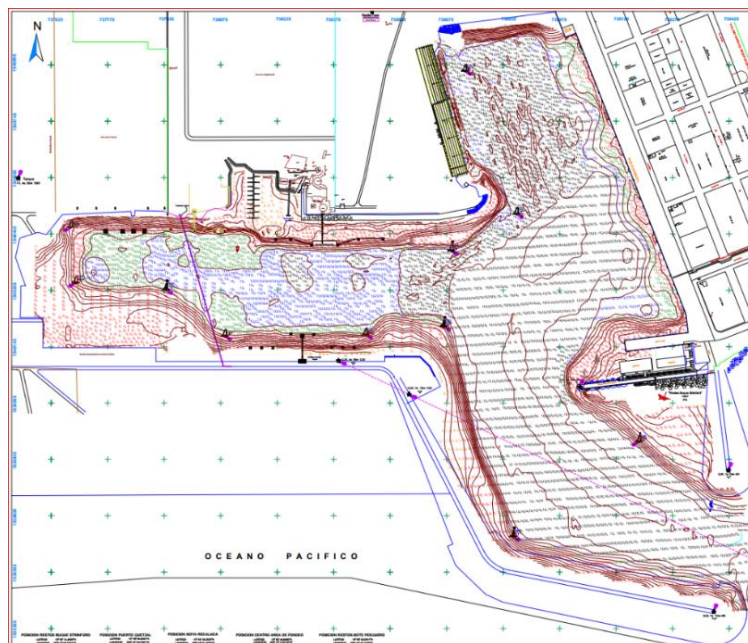
F. Batimetrías

Las batimetrías a utilizar para su análisis fueron realizadas por la Empresa Portuaria Quetzal, a través del departamento de OBIMAR, siendo estos para los años 2010, 2016, 2018 y 2019. Estos a su vez se presentarán en anexo 1 mostrándose en las figuras 9 a 12.



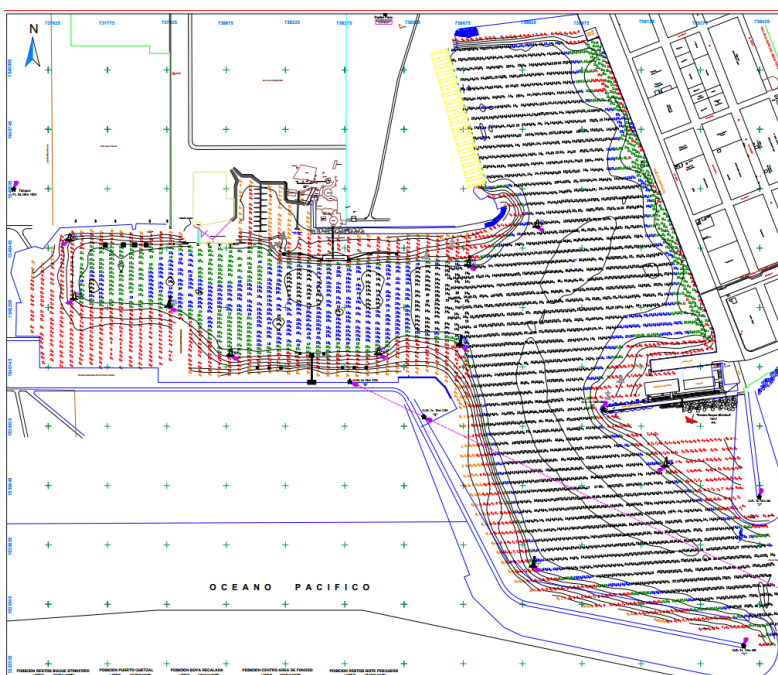
Fuente: EPQ / OBIMAR, 2010.

Figura 9. Batimetría de abril en 2010.



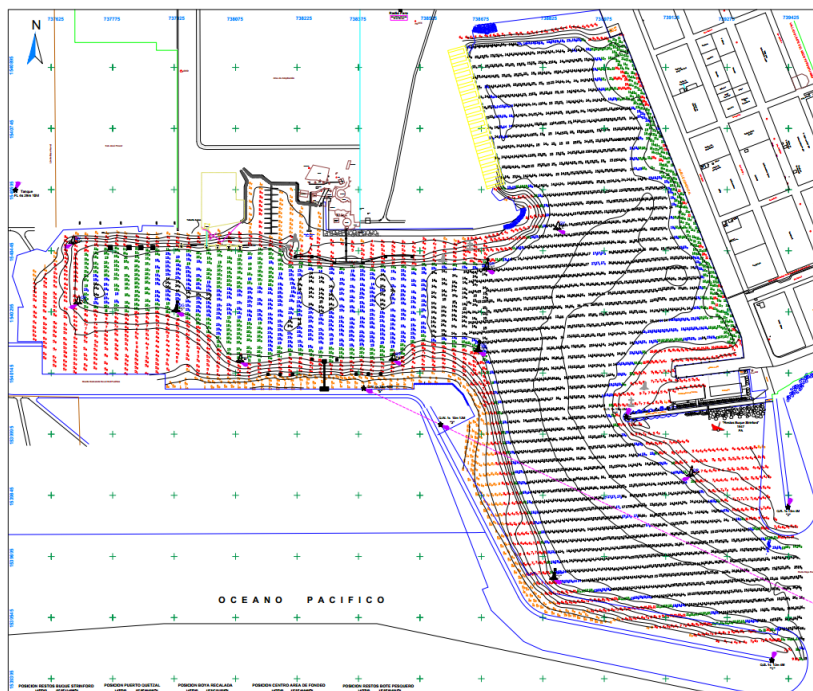
Fuente: EPQ / OBIMAR, 2016.

Figura 10. Batimetría de marzo en 2016.



Fuente: EPQ / OBIMAR, 2018.

Figura 11. Batimetría de junio de 2018.



Fuente: EPQ / OBIMAR, 2019.

Figura 12. Batimetría en el año 2019.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Cuantificar el volumen del azolvamiento dentro del área de la dársena de maniobras de Puerto Quetzal en los últimos 10 años y la disminución generada en la profundidad de navegación.

3.2. Objetivos específicos

1. Establecer las profundidades actuales dentro del área de la dársena de maniobras de Puerto Quetzal.
2. Calcular el volumen de azolve de sedimentos acumulados durante los últimos 10 años, dentro del área de la dársena de maniobras de Puerto Quetzal.
3. Realizar un análisis comparativo de las batimetrías realizadas durante los últimos 10 años, dentro del área de la dársena de maniobras de Puerto Quetzal.
4. Ubicar las áreas con menor profundidad de navegación dentro de la dársena de maniobras de Puerto Quetzal, por efecto del azolvamiento de los últimos 10 años.
5. Generar información que permita planificar acciones para mantener la profundidad adecuada y segura de navegación dentro del área de la dársena de maniobras de Puerto Quetzal.

4. METODOLOGÍA

El análisis y síntesis son procesos que permiten al investigador conocer la realidad que desea estudiar. El análisis maneja juicios, es un proceso de conocimiento que se inicia por la identificación de cada una de las partes que caracterizan una realidad, podrá establecer la relación causa-efecto entre los elementos que componen el objeto de investigación. La síntesis considera los objetos como un todo, la interrelación de los elementos que identifican el objeto. El método que emplea el análisis y la síntesis consiste en separar el objeto de estudio en dos partes y, una vez comprendida su esencia, construir un todo. El análisis y síntesis son dos procesos que se complementan en uno.

Para el desarrollo de la investigación se realizaron 4 fases que mediante análisis y síntesis permitió hacer comparaciones entre las diferentes batimetrías existentes de los años 2010, 2016, 2017, 2018 y 2019 años posteriores al dragado del año 2009, complementadas con una fase de campo de verificación de puntos, para generar datos de isobatas por medio de superficies digitales en el Software AutoCAD®, y obtener la estimación del azolvamiento en la dársena de maniobras de Puerto Quetzal en los últimos 10 años principalmente por la influencia de la corriente superficial del río Achiguate, Escuintla. A continuación, se describe el conjunto de procedimientos a utilizar para alcanzar los objetivos propuestos.

4.1. Fase I

Como parte del conocimiento del área de trabajo y la contextualización del área se planteó una primera fase de recopilación de información, la delimitación del espacio geográfico que ocupa Puerto Quetzal, su infraestructura y específicamente el área de estudio que lo constituye la “Dársena de Maniobras”, consultando en fuentes secundarias los aspectos más relevantes del área, para esta fase se realizaron las siguientes acciones:

4.1.1. Revisión de material cartográfico

Se consultaron las hojas cartográficas 2057 IV Puerto San José (U.S. National Imagery and Mapping Agency, Series E754) a escala 1:50,000 y ortofotos que sirvieron de referencia para la elaboración de mapas preliminares y obtención de datos de pendientes, corrientes superficiales, accidentes geográficos, ubicación de la dársena, existencia de vías de acceso e infraestructura sobresaliente. La hoja cartográfica consultada de adjunta en el anexo 2 en la figura 22A.

4.1.2. Establecimiento y delimitación del área de estudio

Con mapas propiedad de Portuaria Quetzal se obtuvieron planos de la división estratégica del puerto, realizando chequeos de linderos para lo que se requirió el uso de equipo topográfico estación total para definir algunas áreas principalmente en las colindancias de la dársena, obteniendo con ello coordenadas de ubicación para establecer los verdaderos límites del área en estudio, ubicando y delimitando el área de estudio.

4.1.3. Obtención de información biofísica del área

Se obtuvo información climática en la estación meteorológica existente en el área, dentro de los que serán de interés los promedios anuales de temperatura y precipitación. Así también se obtuvo información del relieve considerando la pendiente y la altitud como factores a tomar en cuenta, consultando hojas cartográficas 2057 IV Puerto San José a escala 1: 50,000 del área.

4.1.4. Evaluación inicial

Se realizó el mapeo de los recursos existentes en el área, su distribución espacial y la obtención del mapa base que fue la guía para realizar las actividades siguientes.

Las determinaciones de las características biofísicas y los recursos también fueron estudiados a profundidad en esta fase con su respectiva verificación en campo de la información obtenida.

Se realizó un análisis participativo de los principales actores dentro de la Portuaria Quetzal partiendo del estudio del organigrama administrativo, estudio del manual de funciones, así como se estableció que la unidad de asesoría y planificación es una de las unidades que tienen injerencia directa en el sistema de planificación dentro del puerto, considerándola en este proceso como unidad de apoyo.

Otras unidades importantes en el desarrollo de las batimetrías fueron la gerencia de operaciones, la división de operaciones marítimas y el departamento de observación e investigación marítima, siendo ellos actores directos.

4.2. Fase II

Acá se definió la dársena de Puerto Quetzal como el área de estudio, delimitando el área para esta investigación sobre el azolvamiento, estableciendo la dinámica del litoral del pacífico en Guatemala, el paso de sedimentos en la dársena, la interacción constante entre ellos y la variación del volumen de sedimentos, además considerando situaciones provocadas por eventos naturales que pueden influir, como lo pueden ser sismos, erupciones volcánicas y tormentas; y eventos máximos en los elementos climatológicos de la región, para el presente caso el registro de la erupción del volcán de Fuego ocurrida en el año 2018.

Se consultó con los diferentes actores seleccionados en la fase anterior dentro de Puerto Quetzal y se recolectó la información relacionada con batimetrías, corrientes marinas, viento y estudios previos en la dársena, dentro de ellos planes, mediciones, recursos, infraestructura, equipos existentes, etc.

En esta fase se contó con la definición del área en estudio, antecedentes históricos de las batimetrías realizadas desde el año 2009 a la fecha, contando con la de los años 2010, 2016, 2018 y 2019 que fueron la base para definir las acciones a desarrollar en la siguiente fase. Además, se realizaron consultas especializadas y recorridos de campo donde se conocieron los bancos de arena y puntos referenciales de nivel que fueron la base para la definición de la cota cero durante la realización de cada una de las batimetrías y que permitió estimar las profundidades. A todas estas actividades se adicionó información recabada de fuentes bibliográficas, técnicas y científicas.

La línea del tiempo para el análisis tiene su inicio en el año 2009, lo que permitió identificar y localizar los estudios realizados con relación a batimetrías, azolvamiento, así como las acciones realizadas dentro de la dársena hasta la presente fecha. También de los hechos trascendentales como la erupción del volcán de Fuego en el año 2018 que se consideró de importancia dada la cantidad de lahares que fueron depositados dentro del cauce del río Achiguate y que posteriormente fueron acarreados por las corrientes naturales del río, revisando registros, planes operativos, etc., se construyó una lista de eventos importantes para la historia de Puerto Quetzal hasta llegar al año 2021.

Se dedicó principal énfasis en acciones que afecten el azolvamiento dentro de la dársena de maniobras. Esta actividad incluyó preguntas claves, por ejemplo, las fechas de realización de estudios batimétricos, actividades de dragados realizados desde la creación de la portuaria y algunos eventos históricos de trascendencia como efecto de erupciones, terremotos o desastres naturales, el objetivo fue ubicar fechas importantes relacionadas con eventos que pudieron ocasionar cambios en el

azolvamiento, reforzando con información documental, bibliográfica y testimonial que sustente la línea del tiempo elaborada.

El corte transversal histórico permitió visualizar de manera gráfica y numérica, como las tendencias en la historia han transformado el relieve de la superficie del fondo de la dársena de maniobras. Para esta actividad se utilizó un mapa actualizado sencillo del área en estudio, sobre él se trabajó con el apoyo de personal técnico especializado, la unidad de asesoría y planificación, la dirección de operación y mantenimiento y el Departamento de Observación e Investigación Marítima (OBIMAR), siendo necesario hacer un recuento histórico de eventos durante los 37 años de existencia de Puerto Quetzal.

