



MAZCOSTA
Manejo Integral Costero

CLIENTE:



PROYECTO GENERAL:

**BATIMETRÍA DE LA BOCA DE LA TONINA Y CANAL
DE NAVEGACIÓN EN LA BAHÍA DE ALTATA,
NAVOLATO, SINALOA**

Ocean. Armando Villalba Loera

Mazatlán, Sin. 10 de mayo 2021

INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS.....	1
3	PRODUCTOS A ENTREGAR.....	1
4	METODOLOGÍA.....	1
4.1	Batimetría.....	1
4.2	Mareas.....	5
4.3	Aerofotogrametría.....	7
5	RESULTADOS.....	10
5.1	Batimetría.....	10
5.2	Productos de apoyo a la navegación.....	18
5.3	Mareas.....	23
5.4	Aerofotogrametría.....	27
6	DISCUSIÓN.....	31
7	RECOMENDACIONES.....	31

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1.-	Lista de planos batimétricos generados.....	11
Tabla 5.2.-	Coordenadas de las boyas de navegación en Bahía de Altata	18
Tabla 5.3.-	Puntos incluidos en la ruta de navegación sugerida.....	21

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1.-	Consola de la Ecosonda EchoMap 54dv y transductor GT20-TM montado en lancha.....	2
Figura 4.2.-	Unidad de referencia de movimiento (MRU) montada en lancha.....	3
Figura 4.3.-	Derrota seguida durante la primera jornada del levantamiento batimétrico.....	3
Figura 4.4.-	Embarcación Porter I17 usada para la batimetría en la Bahía de Altata.....	4
Figura 4.5.-	Embarcación Team Fisher usada para la batimetría en la Boca de la Tonina	4
Figura 4.6.-	Análisis de la ingesta y corrección de las fijas batimétricas	5
Figura 4.7.-	Sensor de presión HOB0.....	6

Figura 4.8.- Localización del sensor de presión HOB02 (Marina Isla Cortés).....	6
Figura 4.9.- Localización del sensor de presión HOB03 (Las Aguamitas, Navolato, Sin.).....	7
Figura 4.10.- Dron DJI Phantom 4.....	8
Figura 4.11.- Localización de las fotografías aéreas tomadas por el dron Phantom 4 en la flecha norte....	8
Figura 4.12.- Localización de las fotografías aéreas tomadas por el dron Phantom 4 en la flecha sur.....	9
Figura 4.13.- Localización de las fotografías aéreas tomadas por el dron Phantom 4 en la Marina	9
Figura 5.1.- Cobertura de los mapas batimétricos.....	10
Figura 5.2.- Croquis del mapa batimétrico general (BATY-01).....	12
Figura 5.3.- Croquis del mapa batimétrico de la Boca de la Tonina (BATY-02)	13
Figura 5.4.- Croquis del plano batimétrico del canal-1 (BATY-03).....	14
Figura 5.5.- Croquis del plano batimétrico del canal-2 (BATY-04).....	15
Figura 5.6.- Croquis del plano batimétrico del canal-3 (BATY-05).....	16
Figura 5.7.- Croquis del plano batimétrico de la Marina Isla Cortés (BATY-06).....	17
Figura 5.8.- Localización de las señales de ayuda a la navegación.....	19
Figura 5.9.- Detalle de la batimetría en la Boca de la Tonina.....	19
Figura 5.10.- Mapa denotando los sondeos batimétrico en formato GPX	20
Figura 5.11.- Detalle batimétrico de la región externa de la Boca de la Tonina.....	20
Figura 5.12.- Detalle batimétrico de la Boca de la Tonina	21
Figura 5.13.- Detalle de la ruta de navegación sugerida en la Boca de la Tonina.....	22
Figura 5.14.- Ruta de navegación sugerida (abril 2021).....	22
Figura 5.15.- Profundidades a lo largo de la ruta de navegación sugerida.....	23
Figura 5.16.- Registro de la altura de la superficie libre del agua en la Marina Isla Cortés.....	24
Figura 5.17.- Registro de la altura de la superficie libre del agua en Las Aguamitas.....	24
Figura 5.18.- Altura de la marea registrada (sensores de presión) y predicha (MAR-CICESE).....	25
Figura 5.19.- Series de mareas analizadas.....	25
Figura 5.20.- Cálculo de la correlación entre las series de marea analizadas	26
Figura 5.21.- Cálculo de desfase entre las series de marea analizadas.....	26
Figura 5.22.- Orto foto de la flecha norte de la Boca de la Tonina (Tonina01).....	28
Figura 5.23.- Orto foto de la flecha sur de la Boca de la Tonina (Tonina02).....	29
Figura 5.24.- Orto foto de la Marina Isla Cortés.....	30

1 INTRODUCCIÓN

Las Marinas turísticas representan una gran atractivo para el turismo naviero. Sin embargo, los operadores de estas Marinas requieren cumplir con una serie de disposiciones nacionales e internacionales, para garantizar la seguridad de sus usuarios y ofrecerles servicios de calidad.

Es de vital importancia conocer las características batimétricas de la zona de influencia de la Marina, así como el régimen de mareas, corrientes y vientos. Además, se hace necesario tener un registro periódico y hasta continuo de estos parámetros, ya que generalmente son causas de accidentes y provocan riesgos para la navegación.

En este sentido, se realizó un estudio batimétrico desde la parte externa de la Boca de la Tonina a la Marina Isla Cortés, en la Bahía de Altata, Navolato, Sinaloa. Como parte del proceso del estudio batimétrico, se generaron y analizaron los registros de mareas de dos localidades dentro de la Bahía y para el puerto de Topolobampo, Sin.

Además, se generaron dos productos para facilitar la navegación y disminuir el riesgo, entre la boya de recalada, en la zona externa de la Boca de la Tonina y la Marina Isla Cortés.

2 OBJETIVOS

- 2.1. Hacer el estudio batimétrico entre la Boca de la Tonina y la Marina Isla Cortés, en la Bahía de Altata, Navolato, Sin.
- 2.2. Generar dos productos que sirvan de apoyo a la navegación en esa zona y que puedan cargarse a equipos de navegación comunes.

3 PRODUCTOS A ENTREGAR

- 3.1. Archivo de texto con los sondeos batimétricos y topográficos corregidos
- 3.2. Planos topo batimétricos en formato electrónico AutoCAD y PDF
- 3.3. Archivos batimétricos en formato GPX para que se puedan instalar en ecosondas y navegadores compatibles
- 3.4. Orto fotos de la Boca de la Tonina (fotografías aéreas orto corregidas)
- 3.5. Reporte Final (este documento)

4 METODOLOGÍA

Se realizaron dos jornadas de trabajo de campo, la primera del 24 al 29 de marzo de 2021 y la segunda del 6 al 15 de abril de 2021.

4.1 Batimetría

La batimetría se llevó a cabo a lo largo de las dos jornadas de campo mencionadas arriba. Se utilizó una ecosonda marca Garmin, modelo EchoMap 54dv, equipada con un sistema de navegación interno de 5 Hz (Figura 4.1). La ecosonda tiene doble frecuencia (50/200 kHz), doble haz (77/200 kHz), transmite de 500 a

4,000 W y tiene tecnología CHIRP (Compressed High-Intensity Radiated Pulse). El uso de la tecnología CHIRP optimiza la energía, alcanzando un equivalente comparable a un rango entre 10 y 1,000 veces la energía emitida, generando resoluciones entre 5 y 10 veces mejores que las obtenidas con transductores convencionales.

La ecosonda registra la distancia entre el transductor montado en la embarcación y el fondo del área marina barrida. Dado que la distancia en un mismo punto varía en el tiempo de acuerdo con la altura de la marea, es necesario registrar simultáneamente la marea para corregir los valores obtenidos con la ecosonda y convertirlos en profundidades referidas al nivel medio del mar (NMM). Los registros de marea se obtuvieron de acuerdo con la metodología descrita en la sección [4.2](#).

Se utilizó una unidad de referencia de movimiento (Motion Reference Unit o MRU), marca Inertial Labs Systems, modelo AHRS-II-M-G15A0016 ([Figura 4.2](#)), para la corrección de los movimientos inerciales de la embarcación. La unidad da una solución continua de la orientación libre de deriva en tres dimensiones (3D) sobre la totalidad de los 360° de movimiento.

La derrota ([Figura 4.3](#)), la ingestión de las fijas batimétricas, sus correcciones y la operación de todos los equipos, se administran con el software Hypack®, que es operado desde una computadora portátil. Todos los equipos se montan en una lancha con motor. La [Figura 4.4](#) muestra la embarcación usada para la batimetría en la Bahía de Altata. La embarcación usada para la batimetría en la Boca de la Tonina se presenta en la [Figura 4.5](#). La [Figura 4.6](#) muestra el proceso de ingesta y corrección de las fijas batimétricas. El proceso del barrido batimétrico se muestra en el video [IC_20210328_085703.mp4](#).