Al final se obtuvo un mapa histórico y su análisis permitió conocer cuáles fueron las tendencias o fuerzas dominantes más importantes en el pasado y que impactaron en la zonificación.

4.3. Fase III

Fase de análisis mediante un proceso de gabinete donde se digitalizaron las batimetrías a modelos 3D AutoCAD®, se tabularon datos, se ordenó información por periodos o años, se procesó la información obtenida en las fases anteriores, básicamente lo relacionado con los estudios batimétricos y las cotas indicadas luego del último dragado del año 2009, para posteriormente realizar el proceso de cálculo, dibujo, discusión y análisis de los datos y planos obtenidos.

Para realizar este procedimiento se colocó el plano base sobre el que se plasmaron los datos de las batimetrías en una hoja nueva utilizando el software Civil AutoCAD®, se procede a colocarla los datos en diferentes colores para que no afecte la interacción de nuevos elementos a posicionar unos encima de otros, se requirió la modificación de tamaño y unificación de escalas y así mantener la precisión de las coordenadas X,

Y y Z para los fines de la investigación. Utilizando las herramientas del programa 3D AutoCAD® se coloca sobre cada punto definido en el plano la información de su localización y profundidad con respecto al lecho marino.

Cada componente de la investigación requirió de análisis y cálculo, principalmente que existieron batimetrías realizadas con equipo Monohaz y otras con equipo Multihaz, lo cual hizo indispensable la homogenización de los datos para poder hacer compatibles ambas batimetrías, siendo necesaria la interpolación de datos para el caso de las batimetrías Monohaz.

Es muy importante la interpolación de los datos de batimetrías, ya que se pretendía utilizar las isobatas generadas por los puntos de cada batimetría e interactuar esos datos con isobatas de otra batimetría realizada en la misma área, pero en diferente año, en ese sentido, se realizó el mismo procedimiento para cada plano y para cada año, se almacenaron en formato DWG que permite la interacción de la información de cada punto para la formación de isobatas y que puedan ser abiertos y sobrepuestos en 3D AutoCAD® manteniendo la misma escala y posición entre archivos.

Para analizar cada uno de los aspectos mencionados, se hizo una comparación entre las batimetrías de los años 2010, 2016, 2018 y 2019 realizadas por la Empresa Portuaria Quetzal, sobreponiendo cada una de ellas sobre el plano base del año 2009, colocando primero la batimetría del año 2010, luego la del año 2016, luego la del año 2018 y finalmente sobreponiendo la del año 2019.

Con la sobreposición de la información de altura (cotas) entre años se obtiene una diferencia de cota acumulada para cada punto geoposicionado en un periodo de tiempo determinado (2009 – 2019), esta diferencia de cotas sirvió para obtener un volumen estimado para el área específica de interés, además de obtener el plano de isobatas actual (visto en planta) que permitirá guiar por los lugares de mayor profundidad a las embarcaciones que ingresen a la dársena sin riesgo de encallar, además proporcionó datos de volumen por áreas específicas para actividades de

mantenimiento como lo son los dragados; específicamente de sedimentos que han variado su ubicación y cantidad dentro de la dársena en el transcurso del tiempo.

Se obtuvieron mapas de isobatas con la ayuda de software Civil AutoCAD® 3D, para conocer el perfil del área de la dársena de maniobras utilizando las coordenadas X,Y, se realizaron cortes y con la coordenada Z se puede conocer el estado actual del azolvamiento, así como de los años anteriores y posteriormente se compararon las diferentes batimetrías que dieron superficies subacuáticas para los años 2010, 2016, 2018 y 2019, graficando el cambio durante los últimos 10 años y resaltando las diferencias de azolvamiento, definición de áreas de mayor acumulación geoposicionadas y cálculo de volúmenes.

La utilización de la investigación como un instrumento técnico servirá a Empresa Portuaria Quetzal para hacer propuestas guiadas de mantenimiento, con el fin de facilitar la movilidad de los buques dentro de la dársena de manera segura y deberá traducirse en acciones posteriores luego de las consideraciones de los resultados obtenidos y definir si existe o no el suficiente azolvamiento que pueda poner en riesgo el movimiento de los buques dentro de la dársena de maniobras acorde a los calados requeridos en la actualidad.

Se obtuvo mapas de isobatas, perfil, cálculo de áreas, geoposicionamiento de azolvamientos y volúmenes dentro del área de la dársena de maniobras.

4.4. Fase IV

Finalmente, en la síntesis para la redacción final del documento, se requirió de retroalimentación, ajuste y corrección de información. La redacción del documento final que denota los volúmenes azolvados y desplazados dentro de la dársena y la estimación de la profundidad de navegación específicamente en la dársena de maniobras de Puerto Quetzal en los últimos 10 años principalmente por influencia de

la corriente superficial del río Achiguate ya que se pudo evidenciar el incremento considerable luego de la erupción del volcán de Fuego en el año 2018.

La parte de síntesis de la información consistió en revisar los eventos máximos naturales que han sucedido a partir del año 2009, considerando ese año por la realización del último dragado en el Canal de acceso (a -16 m MLWS) y la dársena de maniobras (a -14 m MLWS). Luego de esto las profundidades se debieron mantener relativamente al mismo nivel, sin embargo, debido a la dinámica de las mareas en la región y erupciones volcánicas, se vio afectada en la cantidad de sedimentos que se encontraba en la costa, provocando cambios en el ingreso a la dársena que deberán ser evaluados.

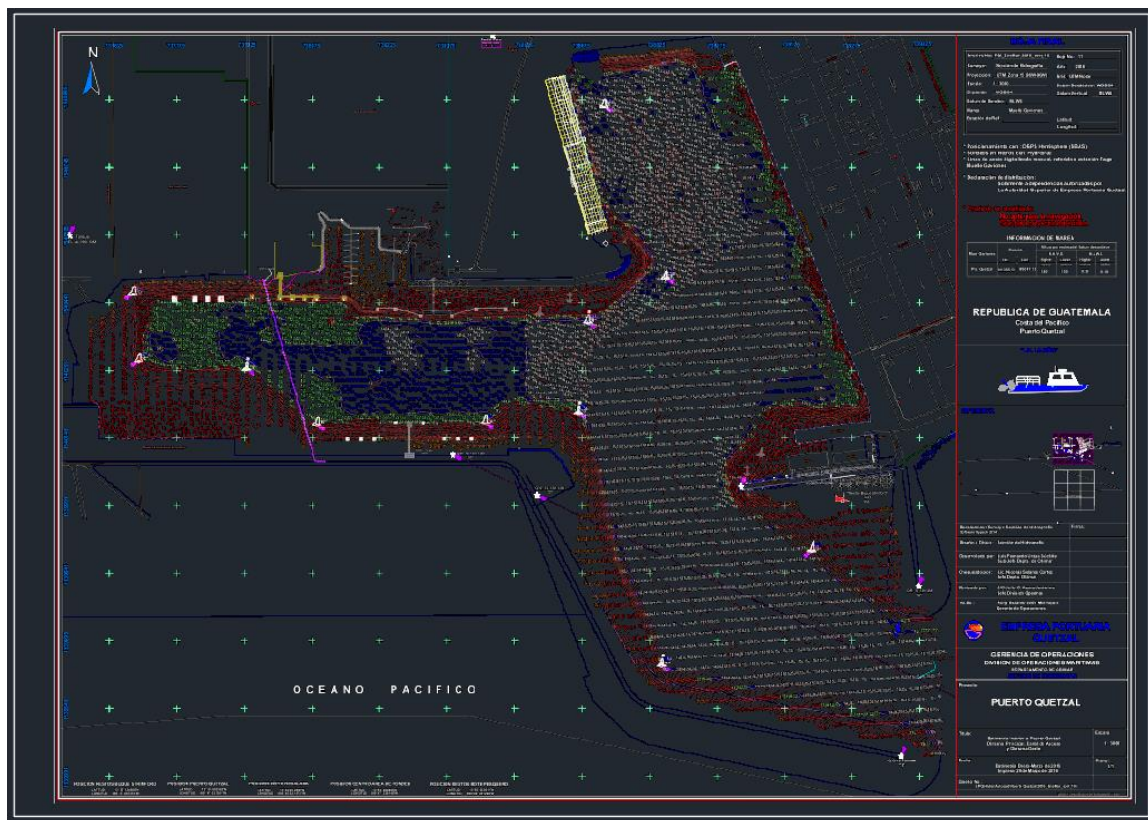
El análisis de esta información histórica ayudó a definir que tanto y de qué forma ha sido afectada la dársena en el tiempo desde su último dragado. Ubicar las áreas y puntos geoposicionados de mayor azolvamiento para direccionar el movimiento de los buques sin riesgo de encallar y planificar actividades de mantenimiento tendientes a mantener las cotas adecuadas o profundidades adecuadas para continuar brindando servicio por más años acorde a los calados requeridos. Además de la información de las áreas afectadas por los sedimentos, se obtiene los perfiles comparativos entre las diferentes batimetrías que ayudan a visualizar los cambios con forme al paso de los años en la dársena que podrán ser utilizados como estadísticas e información importante en futuras planificaciones.

4.5. Ejecución

Para realizar los cálculos de volumen en el software Civil AutoCAD® 3D se requirió de datos en Z (puntos de elevación marítima) de las batimetrías existentes para los años 2010, 2016, 2018 y 2019. Debido a que estos datos se encontraban en formato PDF se procedió a la digitalización de los mismos y obtener planos digitalizados, indicando en el programa las coordenadas (X y Y) para indicar la posición de cada punto y la

distancia Z (altura) para que el software pudiera generar superficies digitales o isobatas para una mejor apreciación y precisión al realizar los cálculos de comparación.

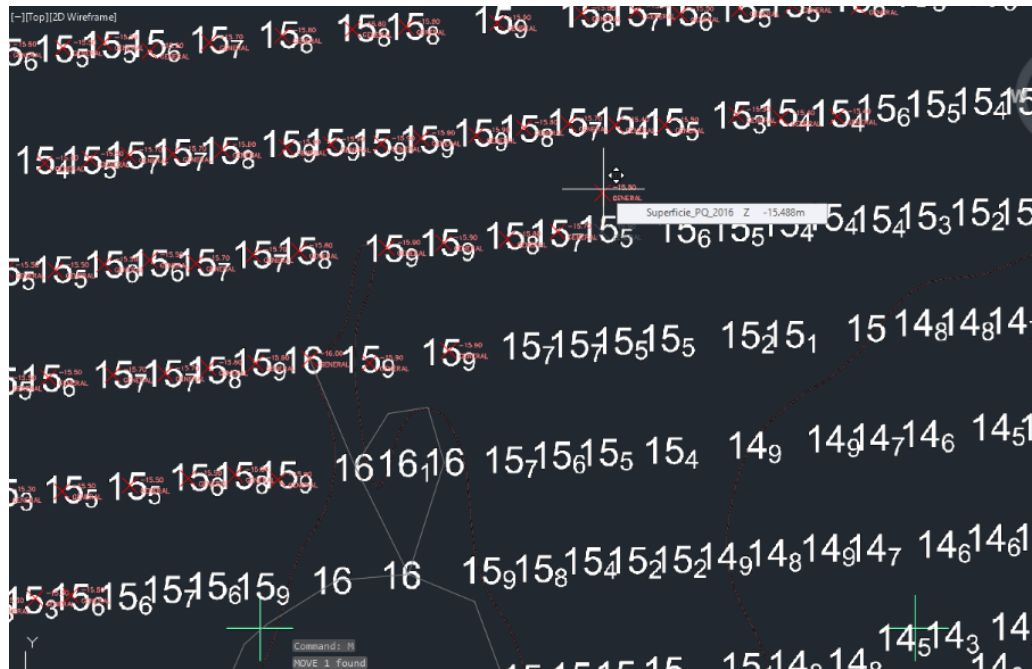
Por último, se utilizó cada isobata generada en el software para compararse entre sí, relacionando las áreas generadas por las coordenadas “X” y “Y”, tomando también la profundidad “Z” y así obtener valores volumétricos en las dimensionales de metros cúbicos. A continuación, se muestra las imágenes del proceso de digitalización y cálculo de la figura 13 a 16.



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 13. Colocación de plano en AutoCAD®.

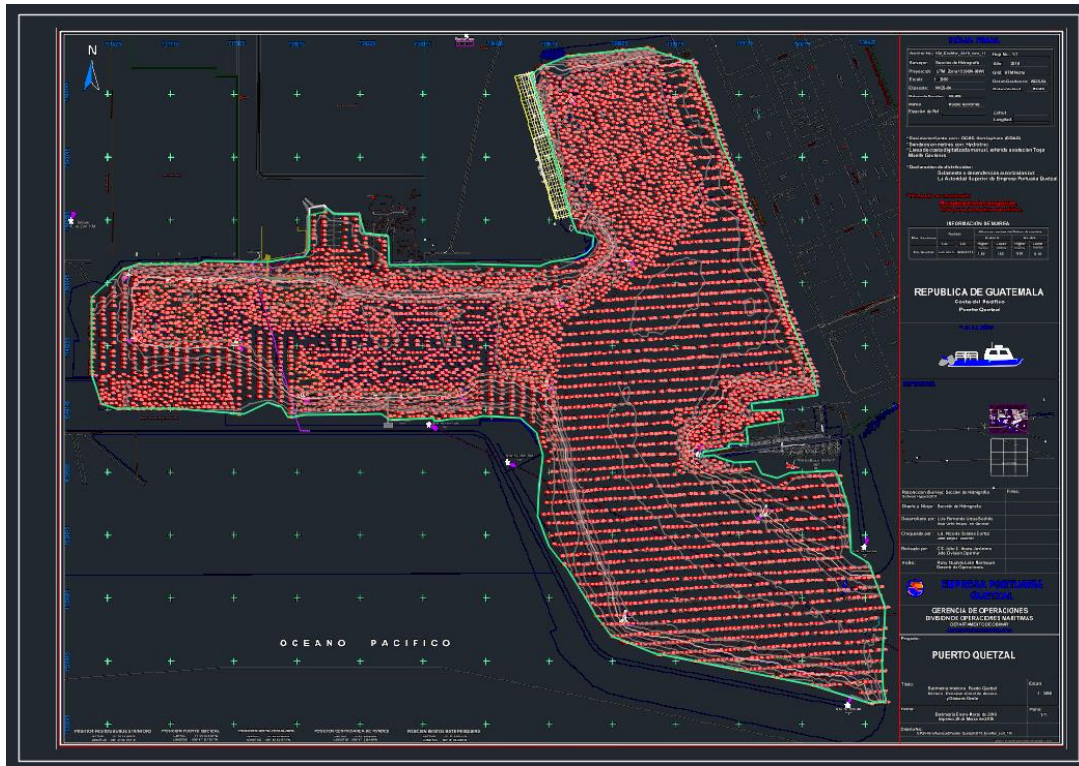
Ya teniendo el plano colocado de fondo en juego AutoCAD® se procedió a colocar los puntos con información de Z (elevación) y las coordenadas X y Y (ubicación) en cada símbolo dentro del plano de la dársena como se muestra en la figura 14.