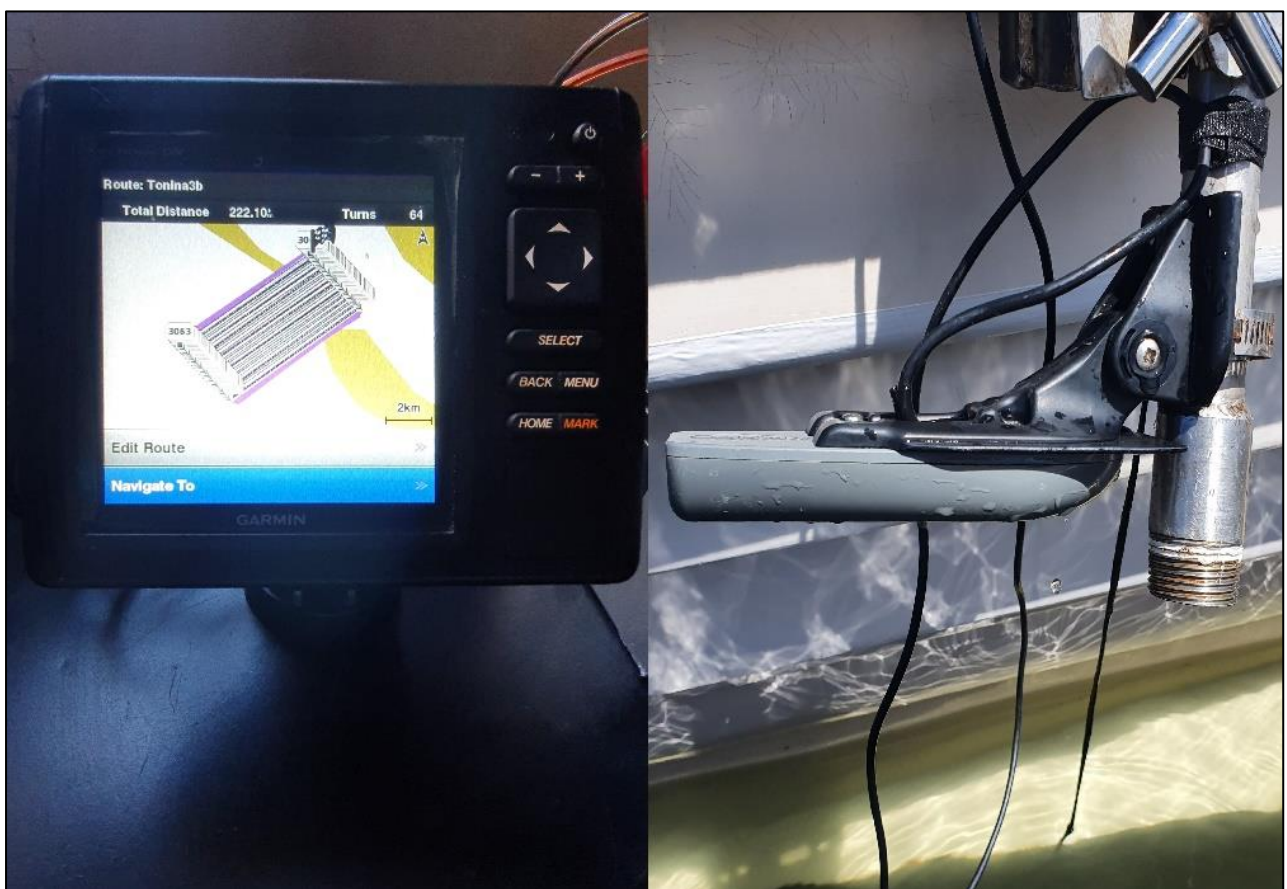


Figura 4.1.- Consola de la Ecosonda EchoMap 54dv y transductor GT20-TM montado en lancha



Figura 4.2.- Unidad de referencia de movimiento (MRU) montada en lancha

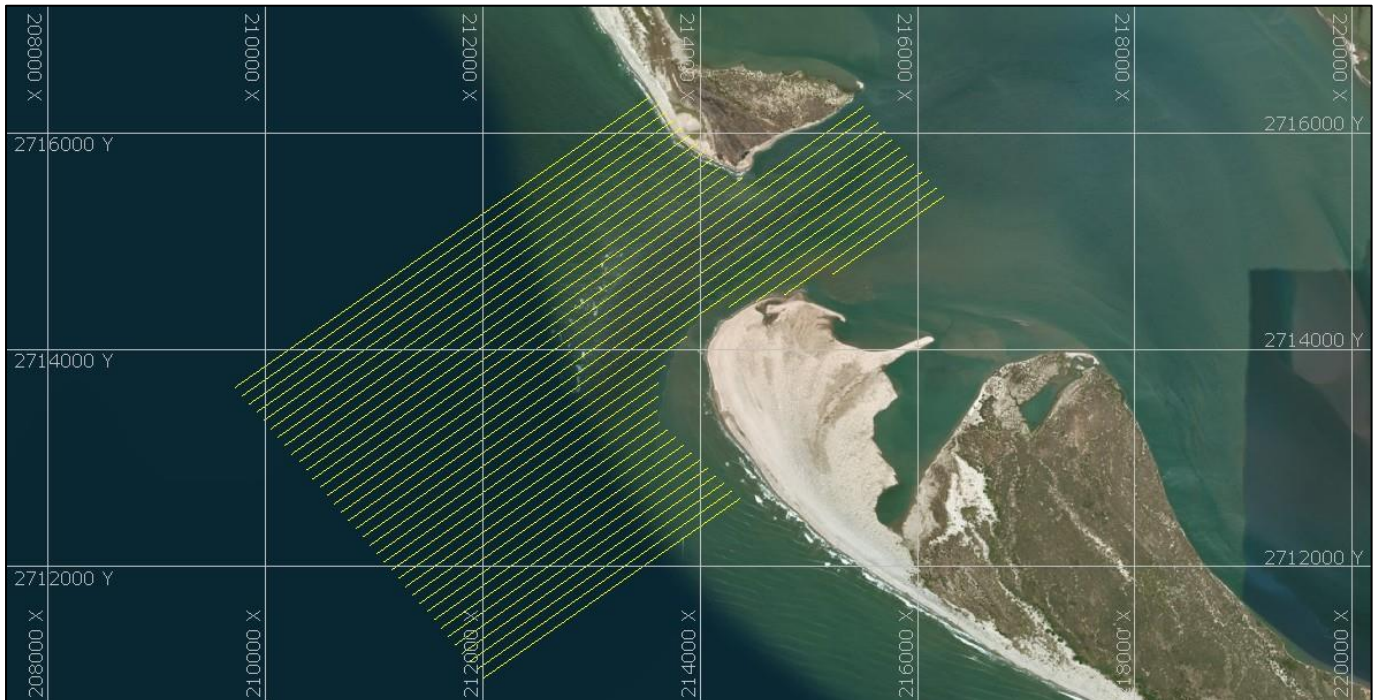


Figura 4.3.- Derrota seguida durante la primera jornada del levantamiento batimétrico



Figura 4.4.- Embarcación Porter 117 usada para la batimetría en la Bahía de Altata



Figura 4.5.- Embarcación Team Fisher usada para la batimetría en la Boca de la Tonina

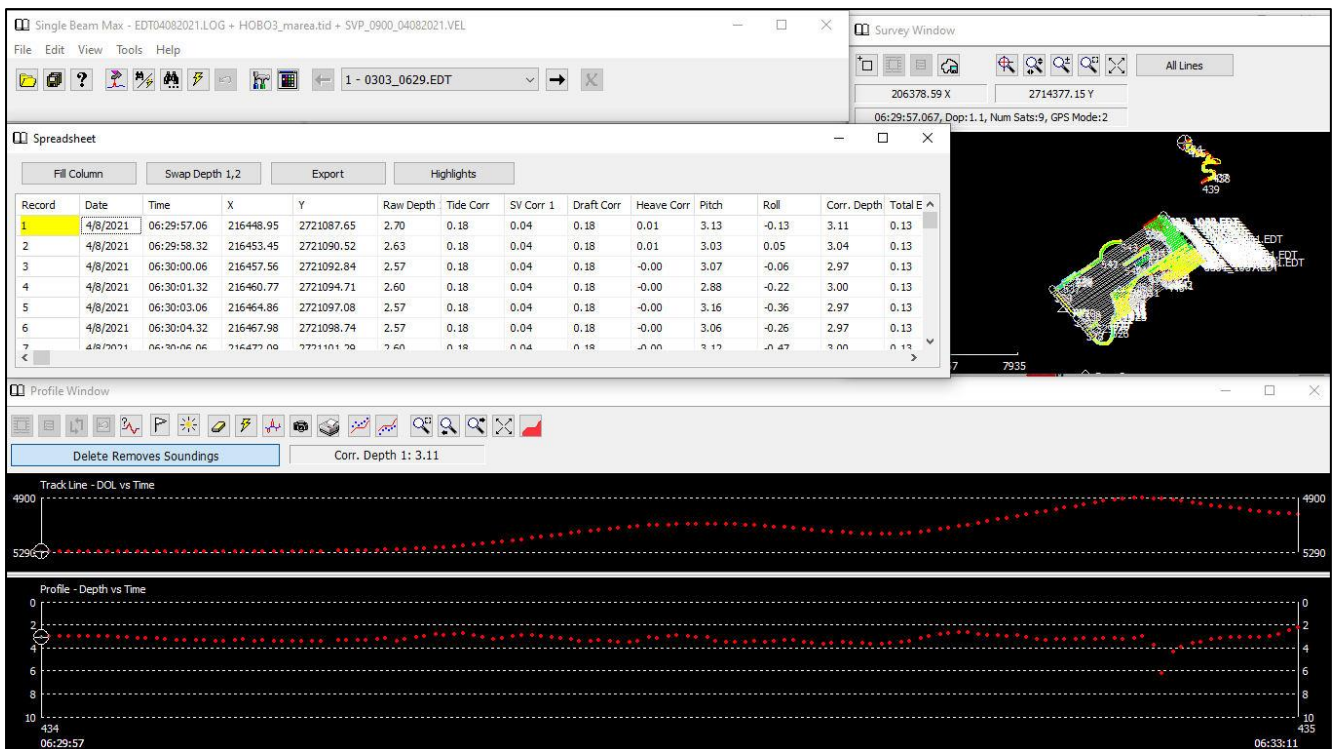


Figura 4.6.- Análisis de la ingesta y corrección de las fijas batimétricas

4.2 Mareas

Para la obtención de las alturas de la marea, se instalaron dos sensores de presión marca Onset, modelo HOBO (Figura 4.7), que registraron la temperatura del agua y la altura de la superficie libre del agua (marea), cada 10 minutos, durante 16 días, del 29 de marzo al 14 de abril de 2021.

El primer sensor de presión (HOB02), se instaló junto a la rampa de desembarque de la marina Isla Cortés (Figura 4.8), en las coordenadas 198,445.61 m Este y 2,730,367.97 m Norte y a 2.176 m de profundidad (24.658141° N, 107.979284° W, 2.176 m). El segundo sensor de presión (HOB03), se instaló en el sitio pesquero de Las Aguamitas, Navolato, Sin., (Figura 4.9), en las coordenadas 216,429.64 m Este y 2,720,854.18 m Norte y a 0.868 m de profundidad (24.575737° N, 107.799865° W, 0.868 m).