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 14. Asignación de altura y posición sobre plano.

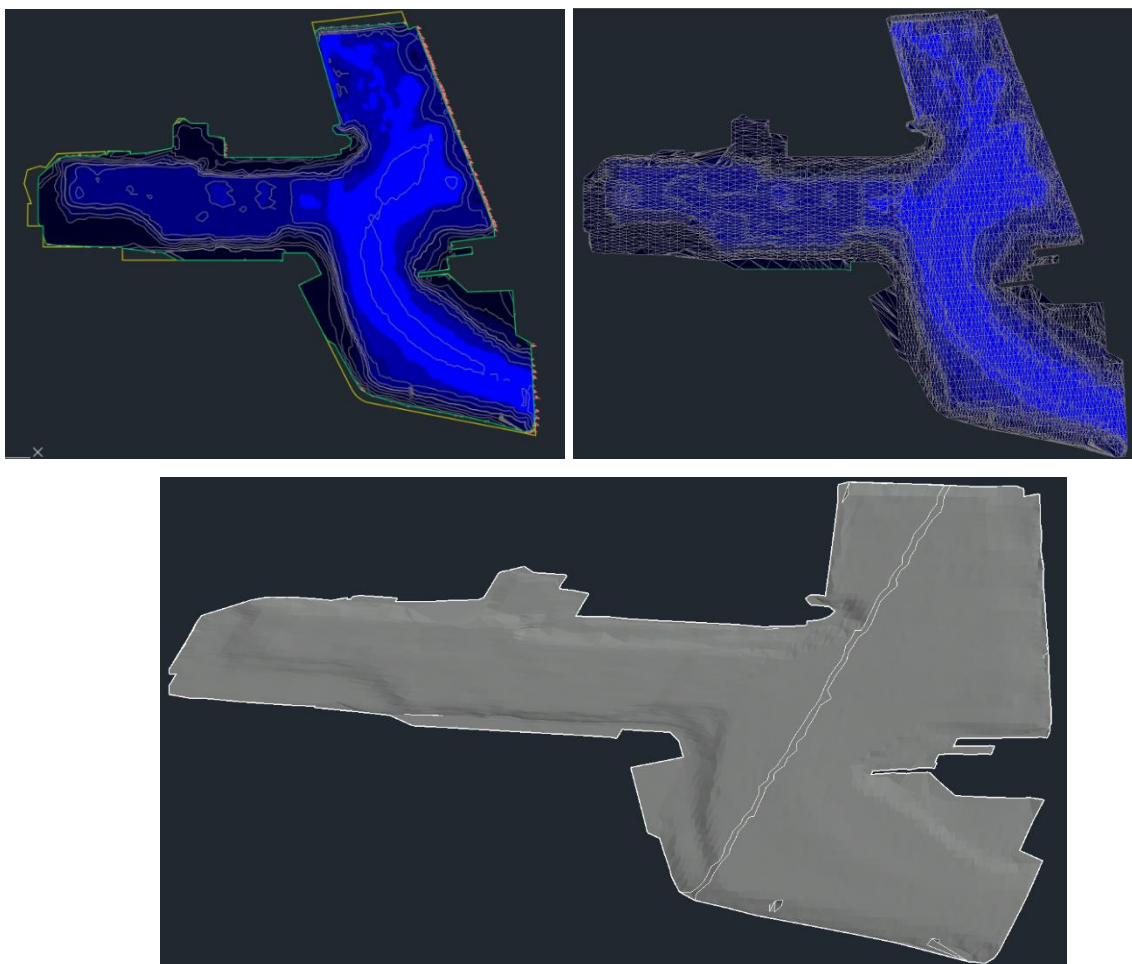
Al colocarse sobre cada punto encontrado en el PDF, se puede recrear de forma digital la información insertada manualmente de forma precisa, y estos puntos al ser congruentes a la batimetría oficial de la Empresa Portuaria Quetzal, se puede obtener datos más fiables al momento de comparar entre planos de la misma fuente. Al finalizar el proceso de insertar los datos, el plano de puntos digitales queda de la siguiente forma (figura 15):



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 15. Planta de dársena con todos los puntos asignados.

Posterior al proceso de colocar los puntos en X y Y, se elimina el fondo de PDF y se procede a la elaboración de las isobatas digitales para que el software pueda utilizarlo y compararlo con otras superficies de igual formato. Las superficies digitales resultantes quedan de la siguiente manera (figura 16):



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 16. Vista de superficies digitales o isobatas generadas.

Las isobatas elaboradas para los años 2010, 2016, 2018 y 2019 se muestran en el anexo 3 (de la figura 23A a figura 26A).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presenta los resultados de la síntesis, comparación y análisis de la bibliografía, cálculos y perfiles generados.

5.1. Profundidad media en cada área en la dársena

A continuación, se presentan las profundidades promedio de cada área analizada en la dársena, tomando en cuenta que existe variación entre las profundidades que oscilan entre - 11.50 m a - 16.00 m del año 2010 a 2019 en cada año debido al paso constante de los buques y el ingreso de sedimentos por la marea (cuadro 1).

Cuadro 1. Profundidades comparación de la batimetría entre los años en análisis.

Dársena	Año 1980 (construcción)	Año 2009 (dragado)	Año 2010	Año 2016	Año 2018	Año 2019
Oeste	-5.00 m	-11.00 m	-12.90 m	-13.10 m	-12.90 m	-13.00 m
Maniobras	-11.00 m	-14.00 m	-14.90 m	-15.60 m	-15.30m	-15.50 m
Norte	-11.00 m	-11.00 m	-11.50 m	-13.40 m	-14.20 m	-13.90 m
Canal Acceso	-15.00 m	-16.00 m	-16.00 m	-15.60 m	-15.80 m	-15.60 m

Todas las profundidades de navegación mencionadas en el cuadro 1 se encuentran referenciadas al nivel MLWS (Nivel de bajamar, media SICIGIAS o Mean Low Water Springs).

5.2. Volumen de sedimentos en la dársena

Los volúmenes en metros cúbicos obtenidos en la comparación de las superficies digitales generadas en el software Civil AutoCAD® 3D para cada área de la dársena se muestran en los cuadros 2 y 3.

Cuadro 2. Comparación de la batimetría en 2010 con respecto a los otros años en análisis.

	2010-2016			2010-2018			2010-2019		
Dársena	Área superficial (m ²)	Sedimento	Desplazado	Área superficial (m ²)	Sedimento	Desplazado	Área superficial (m ²)	Sedimento	Desplazado
General	813,378.5	105,187.3	1,053,040.7	856,476.0	147,054.4	1,134,913.6	861,393.4	164,121.1	1,175,748.4
Oeste	397,547.7	102,682.8	222,878.7	396,761.4	115,640.6	273,588.4	400,131.9	146,520.3	274,004.4
Maniobras	155,658.2	15,183.7	132,910.0	155,658.2	23,409.5	121,095.9	155,658.2	24,968.3	129,391.6
Norte / Este	299,652.6	8,622.2	695,932.2	296,316.2	5,112.2	739,683.0	297,604.3	5,921.6	775,144.1

Cuadro 3. Comparación de la batimetría entre los años en análisis 2016, 2018 y 2019.

	2016-2018			2016-2019			2018-2019		
Dársena	Área superficial (m ²)	Sedimento (m ³)	Desplazado (m ³)	Área superficial (m ²)	Sedimento (m ³)	Desplazado (m ³)	Área superficial (m ²)	Sedimento (m ³)	Desplazado (m ³)
General	1,240,123.1	301,491.7	241,455.1	1,242,995.2	319,877.5	263,961.0	123,624.9	138,494.3	123,624.9
Oeste	414,728.0	141,150.4	76,645.7	417,158.8	123,741.5	94,432.1	414,515.6	36,173.8	61,095.7
Maniobras	156,990.7	13,652.7	28,791.9	156,990.7	18,867.4	26,697.9	156,990.7	15,045.1	6,544.2
Norte / Este	300,984.6	90,397.7	32,439.4	301,086.1	117,584.1	30,158.3	305,412.0	47,350.8	14,103.3
Canal Acceso	367,527.7	56,343.1	103,616.5	367,728.5	59,660.7	112,664.0	367,106.9	39,920.7	41,862.6

Tras la comparación, los perfiles comparativos entre superficies se muestran en el anexo 4 (figuras 27A a 29A).

5.3. Análisis comparativo de las batimetrías

5.3.1. Dársena principal / Norte / Este

En los cuadros 2 y 3 se puede observar como con el transcurso de los años los sedimentos han aumentado ligeramente en esta área, por ejemplo, entre los años 2010-2016 de 8,622.20 m³ (aproximadamente 1,437.03 m³ por año), entre los años 2016-2018 de 90,397.70 m³ (45,198.85 m³ por año) y en entre los años 2018-2019 de 47,350.8 m³.

La cantidad de sedimentos desplazados de esta área en el cuadro 2 se observa cantidades grandes en comparación con años más recientes, esto es debido a que en el transcurso de esos años se han realizado pequeños dragados periódicos en comparación a años anteriores al 2016, lo que también explica el poco avance del azolvamiento en esta región donde navegan y atracan buques de mayor calado.

Cabe destacar que las mayores profundidades de esta área se encuentran del lado de APM Terminals, empresa que ha dado pequeños dragados para mantener profundidades relativas en sus atracaderos.

5.3.2. Dársena de maniobras

En los cuadros 2 y 3 se puede observar como con el transcurso de los años los sedimentos han aumentado ligeramente en esta área, por ejemplo, entre los años 2010-2016 de 8,622.2 m³ (aproximadamente 1,437.03 m³ por año), entre los años

2016-2018 de 90,397.7 m³ (45,198.85 m³ por año) y en entre los años 2018-2019 de 47,350.8 m³.

Esta relación del aumento de sedimentación en el área de maniobras y disminución de los sedimentos desplazados a otras áreas es debido a la disminución del ingreso de buques a la dársena y a pesar que estos cada vez poseen una mayor capacidad de carga, se sigue manteniendo calados similares para navegar con seguridad en la dársena.

5.3.3. Dársena Oeste

Siguiendo la ruta de análisis de áreas de la dársena, entre los años 2010-2016 de 102,682.80 m³ (aproximadamente 17,113.80 m³ por año), entre los años 2016-2018 de 141,150.40 m³ (70,575.20 m³ por año) y en entre los años 2018-2019 de 36,173.80 m³. Se puede observar que la sedimentación en el área de la dársena Oeste se ha mantenido relativamente similar, esto debido a su poca profundidad, a su uso constante y periódico (no varía en cantidad y especificaciones de buques en esta área).

Al separar por áreas la batimetría analizada se puede observar que cada parte tiene un cambio significativo en la dinámica de los sedimentos, causando que existan variaciones entre los sedimentos que se azolvan y los que se transportan, ya sea por mantenimiento o por el movimiento que causa en la superficie la marina el paso de los buques en el área.

5.4. Ubicación de áreas con menor profundidad dentro de la dársena de maniobras

En el cuadro 1 se puede observar que las áreas que tienen menor profundidad en la dársena norte (de -13.90 m en el 2019) y la dársena oeste (de -13.00 m en el 2019).

La dársena oeste es el área con menores profundidades en Puerto Quetzal, debido a que en esta área ingresan buques de poco calado y también ha tenido poco mantenimiento de dragado.

La dársena norte también tiene una de las menores profundidades, pero esto es por un motivo diferente al de la dársena norte, ya que aquí si navegan buques de mayor calado y con mayor frecuencia, lo que influye en el movimiento de los sedimentos que son arrastrados hacia esta área con facilidad.

5.5. Acciones para mantener la profundidad adecuada y segura de navegación dentro del área de la dársena de maniobras

Como parte de las acciones que se puede tomar en Puerto Quetzal para evitar interrumpir las operaciones por el aumento de sedimentos en la dársena, se mencionará las siguientes:

- Realizar dragados continuos en las áreas de la dársena de Puerto Quetzal más transitadas.
- Dar monitoreo constante a los niveles de profundidad en la dársena norte, oeste y de maniobras.
- Crear sistemas de alerta temprana por eventos naturales para evitar que buques puedan encallar dentro de la dársena.
- Monitorear los eventos causados por la actividad del volcán de Fuego en el área.

5.6. Granulometría de los sedimentos en la dársena

Debido a que no se realizó pruebas de campo, se tiene los datos de la granulometría de los sedimentos a través de documentos elaborados por la empresa Dos Océanos, en la cual indica que “partículas de limo ($10\ \mu\text{m}$ - $60\ \mu\text{m}$), pero también una pequeña cantidad de arena muy fina ($60\ \mu\text{m}$ - $150\ \mu\text{m}$)” son parte de los sedimentos arrastrados desde la playa al Oeste del Puerto Quetzal en dirección Nor-Noreste por el oleaje hacia la dársena y depositadas en sus distintas áreas al norte, oeste, maniobras y canal de acceso.

En el caso de la erupción del volcán de Fuego, aumentó la cantidad de sedimentos descargados por el río Achiguate, aumentando temporalmente las concentraciones de sedimento en el agua y por lo tanto también de material fino que ingresa a la dársena. Según Dos Océanos, 2018, se estima que el transporte neto anual de sedimentos expulsados por el río es alrededor de $200,000\ \text{m}^3$ a $300,000\ \text{m}^3$, siendo este dato en épocas sin una alta actividad volcánica.

5.7. Situación y relación con el caso del Canal de Suez

Según informa el AP NEWS, el 23 de marzo del año 2021, el canal artificial situado en Egipto que une el mar Mediterráneo con el golfo de Suez (mar Rojo) a través del istmo de Suez, fue bloqueado en ambos sentidos por el buque identificado con el nombre Ever Given, cuya carga es de contenedores de tipo Golden-Class, que por motivos meteorológicos fue golpeado por una rafa de viento que lo hizo encallar de forma perpendicular al curso del agua, bloqueando completamente el canal de Suez, sin la posibilidad de realizar un tramo secundario que permitiera circunvalar al buque.

El bloqueo tardó 6 días lo cual tuvo muchas repercusiones económicas debido a que otros buques no pudieron transitar por el canal. Para agilizar el proceso de liberación del buque encallado se aprovechó una marea de sicigias, la transposición de la arena

sobre la que se hallaba el buque y la acción de 13 botes remolcadores. En la tarde del 29 de marzo se logró liberar el Ever Given de forma que se pudo transitar el canal sin bloqueos.

En relación a la mención de este percance en el Canal de Suez en este estudio de la dársena en Puerto Quetzal, sirve como un antecedente a tomar en cuenta considerando que un buque debe maniobrar en espacios suficientemente amplios, profundos y libres de obstáculos para evitar cualquier percance, para eso es necesario definir los márgenes de la dársena con profundidades navegables, manteniendo pendientes altas en las partes con mayor azolvamiento y teniendo la mayor profundidad permitida en la dársena se maniobras con dragados continuos y estudios batimétricos continuos.

A su vez es necesario dar mantenimiento a las costas litorales en Puerto Quetzal, de manera que puedan evitarse encallado de buques por tener materiales azolvados dentro de las áreas de movimiento y de tránsito. Agregado a todo esto se recomienda tener el equipo y maquinaria adecuada para actuar con mayor prontitud ante eventos de esta naturaleza.

5.8. Efecto de la erupción de volcán de Fuego en 2018

Debido a efectos de la erupción del volcán de Fuego ocurrido el 3 de junio de 2018 se incrementó la cantidad de sedimentos que se transportaron en la cuenca del río Achiguate, el cual fue desfogado por el delta de la desembocadura del río y luego trasladado por el litoral del pacifico en dirección Este.

Esto se demuestra al analizar el cuadro 3, donde se observa que en el área del canal de acceso y parte de la dársena aumenta la cantidad de sedimentos depositados entre los años 2018 a 2019 en comparación a los años anteriores. A continuación, se muestra un cuadro en donde se utiliza los datos del cuadro 3 de las áreas de la dársena

de maniobras y canal de acceso, dividido por la cantidad de años, para estimar un dato unitario de metros cúbicos por año (cuadro 4).

Cuadro 4. Datos de sedimentos anuales en metros cúbicos.

Rango de años utilizados	2016-2018 (3 años)	2016-2019 (4 años)	2018-2019 (1 año)
Oeste	47,050.13	30,935.38	36,173.80
Maniobras	4,550.90	4,716.85	15,045.10
Norte / Este	30,132.57	29,396.03	47,350.80
Canal Acceso	18,781.03	14,915.18	39,920.70

Luego de separar y operar estos datos por la cantidad de años mencionados, se puede observar que entre los años anteriores la sedimentación se mantenía de forma similar para el área de dársena de maniobras, canal de acceso y parte de Norte / Este.

Posterior al año de erupción del volcán de Fuego, es notable el incremento, en el caso del Canal de Acceso se muestra una mayor cantidad debido a que es la región transitoria más cercana y expuesta al paso de sedimentos. Este fenómeno de aumento de la cantidad de azolvamiento en áreas de importancia para la navegación de buques de gran calado hace necesario el mantenimiento constante y considerar la planificación de actividades de dragado adecuado luego de eventos naturales de gran magnitud.

A continuación, se hace un esquema de cómo actúan los sedimentos al momento de ingresar a la dársena en Puerto Quetzal (figura 17).

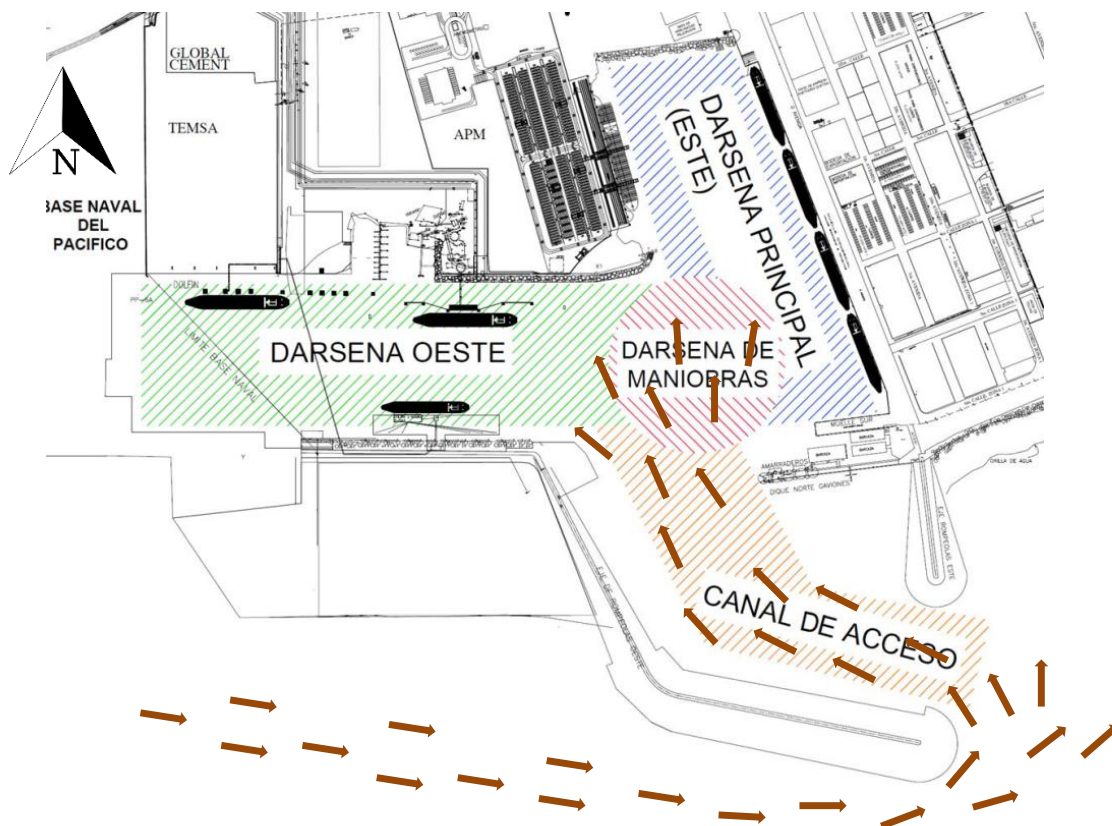


Figura 17. Ingreso de sedimentos a la dársena.

Los sedimentos analizados, provenientes del río Achiguate fueron tomados en cuenta debido a la dirección del oleaje en Puerto Quetzal, ya que los sedimentos arrastrados por este pueden llegar a desplazarse hacia la dársena, sin embargo, los sedimentos provenientes del río María Linda son desplazados hacia el Este por el oleaje, lo que resulta que aleje las partículas provenientes de la cuenca hacia el Este del área.

6. CONCLUSIONES

1. La profundidad registrada de la dársena de maniobras es de -15.50 m para el año 2019, que si bien es cierto garantiza el movimiento de los buques. Se pudo observar que los sedimentos desplazados de esta área se han ubicado en el área Oeste y Norte/Este de la dársena y son los lugares donde existe la mayor sedimentación en Puerto Quetzal entre los años 2016 a 2019 y que son áreas hacia donde son direccionados los buques durante su alineación en la dársena de maniobras para ser ubicados en los atracaderos para su carga y/o descarga.
2. El volumen de sedimentos en el área de la dársena de Puerto Quetzal se cuantifico de dos maneras, el azolvado que es producto de poca dinámica dentro del área, que para el caso de la dársena de maniobras se han azolvado 43,882.10 m³. En los últimos 10 años. También se calculó los sedimentos desplazados que, si bien se retiran de la dársena de maniobras, se sedimentaran en otra área dentro de la dársena de acuerdo al movimiento de los buques y la dinámica propia de las corrientes dentro del puerto y dicho volumen asciende a 175,806 m³.
3. El canal de acceso, ubicado entre los rompeolas, es el área que presenta la mayor cantidad de desplazamiento de sedimentos (112,664.0 m³) en su recorrido entre los años 2016 a 2019, esto debido al mantenimiento y movimiento constante de buques.
4. La dársena oeste y la dársena norte (de -13.00 m y -13.90 m respectivamente en el 2019) son las áreas que se encuentran con la menor profundidad debido a las actividades y el tipo de transporte que circula y el poco manteamiento realizado.
5. El mantenimiento continuo en la dársena de Puerto Quetzal permite que se continúe brindando servicio a los buques a lo largo de los años.

6. El software proporciona un dato aproximado de batimetría, sin embargo, el volumen de sedimento varía de acuerdo a la dinámica del litoral del pacifico, dragados y el acceso de los buques.
7. Los sucesos de carácter natural que afectan el litoral del pacifico influyen en gran manera en Puerto Quetzal, aumentando o disminuyendo el ingreso de sedimentos y, por lo tanto, afectando la maniobrabilidad dentro de la dársena.

7. RECOMENDACIONES

1. Realizar el mantenimiento continuo en las áreas de la dársena de Puerto Quetzal más afectadas, al Norte, área de maniobras y canal de acceso, con el fin de extraer los sedimentos acumulados con el paso del tiempo y con ello permitir que se continúe brindando un servicio seguro a los buques a lo largo de los años.
2. Realizar un análisis periódico del comportamiento de los sedimentos a través de estudios batimétricos realizados por la Empresa Portuaria Quetzal cada año dentro de la dársena.
3. Ante eventos climáticos que puedan alterar el flujo normal de sedimentos es necesario establecer un sistema de alertas y evaluación antes, durante y posterior a la ocurrencia de fenómenos naturales, especialmente a los considerados fuera del rango de la dinámica normal, principalmente movimientos sísmicos, acontecimientos volcánicos, tormentas, huracanes, etc.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. A-ena, L. (2009). *Diccionario Enciclopédico Vox 1*. Barcelona, España, Larousse Editorial, S.L.
2. Angel, Miguel. (2016). *Trabajos de dragado de Puertos, España*. IADC. 3p.
3. Anta Fonseca, S et al comps. (2006). *Ordenamiento territorial comunitario: un debate de la sociedad civil hacia la construcción de políticas públicas*. México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 253 p.
4. Barabas, AM. (2004). *La territorialidad simbólica y los derechos indígenas: reflexiones para el estado pluriétnico*. México, UAEMEX. 105 p.
5. Camilo Werlinger; Krisler Alveal; Héctor Romo. (2004). *Biología Marina y Oceanografía: Conceptos y Procesos. Corrientes marinas y masas de agua I* Wolfgang Schneider; Rosalino Fuenzalida; José Garcés, Capítulo 10.
6. CIRIA/CUR. (1991). *Manual sobre el uso de rocas en la ingeniería costera. Inglaterra*. 1,304 p.
7. Cruz S, JR De la. (1982). *Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento*. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
8. Dos Océanos. (2020). *Estudio Para Mejoramiento De Infraestructura En Portuaria Rompeolas Este Y Oeste De Puerto Quetzal*. Guatemala. Empresa Portuaria Quetzal. Informe 1 y 2.
9. Edardo. (2008). *Partes de un Puerto*. Colombia. Blogspot.com.



10. Elías, S. (2009). Geopolítica de los territorios indígenas en Guatemala, dinámicas de apropiación, identidad y resistencia. Guatemala, USAC, IDEI, *Reflexiones IDEI* 2(2):1-8.
11. Ferreira, J. (2011). *Manual de diagnóstico territorial*. Trad. Cesar Díaz. Guatemala, Serviprensa S.A. 47 p.
12. Grünberg, G. (2002). *Tierras y territorios indígenas en Guatemala*. Guatemala, FLACSO / MINUGUA / CONTIERRA. 168 p. (Col. Dinámicas Agrarias 6).
13. IGN (Instituto Geográfico Nacional, Guatemala). (1987). *Mapa topográfico de Guatemala*. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
14. INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). (2002). *Sistema estadístico nacional: características generales de población y habitación, censo 2002, XI de población y VI de habitación*. Guatemala. 275 p.
15. Juárez, Tere. (2016). *El papel del comercio en la economía de las comunidades y pueblos y el País*. Estados Unidos. SCRIBD. 2p.
16. Larousse. 2016. *Gran Diccionario de la Lengua Española*. Barcelona, España, Larousse Editorial, S.L.
17. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala). (2000). *Taxonomía de suelos de Guatemala, a escala Mapa de Clasificación Taxonómica de los Suelos de la República de Guatemala, a escala 1:50,000*. Guatemala, Guatemala.
18. _____. (2011). *Cuencas Hidrográficas de Guatemala*. 52 P.