También, se utilizó el software MAR, elaborado por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), para calcular las alturas horarias de la marea oceánica, para los puertos de Topolobampo, Sinaloa, ubicado 170 km al noroeste del área de estudios y para el puerto de Mazatlán, Sinaloa, a 211 km al sureste del área de estudio.

Siendo la práctica común de los marineros de la zona de la Bahía de Altata, usar las tablas de mareas para el puerto de Topolobampo, fue este el registro utilizado para los análisis que se presentan más adelante.



Figura 4.7.- Sensor de presión HOB0



Figura 4.8.- Localización del sensor de presión HOB02 (Marina Isla Cortés)



Figura 4.9.- Localización del sensor de presión HOB03 (Las Aguamitas, Navolato, Sin.)

4.3 Aerofotogrametría

Como apoyo a los trabajos batimétricos, se realizaron una serie de vuelos fotogramétricos, tanto de las flechas norte y sur de la Boca de La Tonina, como del área circundante a la Marina Isla Cortés.

Se utilizó una plataforma aérea o dron marca DJI, modelo Phantom 4 (Figura 4.10) capaz de obtener fotografías aéreas con precisiones mejores a 5.0 centímetros. Los vuelos del dron se programaron para cubrir zonas terrestres de difícil acceso y el área litoral adyacente. El proceso de ensamble y de corrección de las fotografías aéreas tomadas por el dron, se llevó a cabo usando el software AgiSoft, resultando en fotografías aéreas del área de estudio geométrica y geográficamente correctas u orto corregidas, con un tamaño de pixel menor o igual a 5.0 cm. Esta resolución es significativamente mayor que la obtenida en imágenes proporcionadas por la plataforma de Google Earth, que generalmente tienen una resolución espacial de 50.0 cm.

Se realizaron tres vuelos, Vuelo_Tonina01, Vuelo_Tonina02 y Vuelo_Marina, la localización de las fotografías aéreas capturadas en cada vuelo se presenta en las Figura 4.11, Figura 4.12 y Figura 4.13. Además del mosaico fotográfico, se generaron las capas necesarias para poder desplegar las orto fotos en la plataforma Google Earth®.



Figura 4.10.- Dron DJI Phantom 4



Figura 4.11.- Localización de las fotografías aéreas tomadas por el dron Phantom 4 en la flecha norte



Figura 4.12.- Localización de las fotografías aéreas tomadas por el dron Phantom 4 en la flecha sur



Figura 4.13.- Localización de las fotografías aéreas tomadas por el dron Phantom 4 en la Marina

5 RESULTADOS

5.1 Batimetría

Los sondeos topo batimétricos corregidos se pueden consultar en el archivo [NA_baty_202104.xyz](#). Se generaron 6 planos batimétricos de la zona de estudio, Baty-01 a Baty-06. Todas las profundidades son positivas y se dan en metros respecto al nivel medio del mar (NMM). La cobertura de los planos batimétricos se presenta en la [Figura 5.1](#).

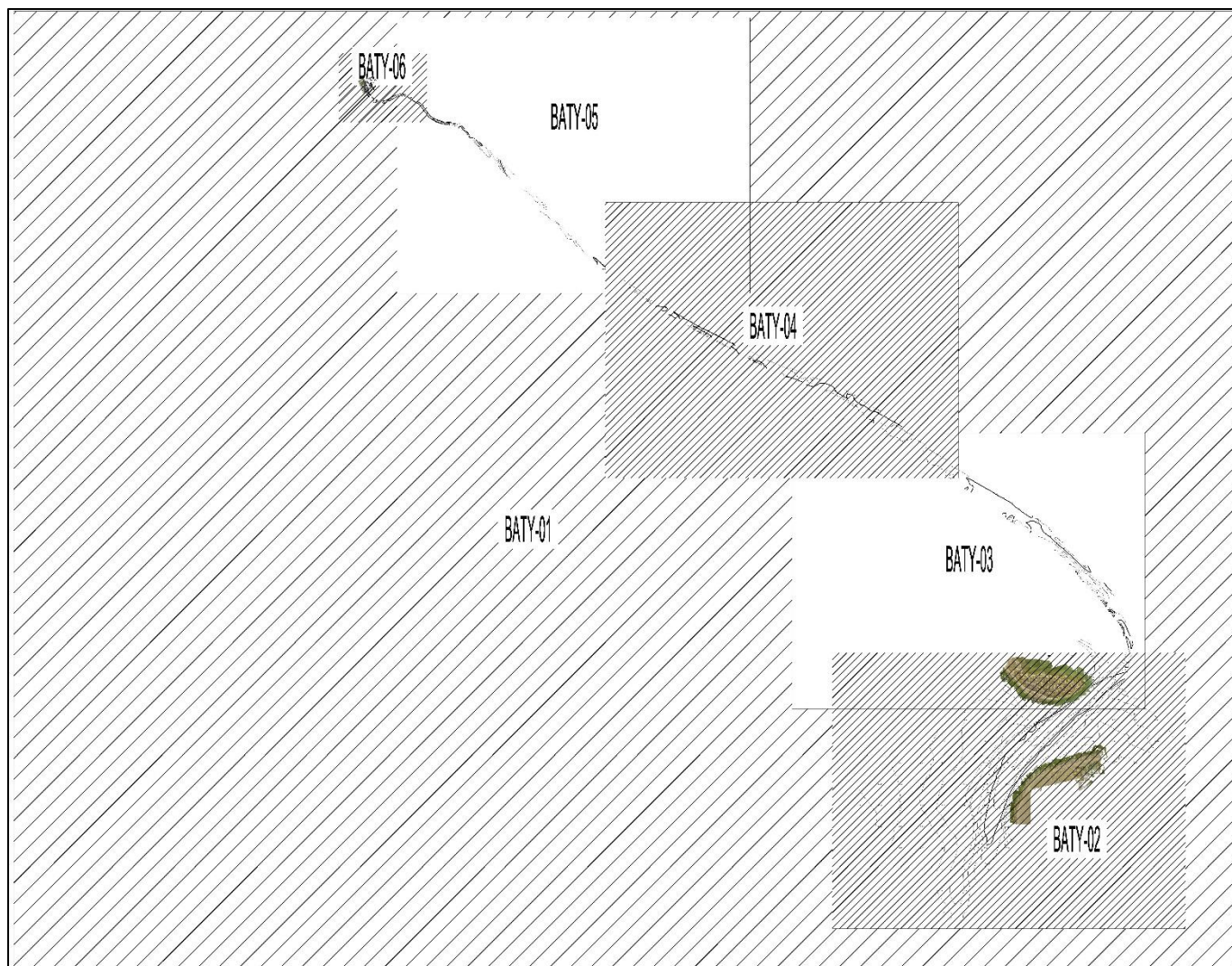


Figura 5.1.- Cobertura de los mapas batimétricos

Los mapas batimétricos, en formato JPG y PDF, se pueden consultar de acuerdo a la [Tabla 5.1](#). Todos los 6 planos batimétricos en formato AutoCAD (DWG), se presentan en el archivo [NA_baty_202104.dwg](#).

Tabla 5.1.- Lista de planos batimétricos generados

CLAVE DEL PLANO	FIGURA	LOCALIZACIÓN	FORMATO	
			JPG	PDF
BATY-01	<u>Figura 5.2</u>	General	<u>NA_baty_202104-General.jpg</u>	<u>NA_baty_202104-General.pdf</u>
BATY-02	<u>Figura 5.3</u>	Boca de la Tonina	<u>NA_baty_202104-Boca.jpg</u>	<u>NA_baty_202104-Boca.pdf</u>
BATY-03	<u>Figura 5.4</u>	Canal de acceso 1	<u>NA_baty_202104-Canal-1.jpg</u>	<u>NA_baty_202104-Canal-1.pdf</u>
BATY-04	<u>Figura 5.5</u>	Canal de acceso 2	<u>NA_baty_202104-Canal-2.jpg</u>	<u>NA_baty_202104-Canal-2.pdf</u>
BATY-05	<u>Figura 5.6</u>	Canal de acceso 3	<u>NA_baty_202104-Canal-3.jpg</u>	<u>NA_baty_202104-Canal-3.pdf</u>
BATY-06	<u>Figura 5.7</u>	Marina Isla Cortés	<u>NA_baty_202104-Marina.jpg</u>	<u>NA_baty_202104-Marina.pdf</u>

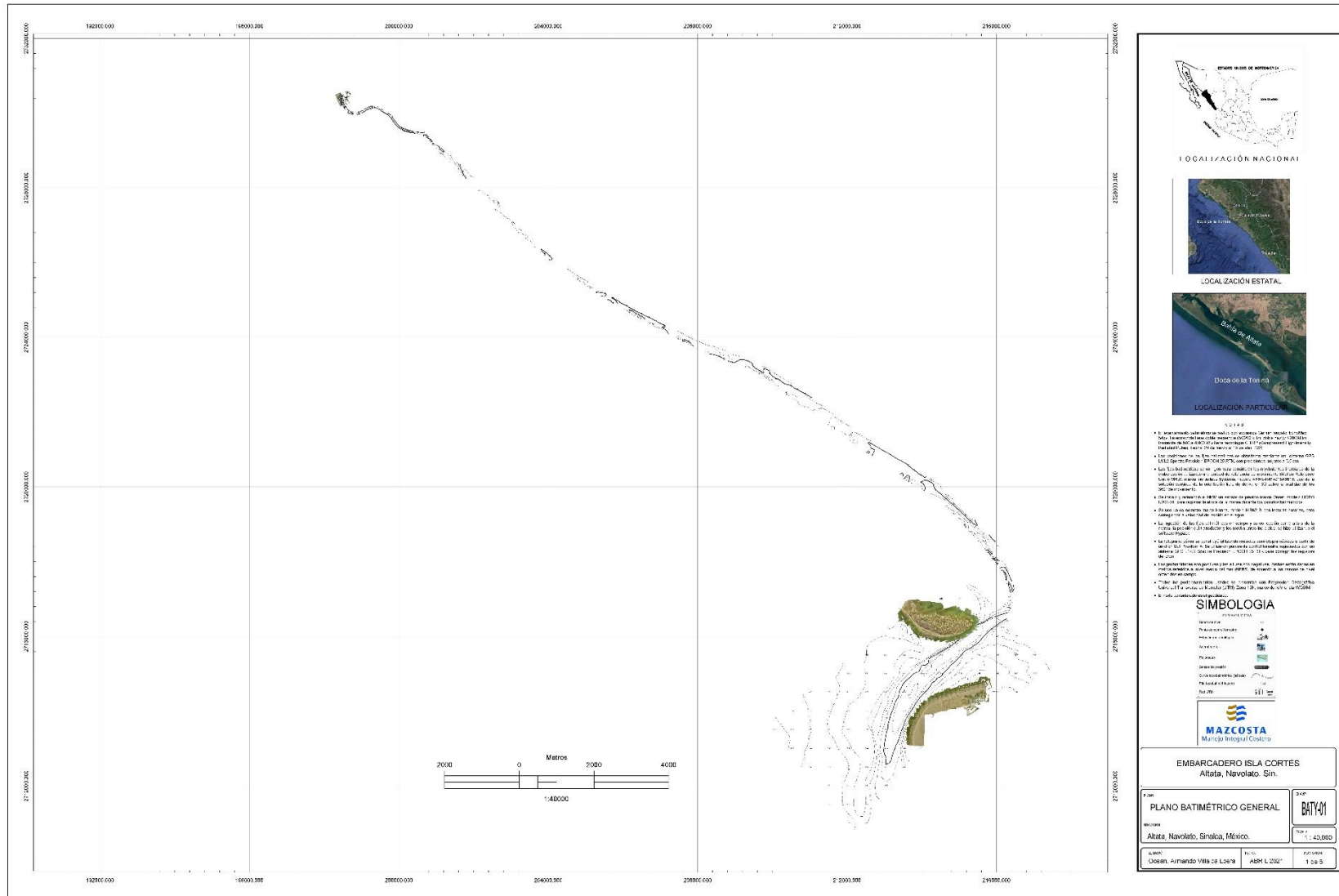


Figura 5.2.- Croquis del mapa batimétrico general (BATY-01)

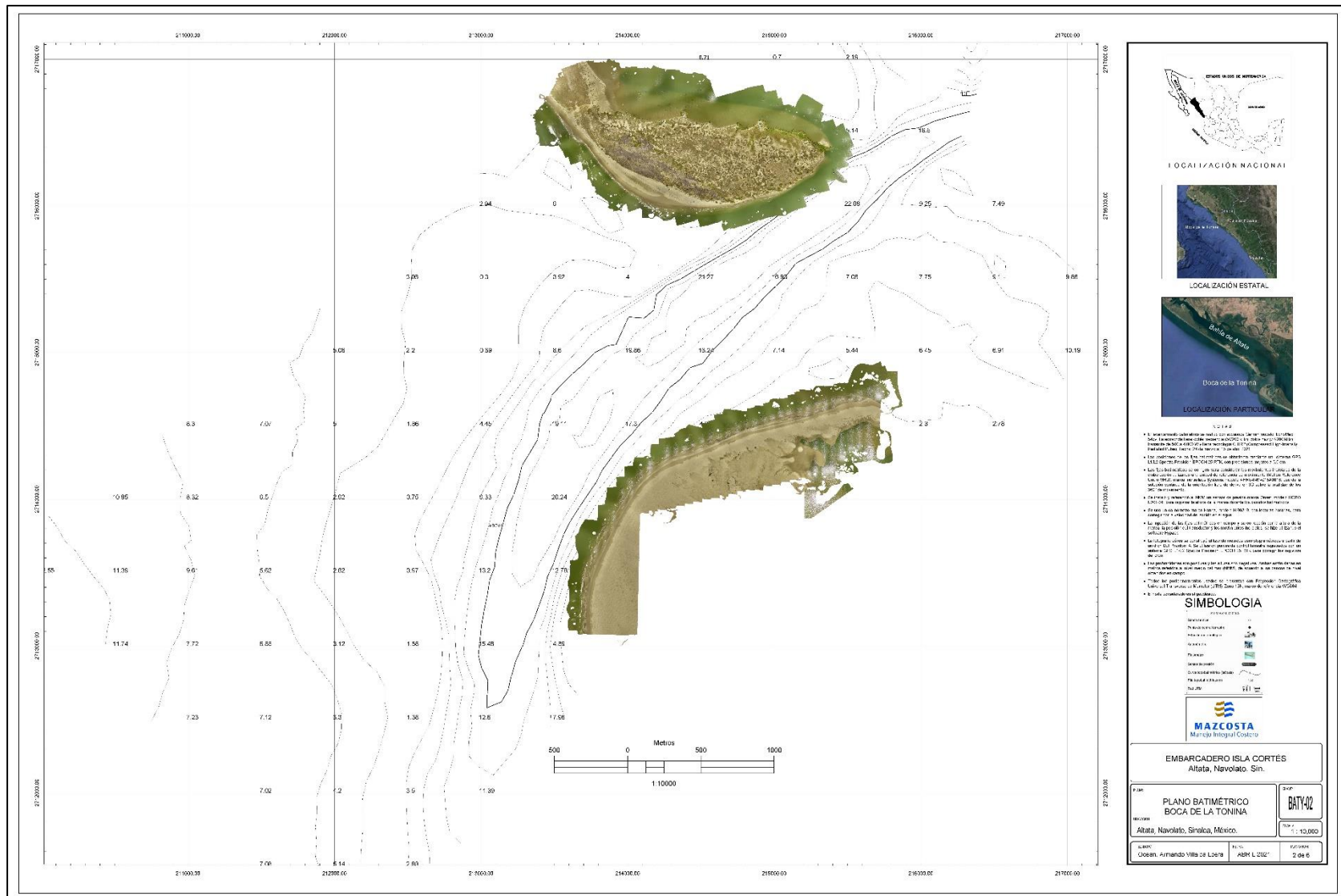


Figura 5.3.- Croquis del mapa batimétrico de la Boca de la Tonina (BATY-02)

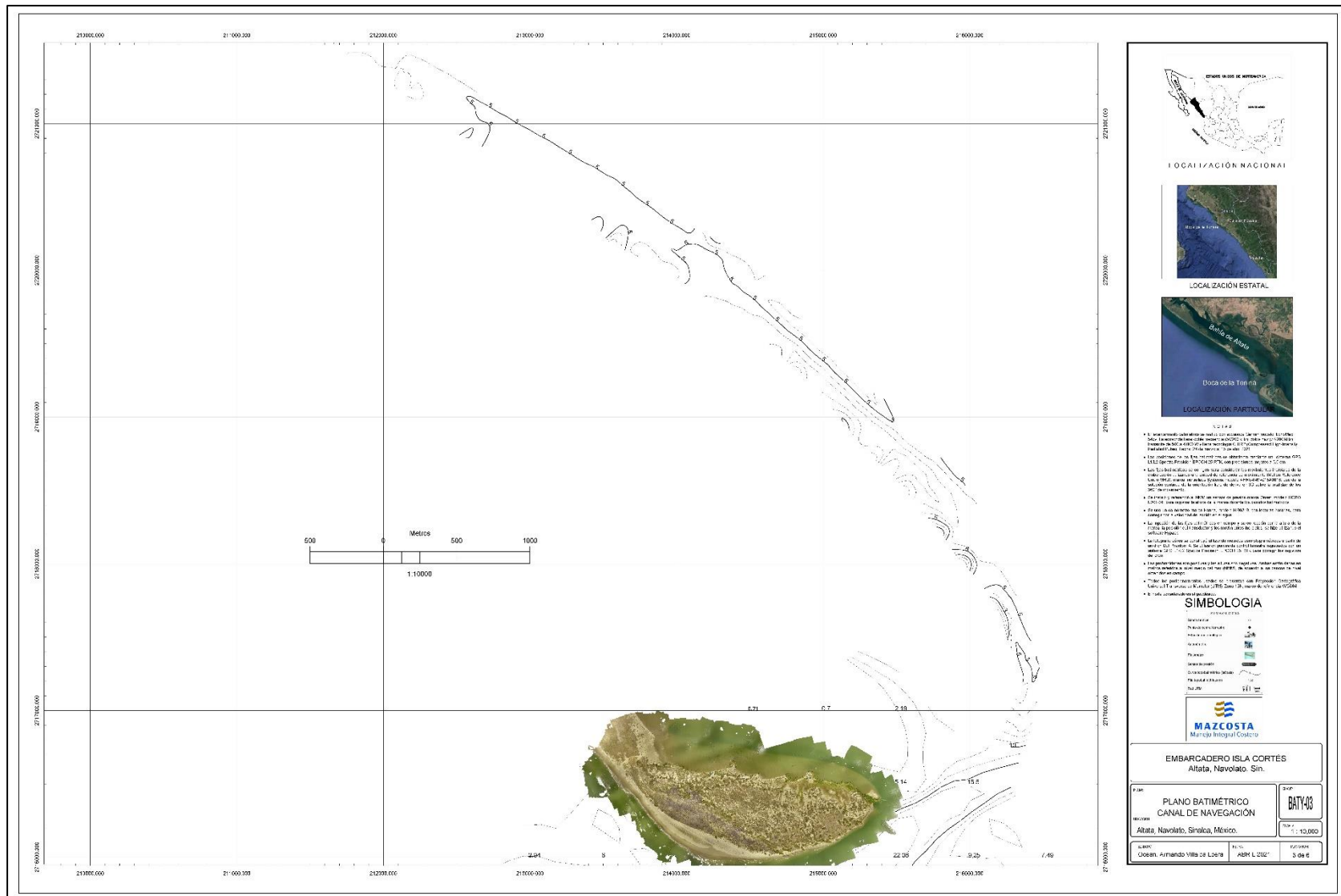


Figura 5.4.- Croquis del plano batimétrico del canal-I (BATY-03)