19. OBIMAR (Observación e Investigación Marítima, Empresa Portuaria Quetzal, Guatemala). *Batimetrías de los años 2000, 2010, 2016, 2018 y 2019*. OBIMAR – EPQ.
20. Rosas Carrillo, Edmundo G. (2012). *Dragado en Puertos Mexicanos*. México, Instituto Politécnico Nacional. 286 p.O



9. ANEXOS

1. Batimetrías realizadas por la Empresa Portuaria Quetzal de la dársena de Puerto Quetzal en los años 2010, 2016, 2018 y 2019.
2. Hoja cartográfica 2057 IV Puerto San José.
3. Plano de isobatas de la dársena de Puerto Quetzal para los años 2010, 2016, 2018 y 2019.
4. Perfiles comparativos entre batimetrías.
5. Figuras de batimetría generada por AutoCAD®.

1. Batimetrías realizadas por la Empresa Portuaria Quetzal de la dársena de Puerto Quetzal en los años 2010, 2016, 2018 y 2019.

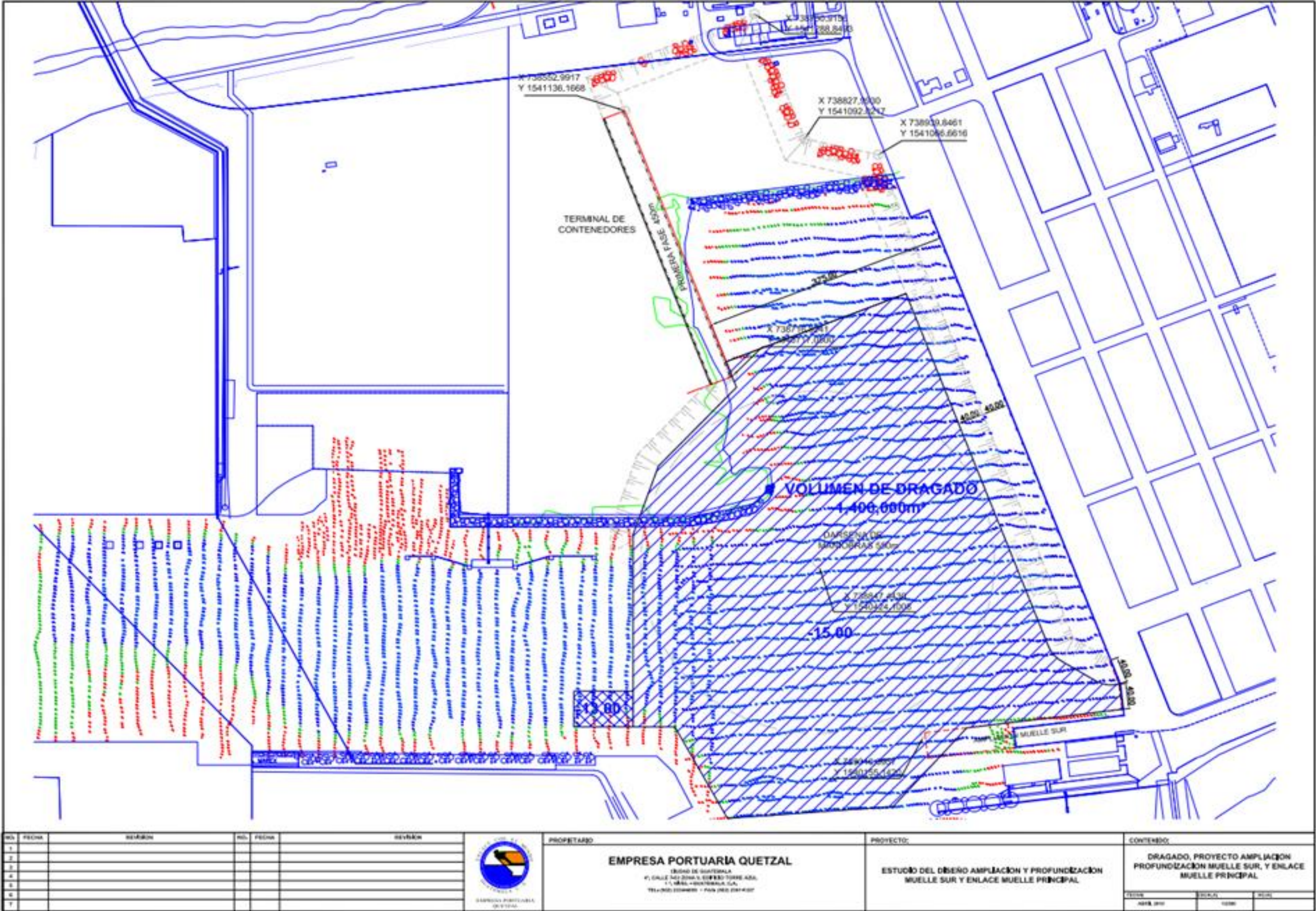


Figura 18. A. Batimetría de abril en el año 2010.

Fuente: EPQ, 2000.

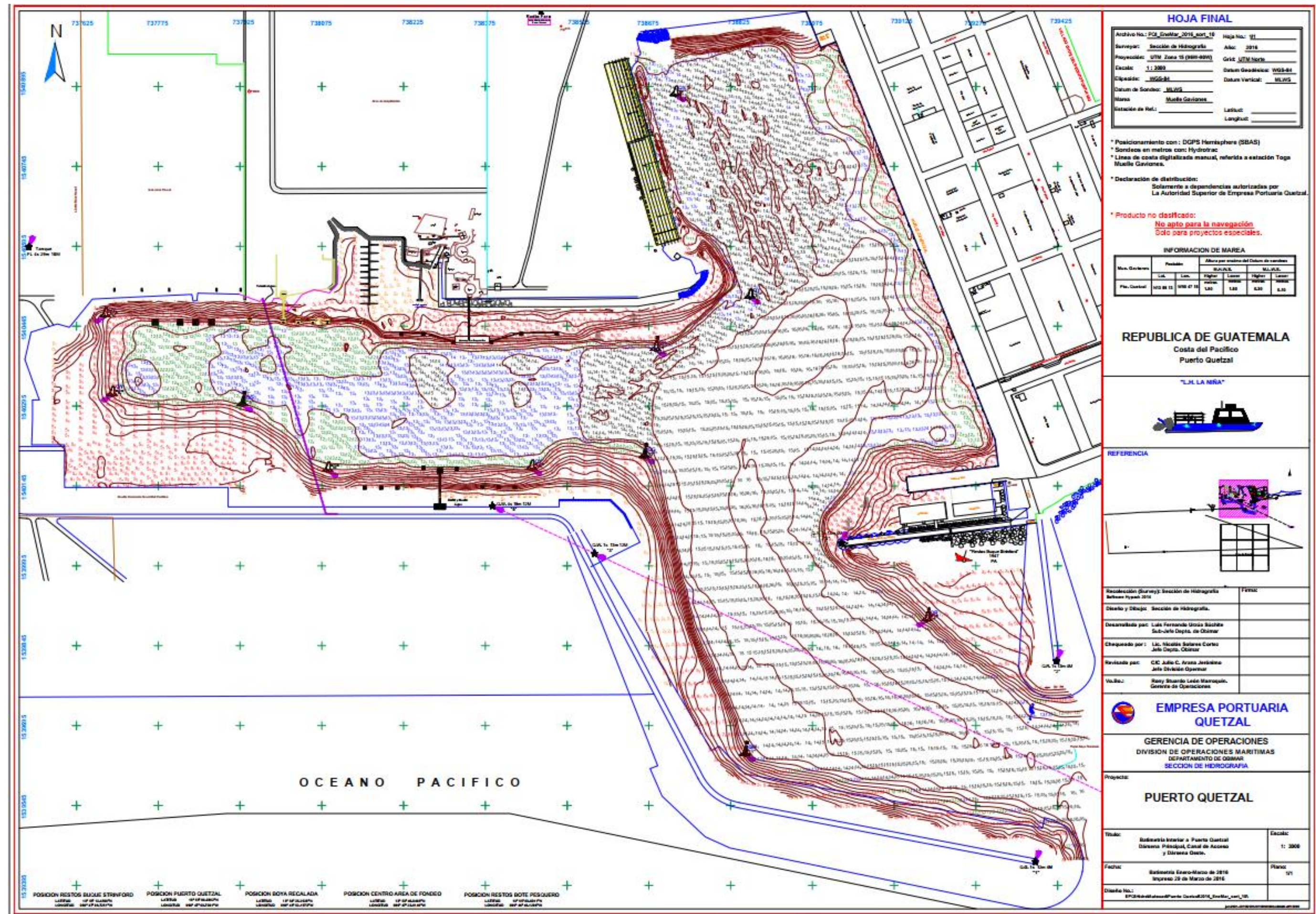


Figura 19. A. Batimetría de marzo en el año 2016.

Fuente: EPQ, 2016

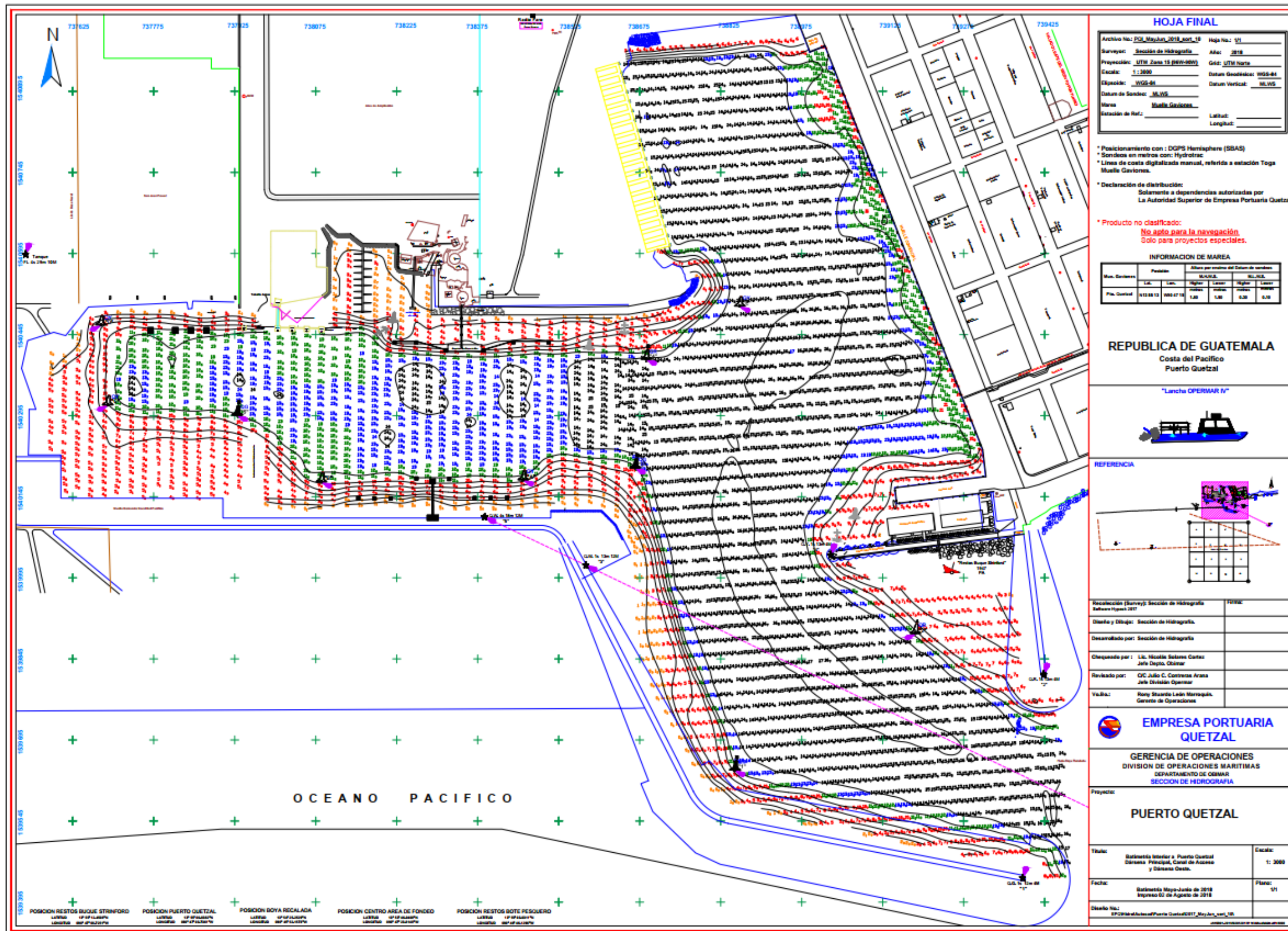
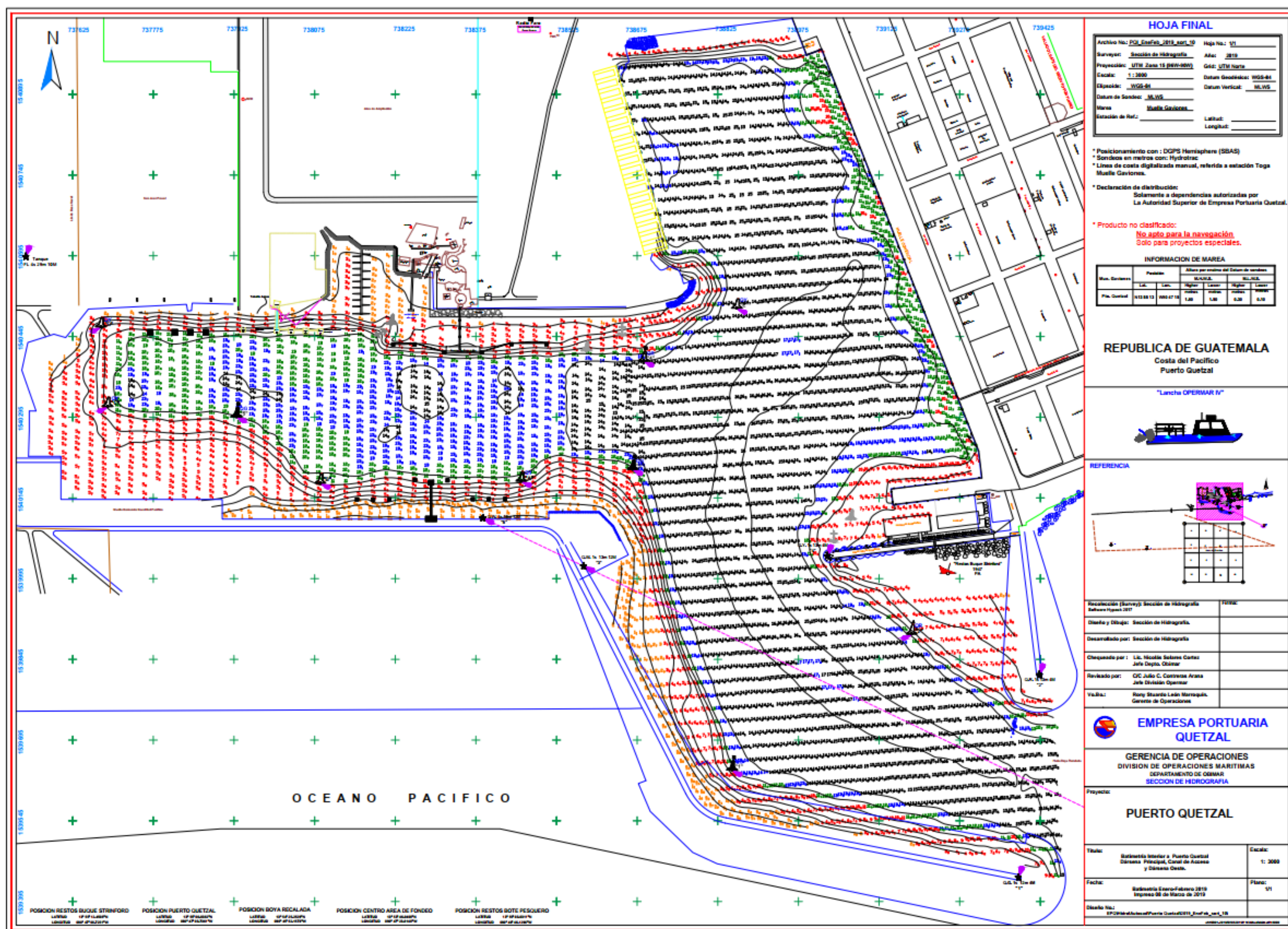