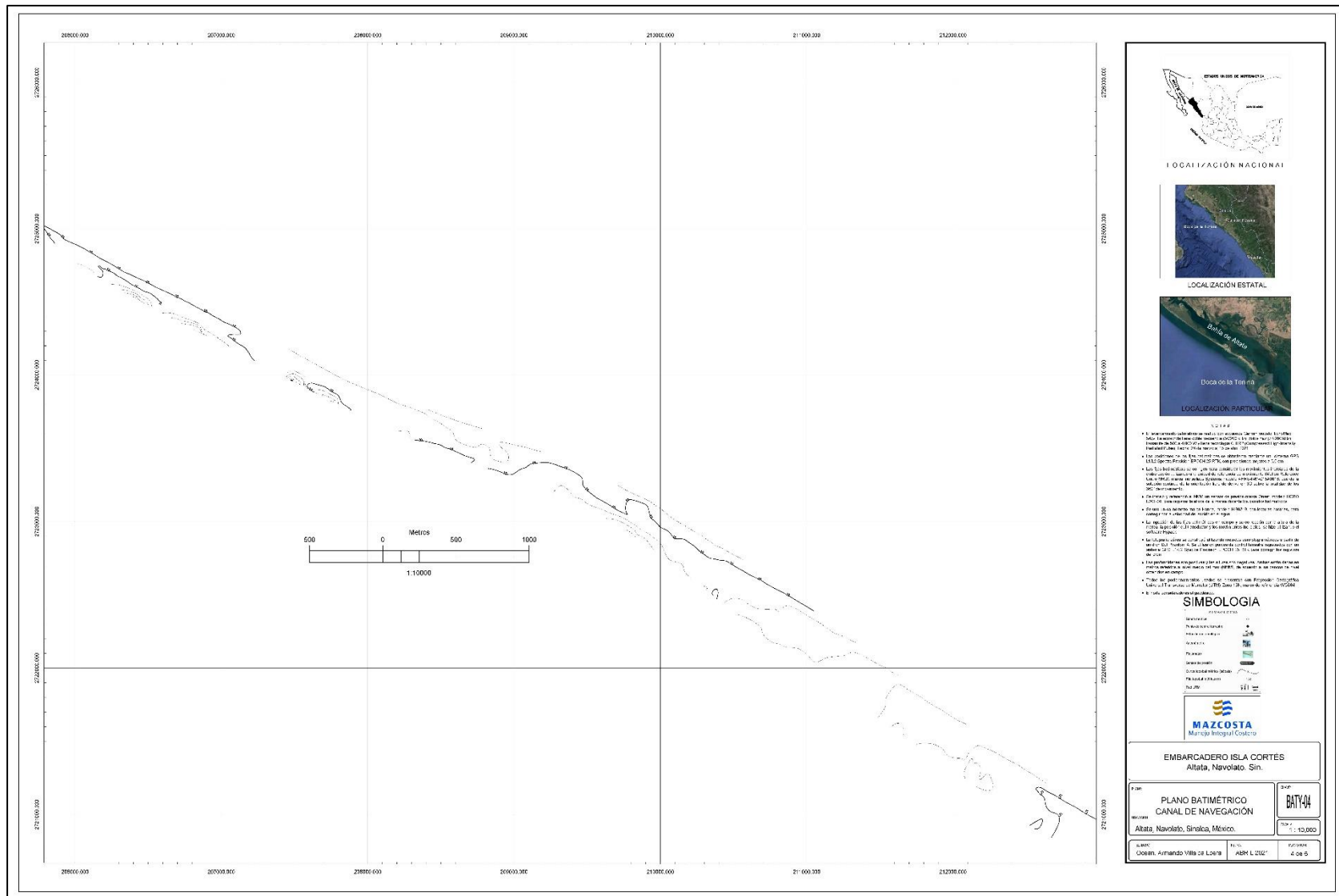


Figura 5.5.- Croquis del plano batimétrico del canal-2 (BATY-04)

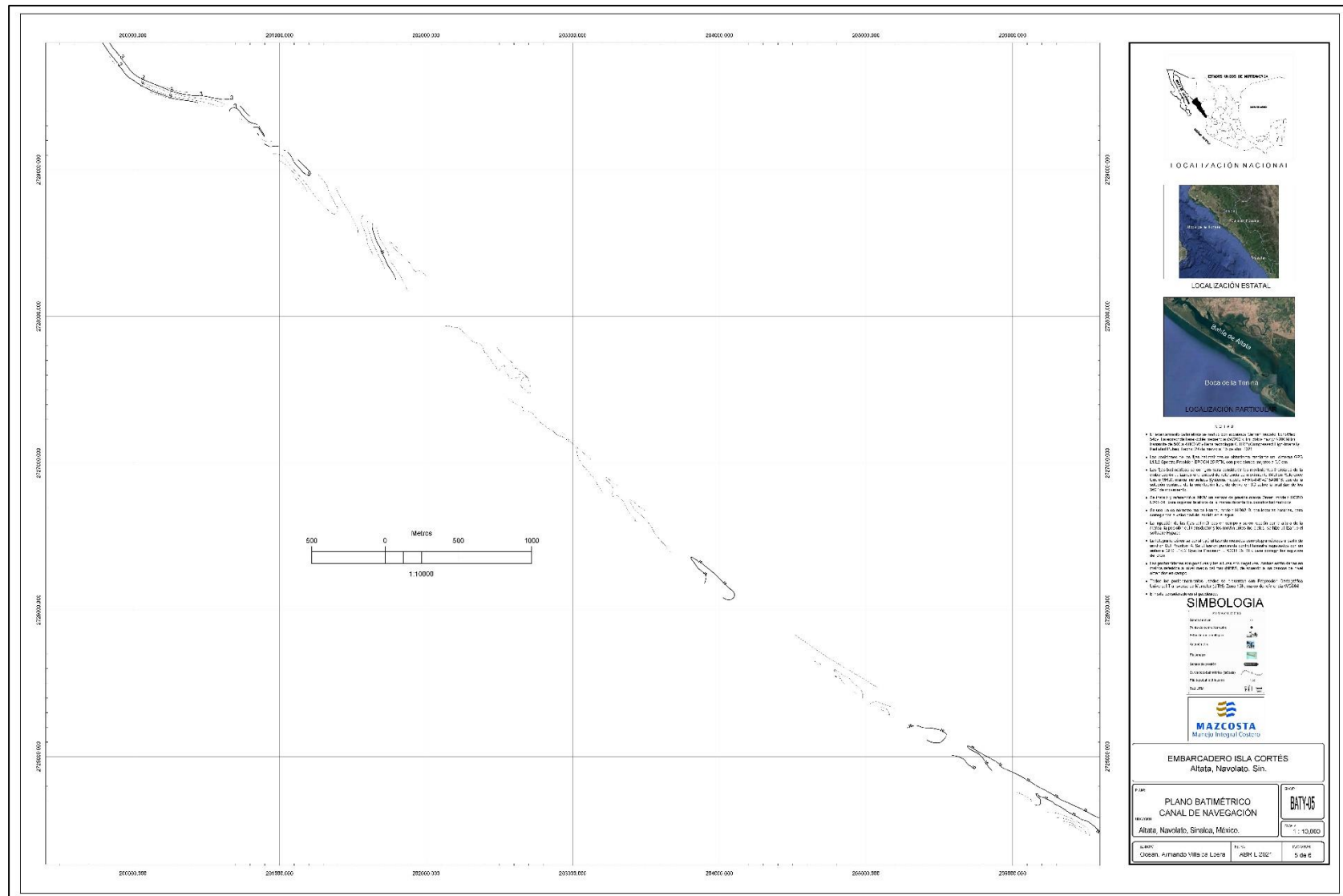


Figura 5.6.- Croquis del plano batimétrico del canal-3 (BATY-05)

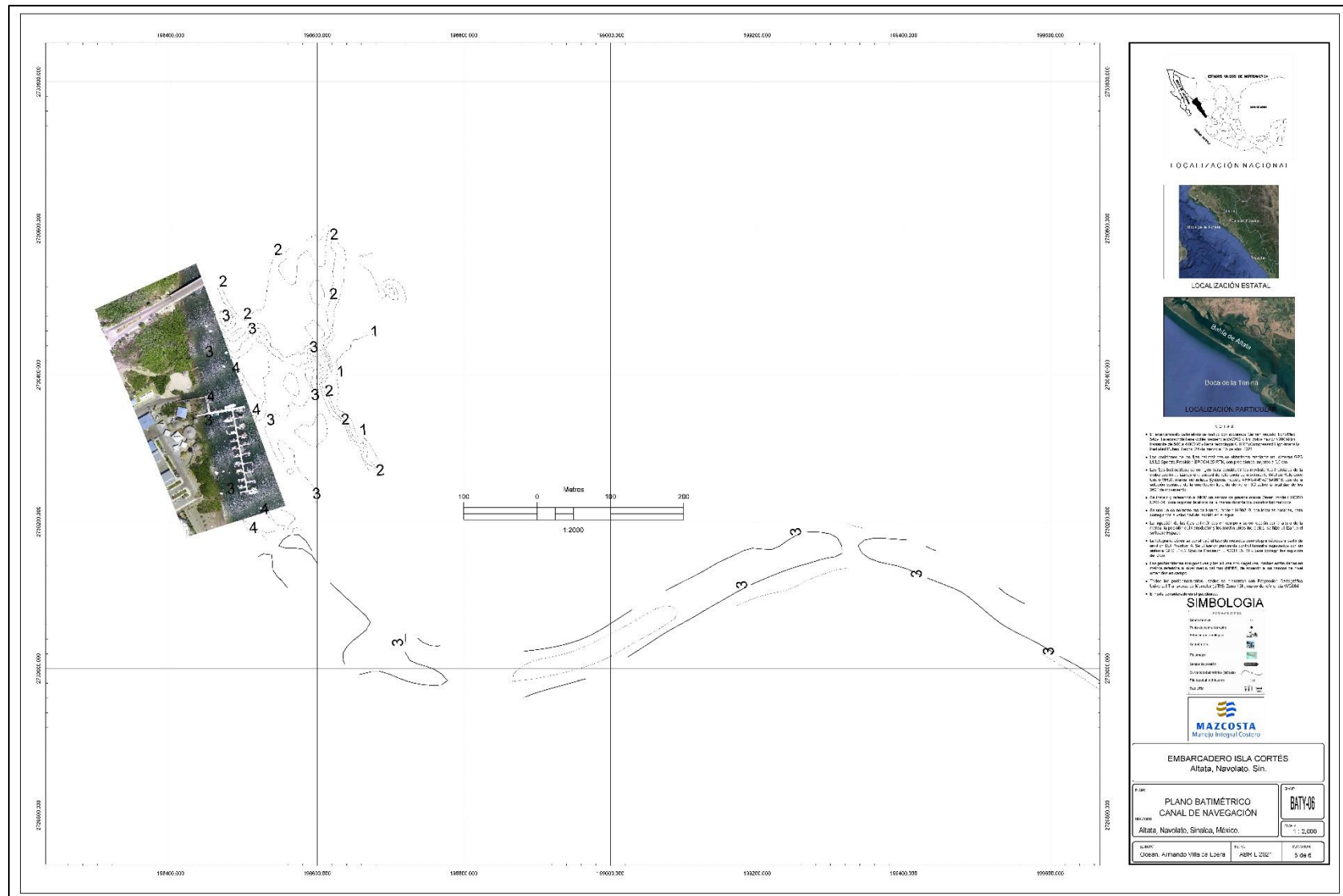


Figura 5.7.- Croquis del plano batimétrico de la Marina Isla Cortés (BATY-06)

5.2 Productos de apoyo a la navegación

La Secretaría de Marina, en su AVISO NÁUTICO No. 057/2019, del 28 de febrero 2019, manifiesta que están “Fuera de Servicio” las siguientes señales de ayudas a la navegación: Baliza de Altata, Boya de Recalada, Boya No. 1, Boya No. 2, Boya No. 3 y Boya No. 5 (Tabla 5.2). La Figura 5.8 muestra la localización de las señales de ayuda a la navegación, para la fecha arriba establecida.

En la Figura 5.9, se presenta el detalle batimétrico en la Boca de la Tonina y la localización de las boyas de navegación en esa zona. Se observa que la Boya 3 está sobre el bajo, a profundidades menores de 3.0 m respecto al nivel medio del mar y que la navegación entre la Boya 2 y la Boya 3 es peligrosa en las inmediaciones de la Boya 3. El canal de acceso a la Bahía de Altata está bien marcado en el mapa (Figura 5.9), con profundidades superiores a los 15.0 m.

Se generó un archivo en formato GPX, que es un formato universal utilizado en la mayoría de los equipos de navegación, para denotar las profundidades desde la Boca de la Tonina, hasta la Marina Isla Cortés. Este archivo GPX (NA_baty_202104.gpx), es básicamente un archivo de texto con la información geográfica de los sondeos batimétricos registrados en el área de estudio. Se puede copiar a la tarjeta SD del equipo de navegación o de la ecosonda, para desplegar estas profundidades (Figura 5.10).

Para equipos Garmin®, se generaron dos mapas en formato IMG que, una vez copiados a la tarjeta SD del equipo, se pueden desplegar los contornos batimétricos (10000011.IMG) en la Boca de la Tonina (Figura 5.11 y Figura 5.12) y también los sondeos batimétricos (20000011.IMG) a lo largo del área de estudio (Figura 5.10).

Para facilitar la navegación entre la boya de recalada y la Marina Isla Cortés, se elaboró una ruta siguiendo las partes del canal de acceso con profundidades mayores a los 3.0 m. La Tabla 5.3 presenta las coordenadas de los puntos incluidos en esta ruta de navegación. Cabe mencionar que, solo las boyas de recalada, la 2 y la 5, se encuentran físicamente en el área, pero, como ya se mencionó, aunque presentes, están fuera de servicio.

El detalle de la ruta de navegación sugerida que muestra el acceso a la Boca de la Tonina, se presenta en la Figura 5.13. En la Figura 5.14 se muestra toda la ruta de navegación, misma que se puede consultar en el archivo NA_navegacion.gpx, que puede ser cargado en la mayoría de equipos de navegación. En total, se deben cubrir cerca de 33.0 km entre la boya de recalada y la Marina Isla Cortés.

Tabla 5.2.- Coordenadas de las boyas de navegación en Bahía de Altata

Cuaderno de Faros	Señal	Situación Geográfica
25-380	Baliza Altata	Latitud 24°37'48.54" Norte Longitud 107°55'42.24" Oeste
25-385	Boya de Recalada	Latitud 24°28'21.96" Norte Longitud 107°50'51.9" Oeste
25-390	Boya No. 1	Latitud 24°29'4.62" Norte Longitud 107°50'18.54" Oeste
25-395	Boya No. 2	Latitud 24°29'4.62" Norte Longitud 107°49'44.61" Oeste
25-400	Boya No. 3	Latitud 24°31'2.46" Norte Longitud 107°50'10.44" Oeste
25-405	Boya No. 5	Latitud 24°32'34.2" Norte Longitud 107°47'59.46" Oeste