Figura 20. A. Batimetría de junio en el año 2018.

Fuente: EPQ, 2018.



Fuente: EPQ, 2019.

Figura 21. A. Batimetría en el año 2019.



Fuente: IGN, 1993.

3. Plano de isobatas de la Dársena de Puerto Quetzal para los años 2010, 2016, 2018 Y 2019.

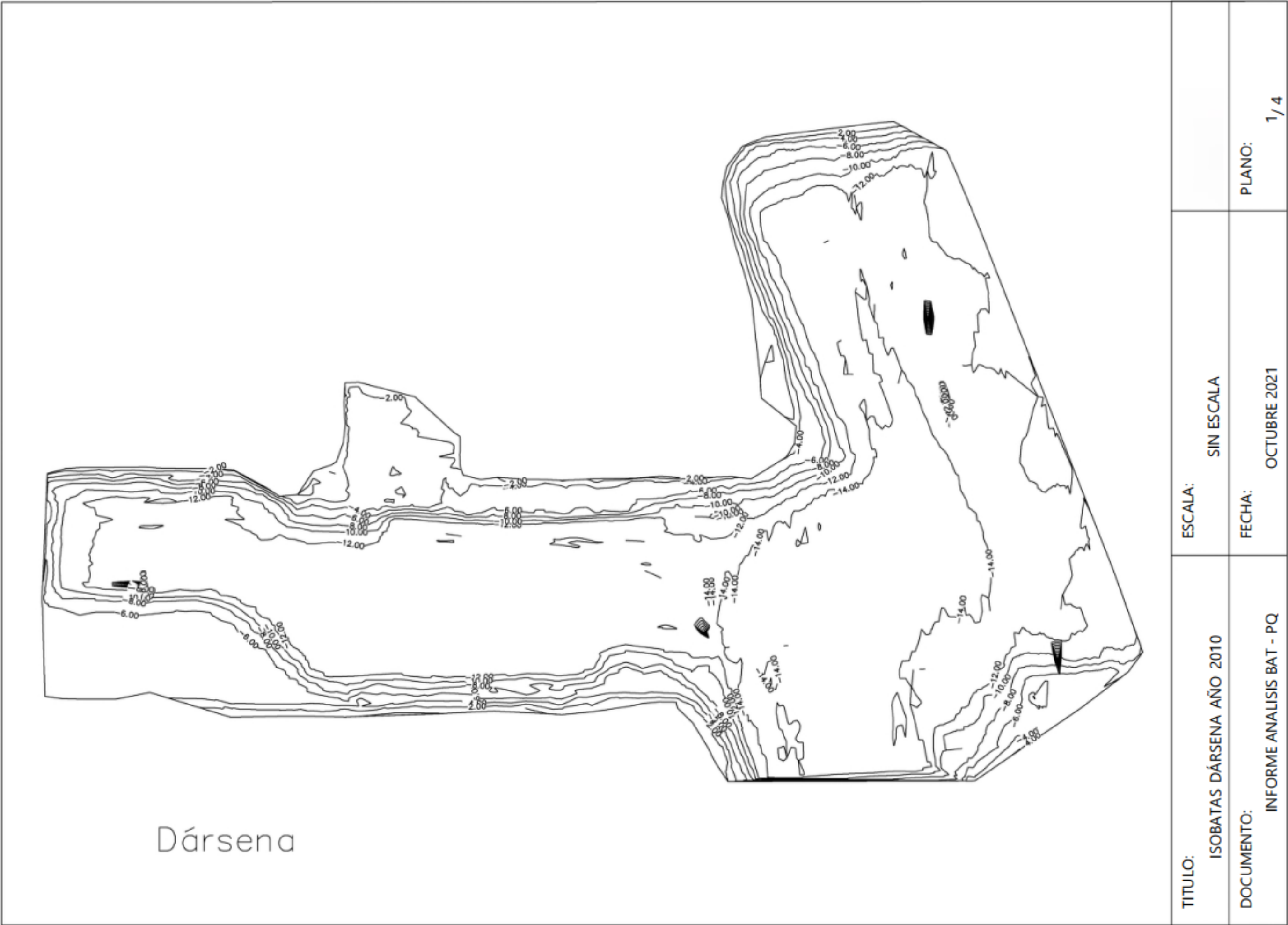


Figura 23. A. Isobatas de la Dársena de Puerto Quetzal en el año 2010.

Fuente: elaboración propia, 2021.



Figura 24. A. Isobatas de la Dársena de Puerto Quetzal en el año 2016.

Fuente: elaboración propia, 2021.

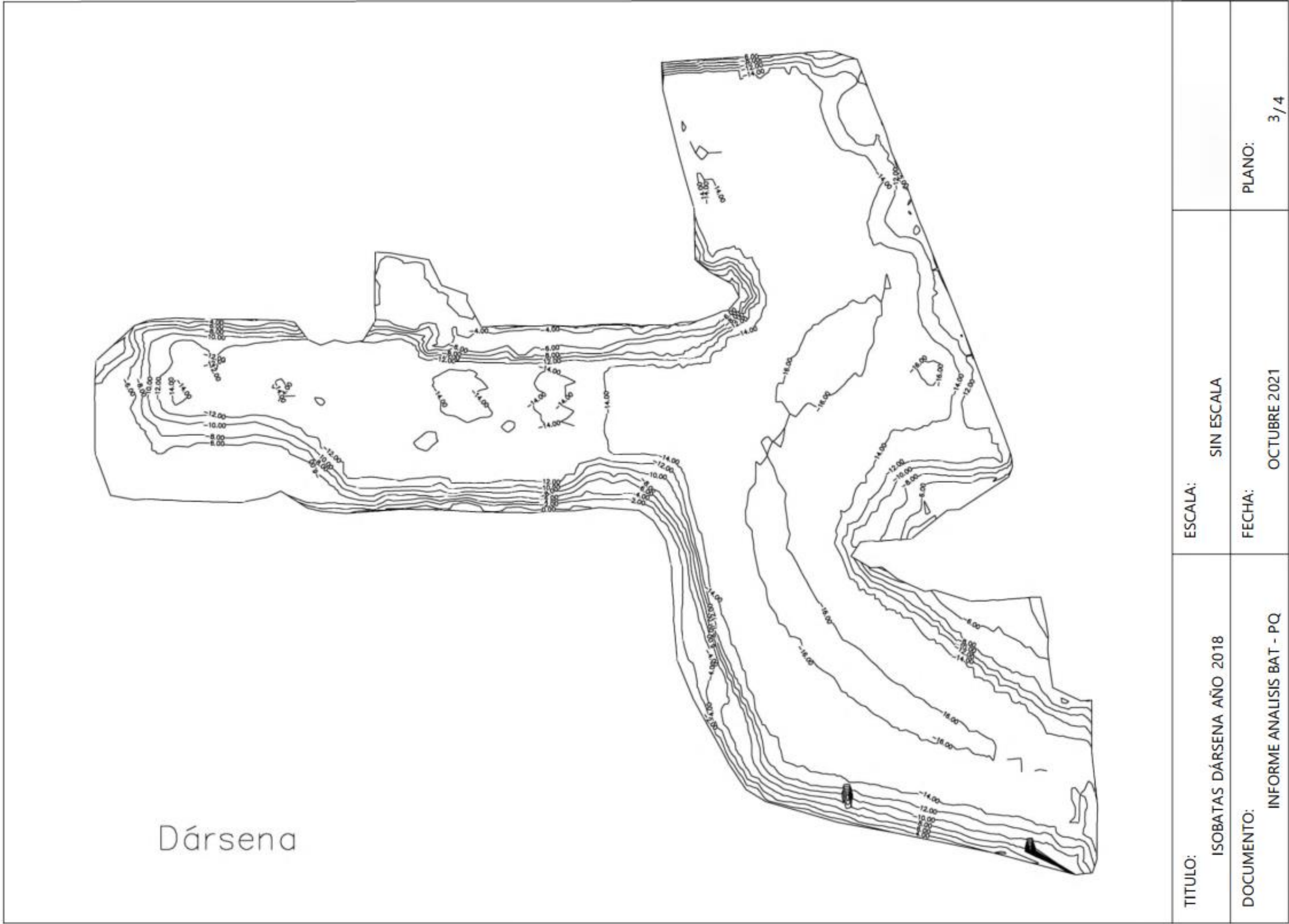


Figura 25. A. Isobatas de la Dársena de Puerto Quetzal en el año 2018.

Fuente: elaboración propia, 2021.

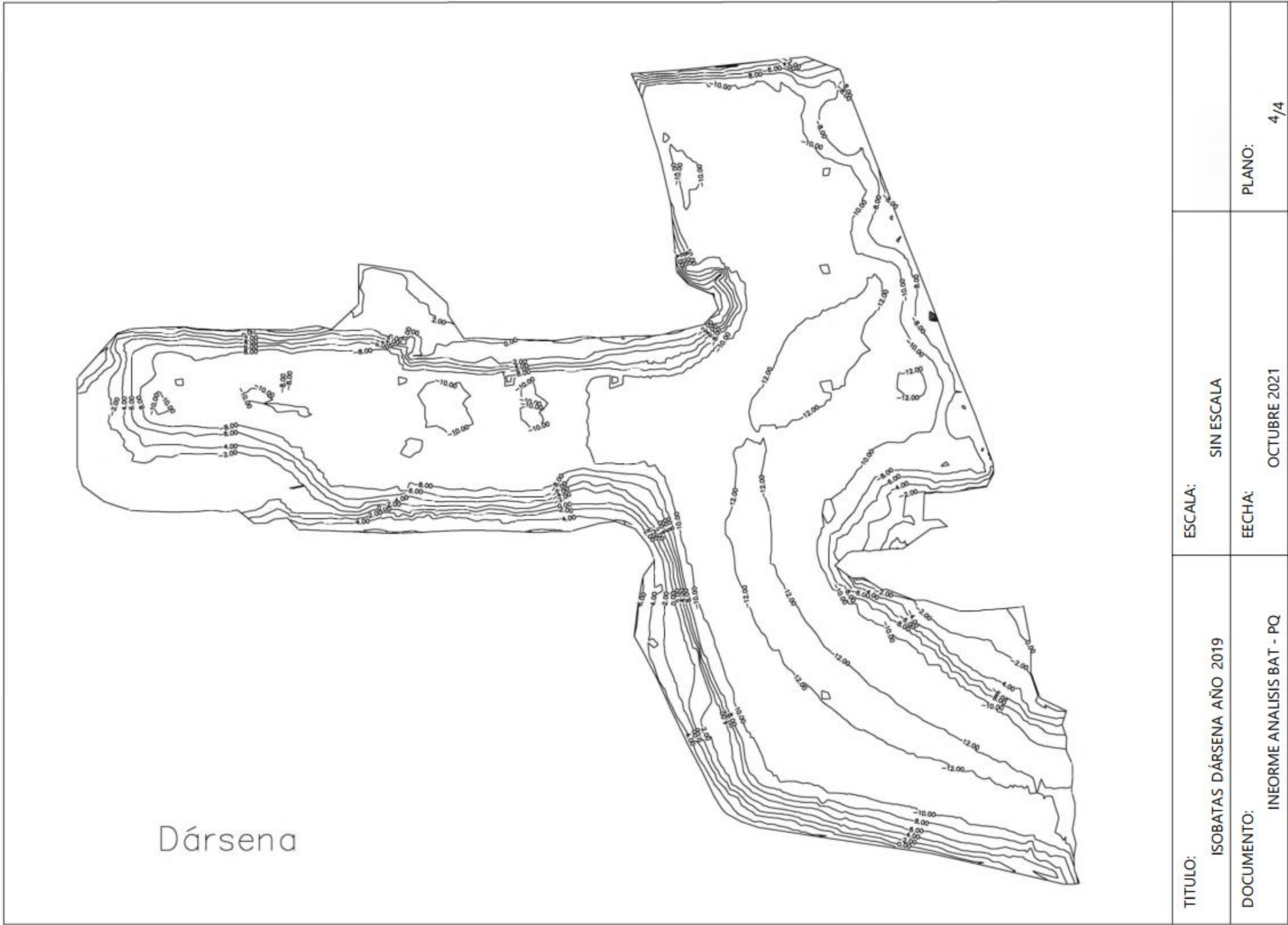


Figura 26. A. Isobatas de la Dársena de Puerto Quetzal en el año 2019.