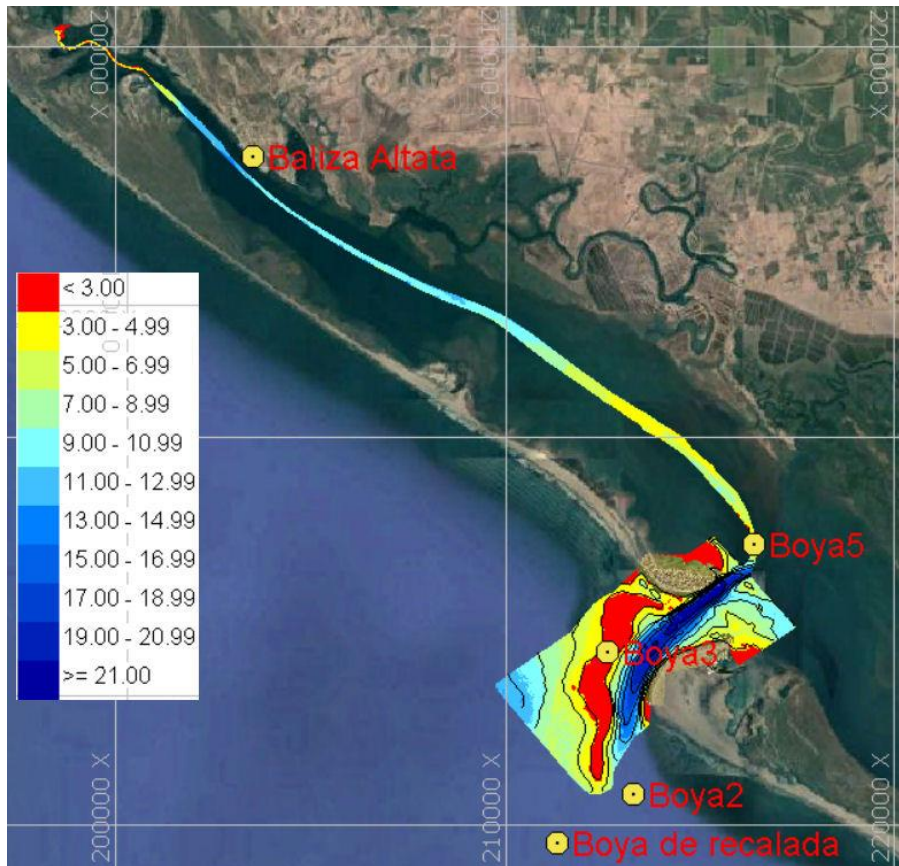


Figura 5.8.- Localización de las señales de ayuda a la navegación

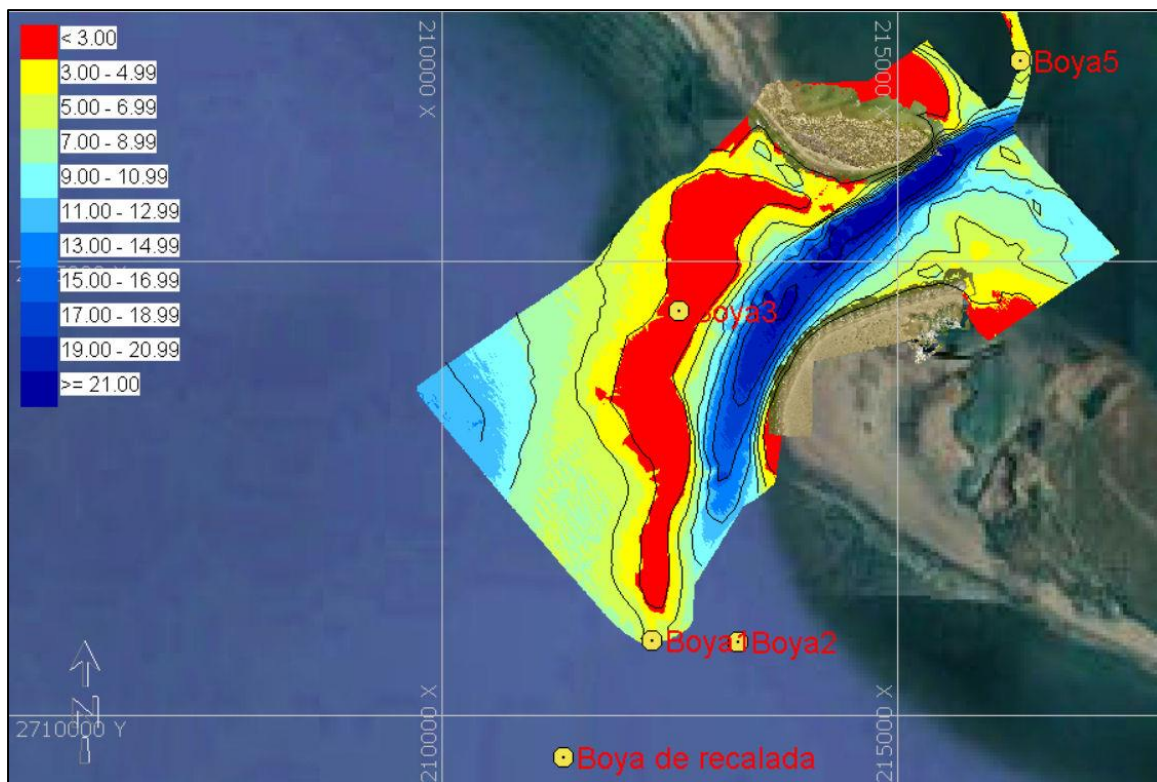


Figura 5.9.- Detalle de la batimetría en la Boca de la Tonina



Figura 5.10.- Mapa denotando los sondeos batimétrico en formato GPX

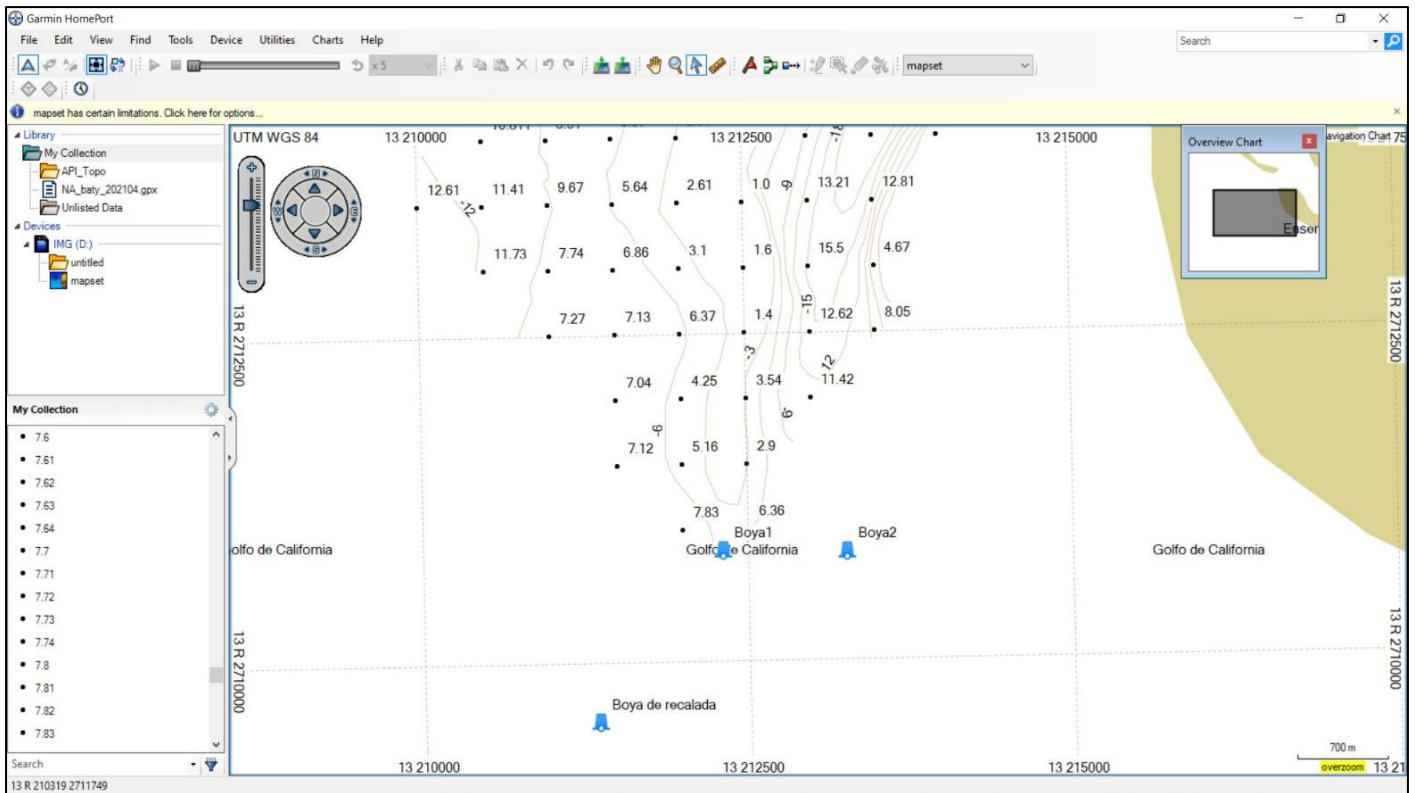


Figura 5.11.- Detalle batimétrico de la región externa de la Boca de la Tonina

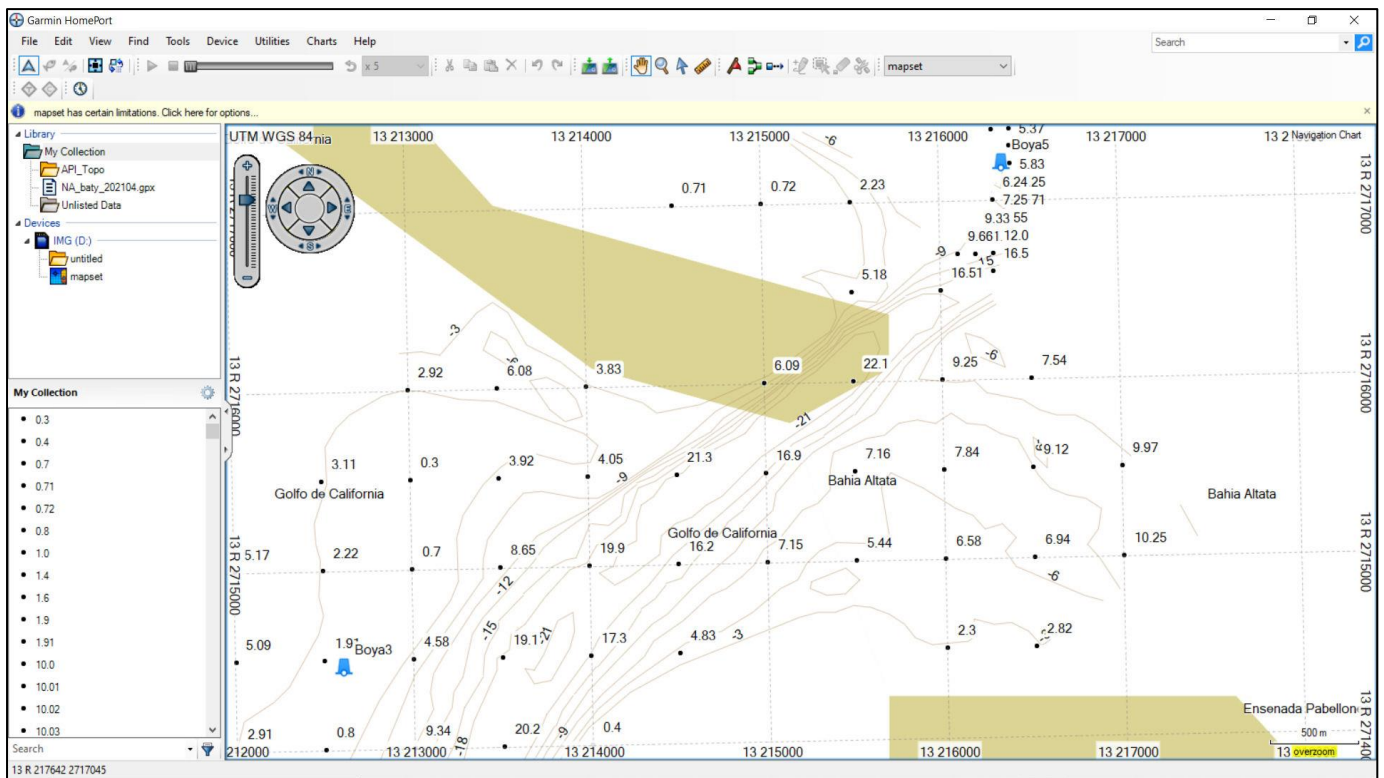


Figura 5.12.- Detalle batimétrico de la Boca de la Tonina

Tabla 5.3.- Puntos incluidos en la ruta de navegación sugerida

NOMBRE	ESTE	NORTE	WGS84 Lat	WGS84 Lon	PROF (mNMM)	DISTANCIA (m)	AZIMUT	DIST. ACUM. (m)
Boya de recalada	211341.650	2709543.370	24 28.366000 N	107 50.865001 W	25.00			0
Boya2	213264.220	2710817.530	24 29.077000 N	107 49.743500 W	23.00	2,306.460	56.466	2,306.460
01	213339.480	2713974.850	24 30.786695 N	107 49.737249 W	20.02	3,158.217	1.365	5,464.677
02	214070.410	2714914.610	24 31.303431 N	107 49.316239 W	20.73	1,190.549	37.875	6,655.226
03	216019.540	2716469.270	24 32.166399 N	107 48.181824 W	18.55	2,493.206	51.424	9,148.432
Boya5	216357.060	2717208.100	24 32.570000 N	107 47.991000 W	5.70	812.274	24.552	9,960.707
04	216181.970	2717954.320	24 32.971966 N	107 48.103581 W	5.68	766.486	346.795	10,727.193
05	214770.630	2719579.500	24 33.836008 N	107 48.958376 W	5.36	2,152.462	319.028	12,879.654
06	209943.790	2723003.420	24 35.635220 N	107 51.856986 W	10.00	5,917.906	305.350	18,797.560
07	208386.960	2723678.150	24 35.982795 N	107 52.786853 W	10.77	1,696.756	293.432	20,494.316
08	205691.590	2725039.870	24 36.689062 N	107 54.399349 W	10.41	3,019.818	296.803	23,514.134
09	203768.330	2726359.480	24 37.381131 N	107 55.554488 W	10.29	2,332.445	304.455	25,846.579
10	201463.110	2728700.820	24 38.621528 N	107 56.948971 W	6.40	3,285.713	315.445	29,132.292
11	200648.430	2729444.900	24 39.014712 N	107 57.440834 W	3.69	1,103.340	312.407	30,235.632
12	200127.100	2729550.870	24 39.065979 N	107 57.750882 W	3.66	531.991	281.490	30,767.623
13	199947.910	2729670.090	24 39.128400 N	107 57.858510 W	3.37	215.227	303.637	30,982.850
14	199775.310	2729909.980	24 39.256203 N	107 57.963786 W	3.91	295.530	324.265	31,278.380
15	199450.530	2730127.020	24 39.369855 N	107 58.158884 W	3.49	390.626	303.754	31,669.005
16	199280.020	2730155.920	24 39.383497 N	107 58.260220 W	3.18	172.942	279.620	31,841.947
17	198821.620	2729989.050	24 39.287816 N	107 58.529517 W	3.54	487.828	249.997	32,329.775
18	198720.980	2730015.490	24 39.300948 N	107 58.589454 W	3.33	104.055	284.720	32,433.830
19	198535.550	2730194.570	24 39.395681 N	107 58.701555 W	4.30	257.787	314.002	32,691.617