Fuente: elaboración propia, 2021.

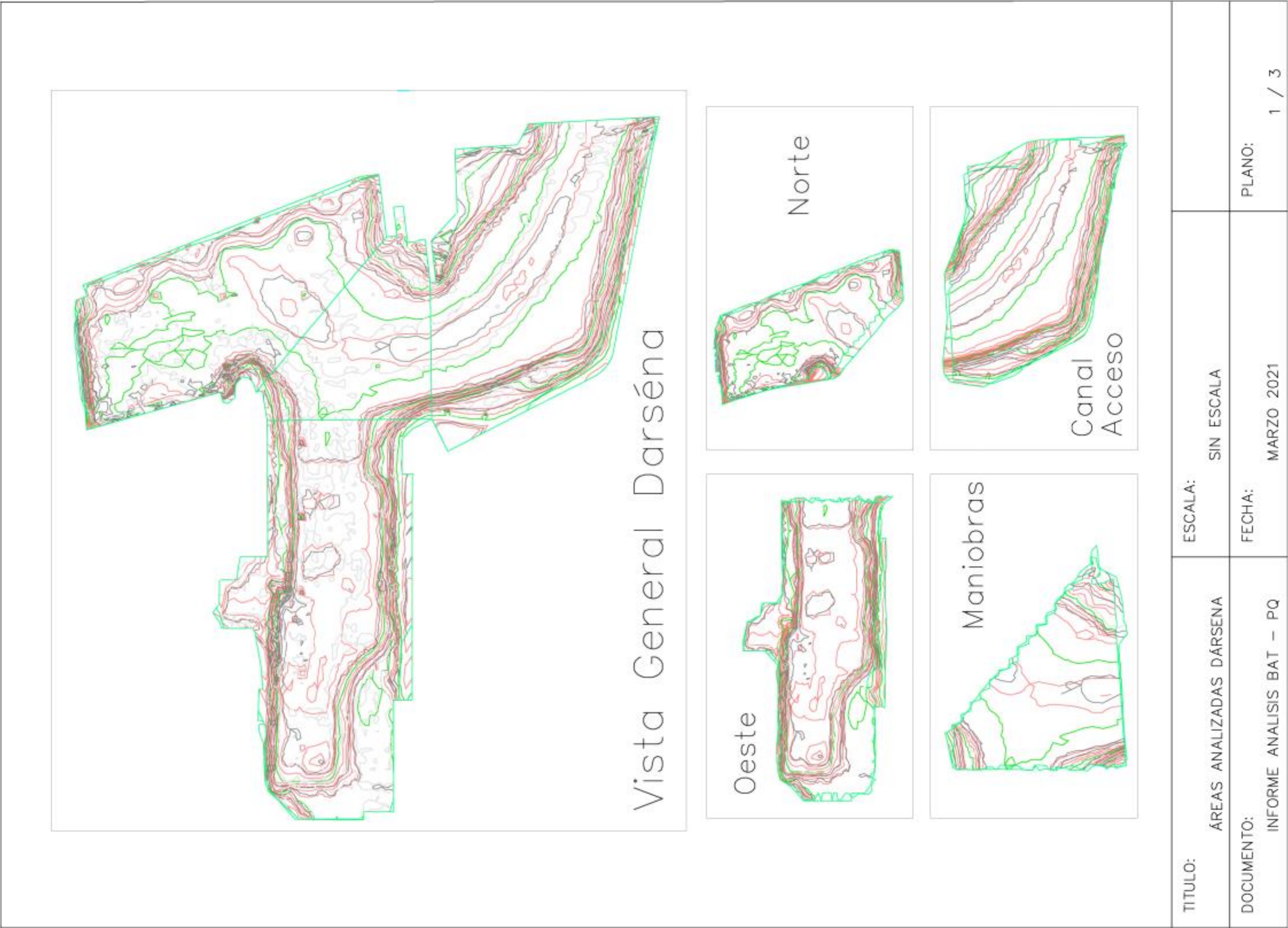


Figura 27. A. Áreas de análisis en la Dársena.

Fuente: elaboración propia, 2021.

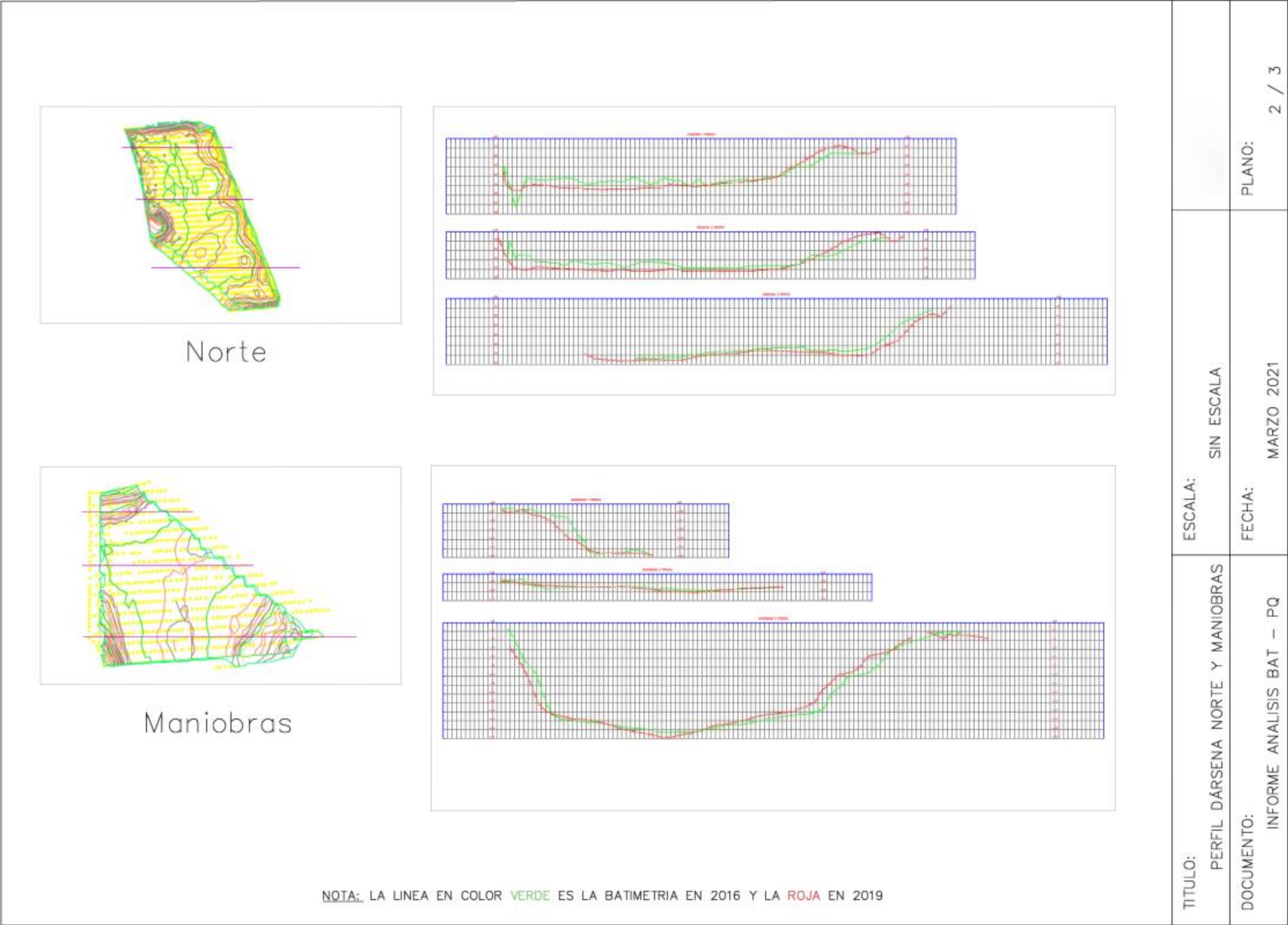


Figura 28. A. Perfil de la dársena norte y de maniobras.

Fuente: elaboración propia, 2021.

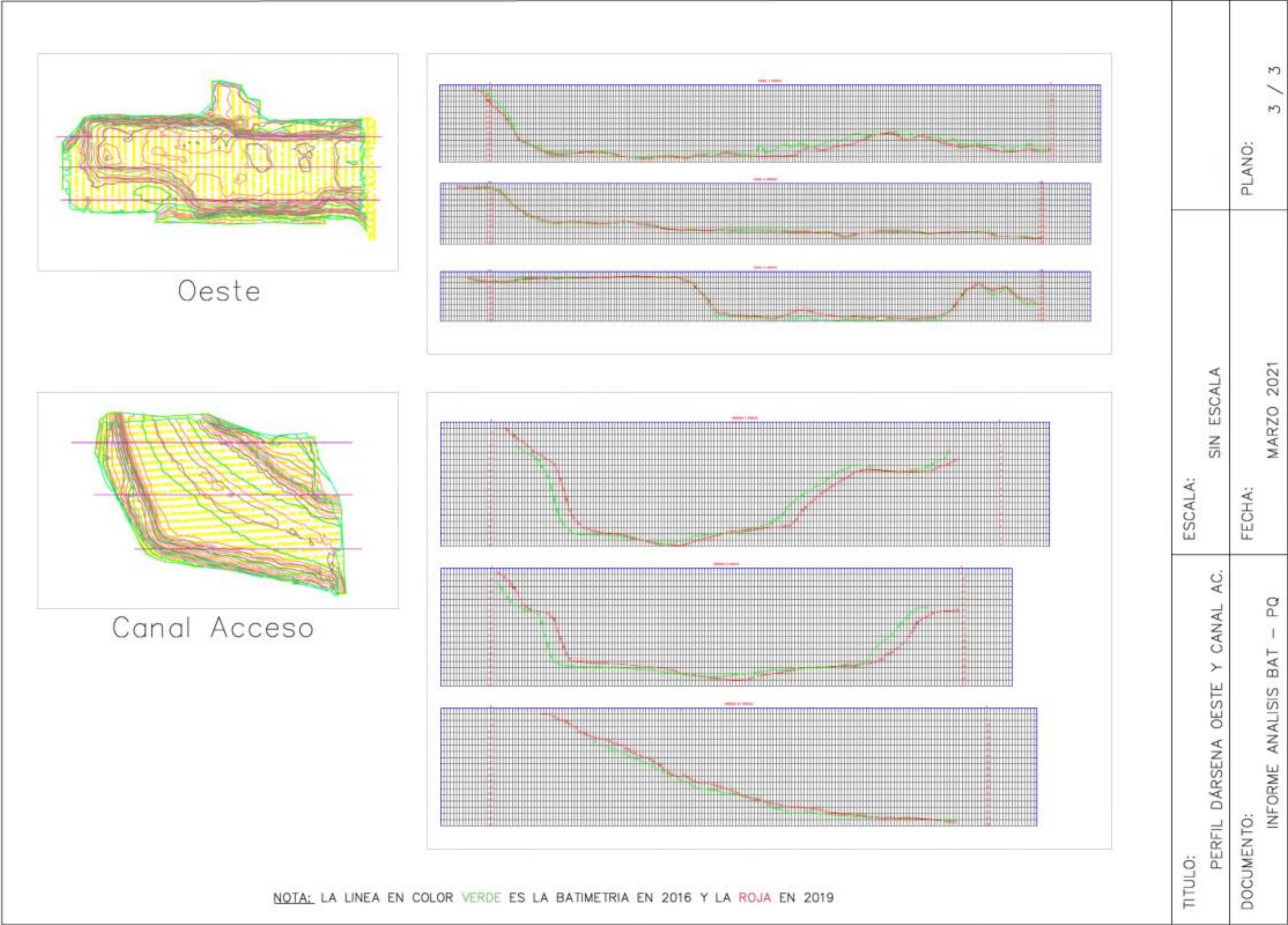
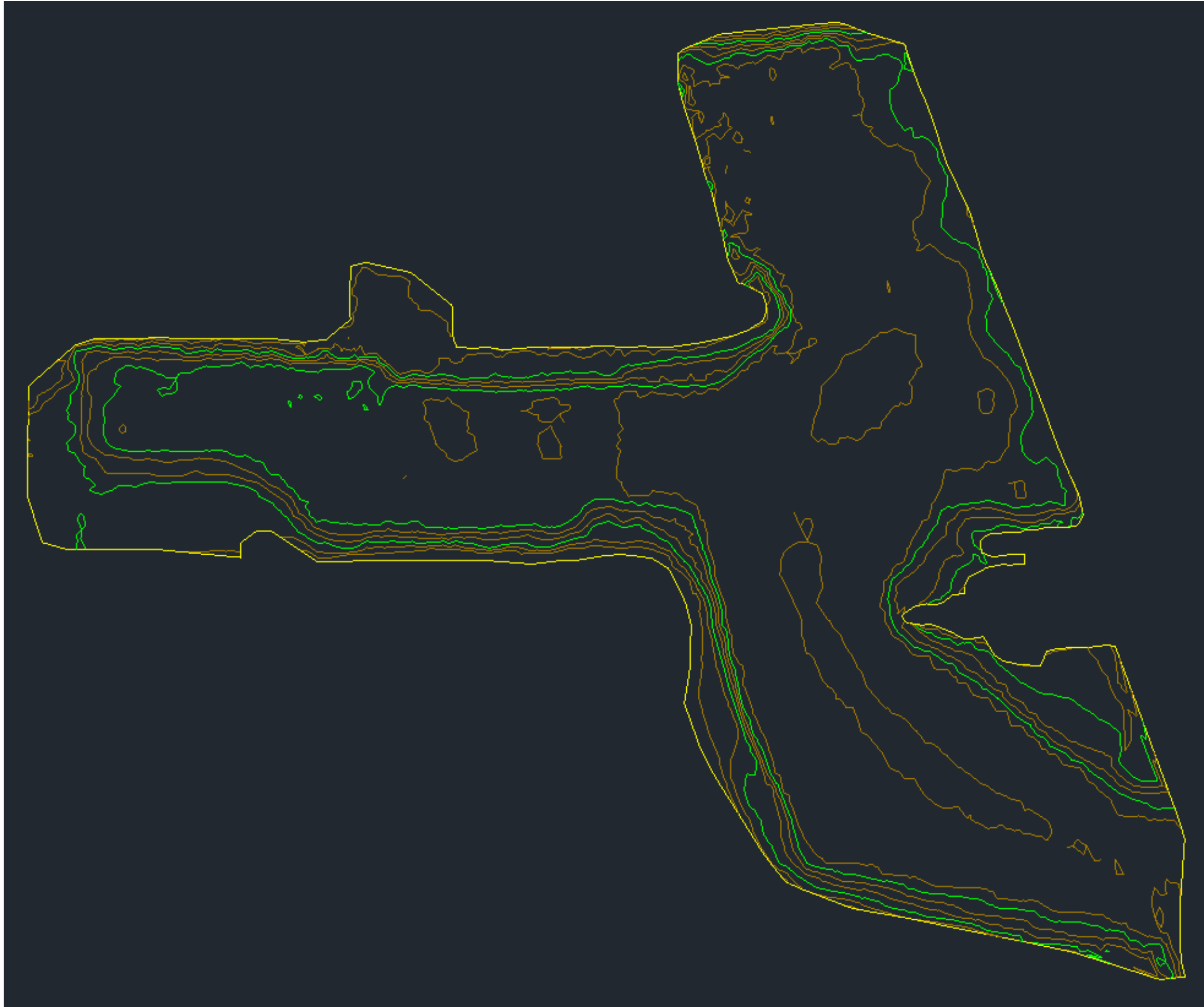


Figura 29. A. Perfil de la dársena oeste y canal de acceso.

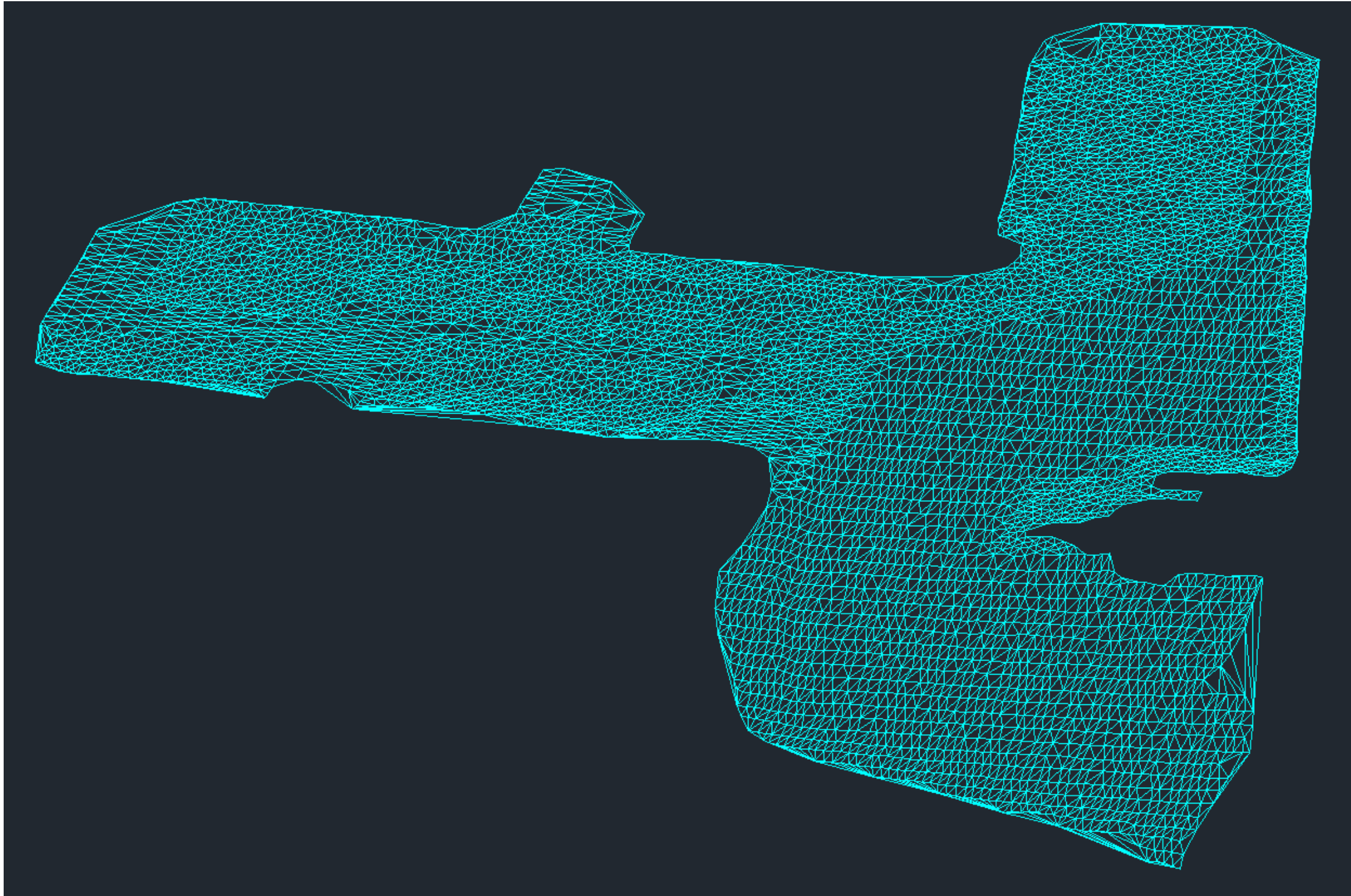
Fuente: elaboración propia, 2021.

5. Figuras de batimetría generada por AutoCAD®



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 30. A. Batimetría generada por AUTOCAD.



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 31. A. Batimetría generada por AUTOCAD.

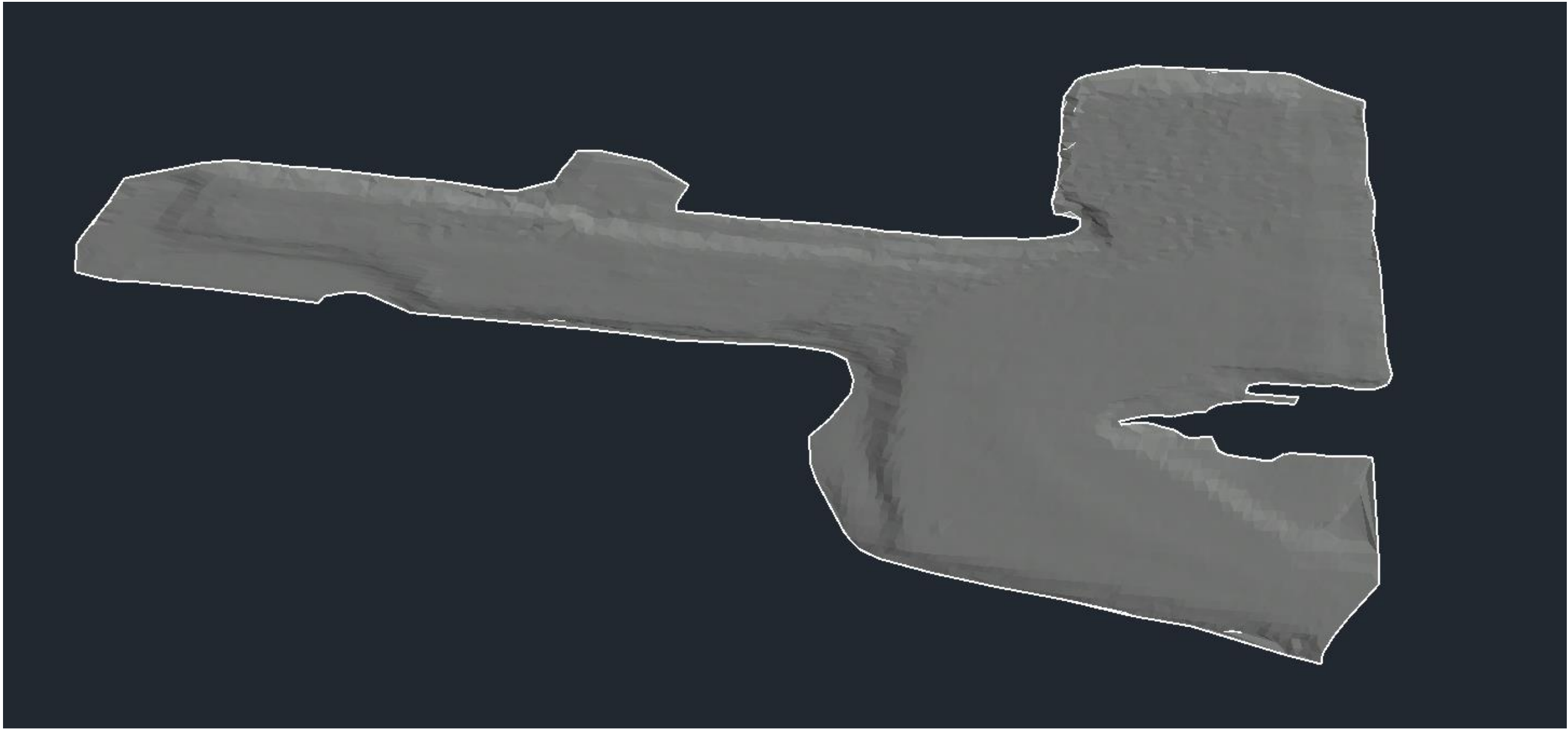


Figura 32. A. Batimetría generada por AUTOCAD.

Fuente: elaboración propia, 2021.

Carta de aprobación del EPS



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA - EPS



CALIFICACION FINAL DEL PROGRAMA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO (EPS)

ESTUDIANTE: ODENILSON FRANCO LÓPEZ RODRÍGUEZ

CARNÉ: 1992-10144

PERIODO DE REALIZACIÓN: AGOSTO 2020 – MAYO 2021

Institución donde realizó el EPS: ALFOLI CONSTRUCTORA Y DISEÑOS,
Guatemala, Chimaltenango y Santa Rosa.

1. Fase de Inducción y Planificación:.....85/100
2. Fase de Ejecución.....90/100
3. Fase Final de Elaboración y Evaluación del Informe Final.....90/100

NOTA DE PROMOCIÓN: **APROBADO**


Dr. Tomás Antonio Padilla Camba
Docente - Asesor de EPS




Ing. Agr. MA. Pedro Peláez Reyes
Coordinador Area Integrada – EPS



Guatemala, 9 de febrero de 2022

cc. Control Académico, Estudiante, Archivo
PPR/azud

Carta Imprimase



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA -FAUSAC-
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
Y AMBIENTALES -IIA-



REF. Sem. 05/2022

LA TESIS TITULADA:

"ESTIMACION DEL AZOLVAMIENTO EN LA
PROFUNDIDAD DE NAVEGACION DE LA
DARSENA DE MANIOBRAS DE PORTUARIA
QUETZAL EN LOS ULTIMOS 10 AÑOS POR
INFLUENCIA DE LA CORRIENTE
SUPERFICIAL DEL RIO ACHIGUATE,
ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A."

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE:

ODENILSON FRANCO LÓPEZ RODRÍGUEZ

CARNE:

9210144

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES:

Dr. Isaac Herrera Ibáñez
Ing. Agr. Eugenio Oliverio Orozco
Dr. Tomás Padilla Cámara

El Asesor y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Dr. Eugenio Oliverio Orozco
A S E S O R

Dr. Tomás Padilla Cámara
A S E S O R

Ing. Agr. Carlos Fernando López Bucaro
DIRECTOR DEL IIA

I M P R I M A S E

Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
D E C A N O



CFLB/nm
c.c. Archivo

Edificio T-8, Of. A-10 y A-15 Ciudad Universitaria, Zona 12,
Guatemala, C. A. 01012 Apartado Postal 1545.
Teléfono: (502) 2443-9504 y 05, Fax: (502) 2476-9794 Correo-e iiadms@yahoo.com.mx