Figura 5.13.- Detalle de la ruta de navegación sugerida en la Boca de la Tonina

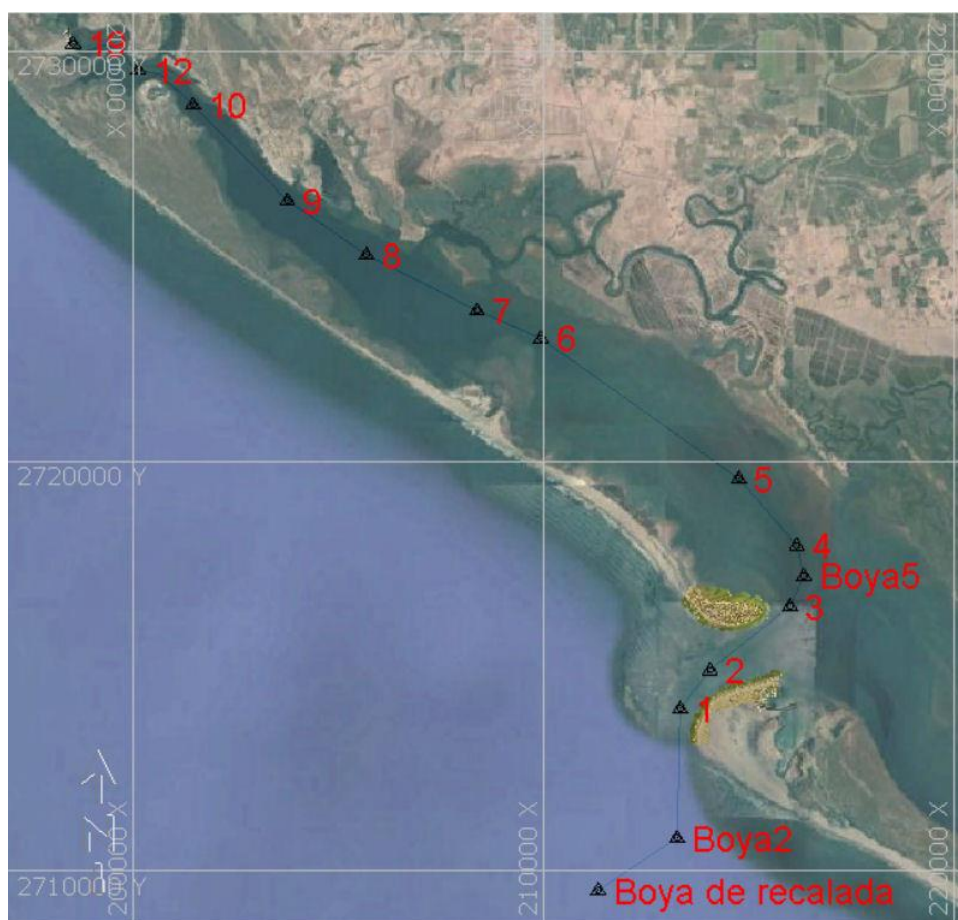


Figura 5.14.- Ruta de navegación sugerida (abril 2021)

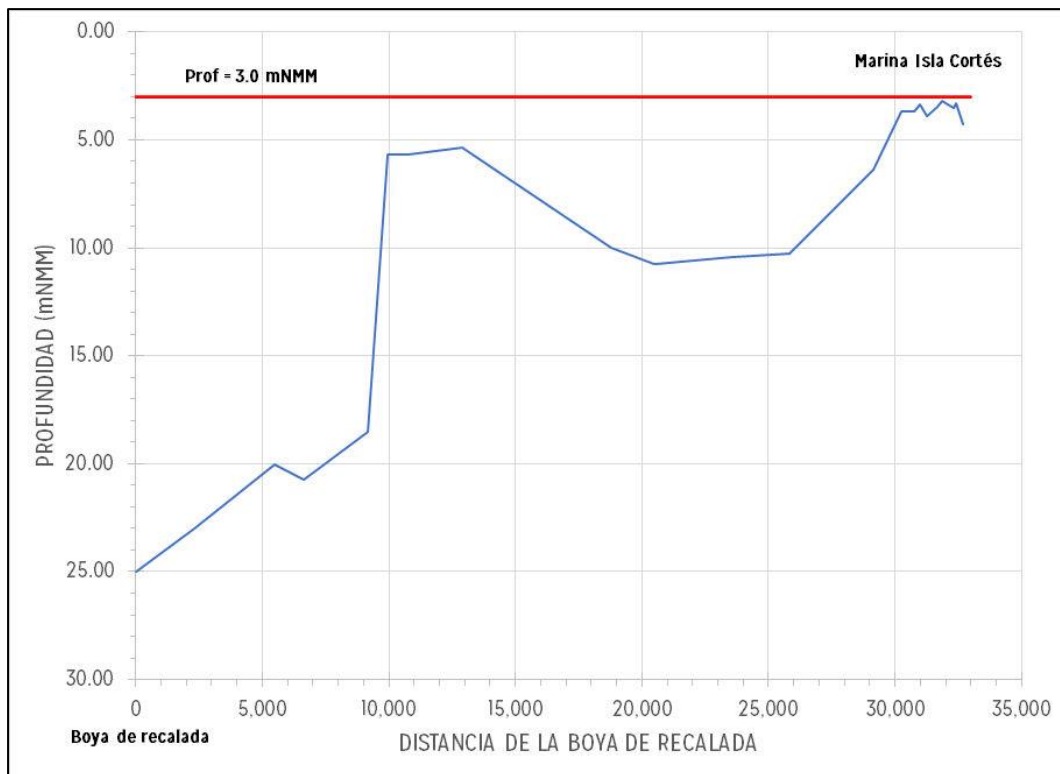


Figura 5.15.- Profundidades a lo largo de la ruta de navegación sugerida

5.3 Mareas

La [Figura 5.16](#) y [Figura 5.17](#) presentan los registros de la altura de la superficie libre del agua para las localidades Marina Isla Cortés (HOB02) y de Las Aguamitas (HOB03), Navolato, Sin. Las alturas están referidas al nivel medio del mar y al horario de invierno (GMT-7).

La serie de tiempo de la altura de la superficie libre del agua para la estación HOB02 (Marina Isla Cortés), mostró una altura máxima de 0.551 m y mínima de -0.959 m. El mayor rango de marea observado en la serie fue de 1.413 m, que corresponde a la diferencia de alturas entre la pleamar superior del día y la siguiente bajamar ([Figura 5.16](#)).

En el caso de la estación HOB03 (Las Aguamitas), la pleamar máxima registrada fue de 0.502 m y la bajamar inferior de -0.736 m. El rango máximo de marea observado durante el período de registro fue de 1.174 m ([Figura 5.17](#)).

El comparativo entre la marea registrada por los sensores de presión (HOB02 y HOB0 3) y la calculada (predicha) para Topolobampo, usando los componentes armónicos históricos, a partir del programa MAR del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), se presenta en la [Figura 5.18](#).

Se hizo un análisis de correlación cruzada entre la serie de tiempo de Topolobampo y la de Marina Isla Cortés ([Figura 5.19](#)) y se encontró una correlación de 0.918 entre estas series ([Figura 5.20](#)). Además, el desfase de la marea entre en Topolobampo y la Marina Isla Cortés (HOB02), resultó ser de 40 minutos ([Figura 5.21](#)). Esto quiere decir que, en promedio, las pleamares y bajamares en Marina Isla Cortés, se

retrasan 40 minutos con respecto a las de Topolobampo. No se encontró desfase en tiempo entre la marea en la Boca de la Tonina y Marina Isla Cortés.

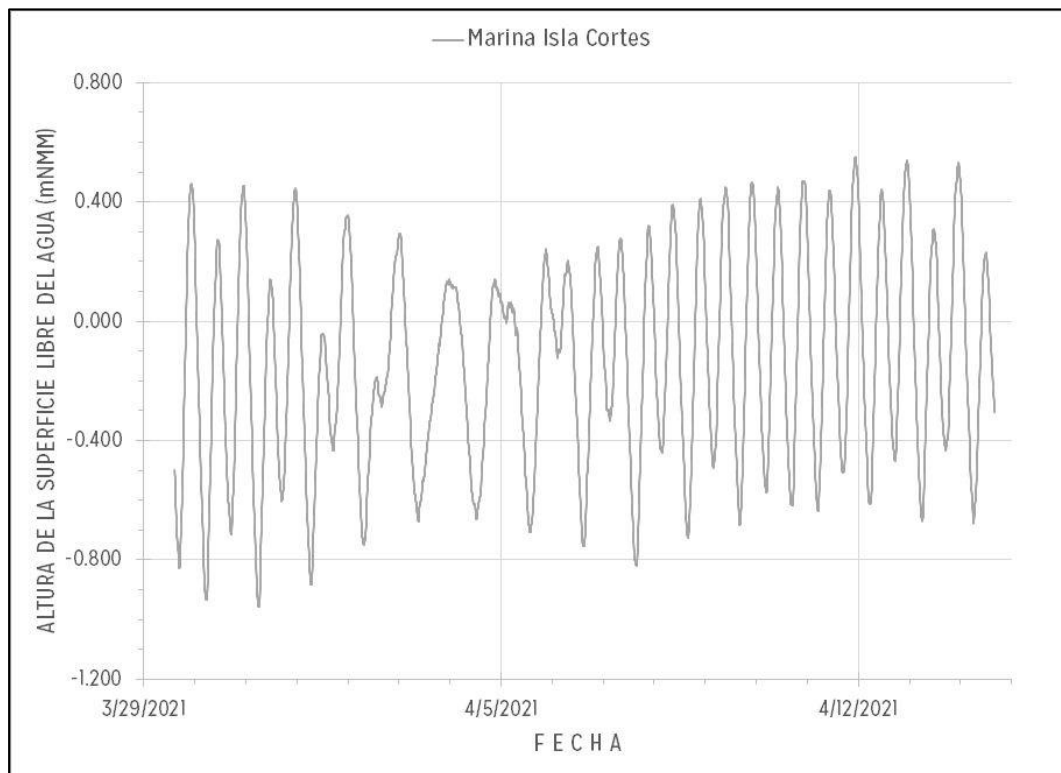


Figura 5.16.- Registro de la altura de la superficie libre del agua en la Marina Isla Cortés

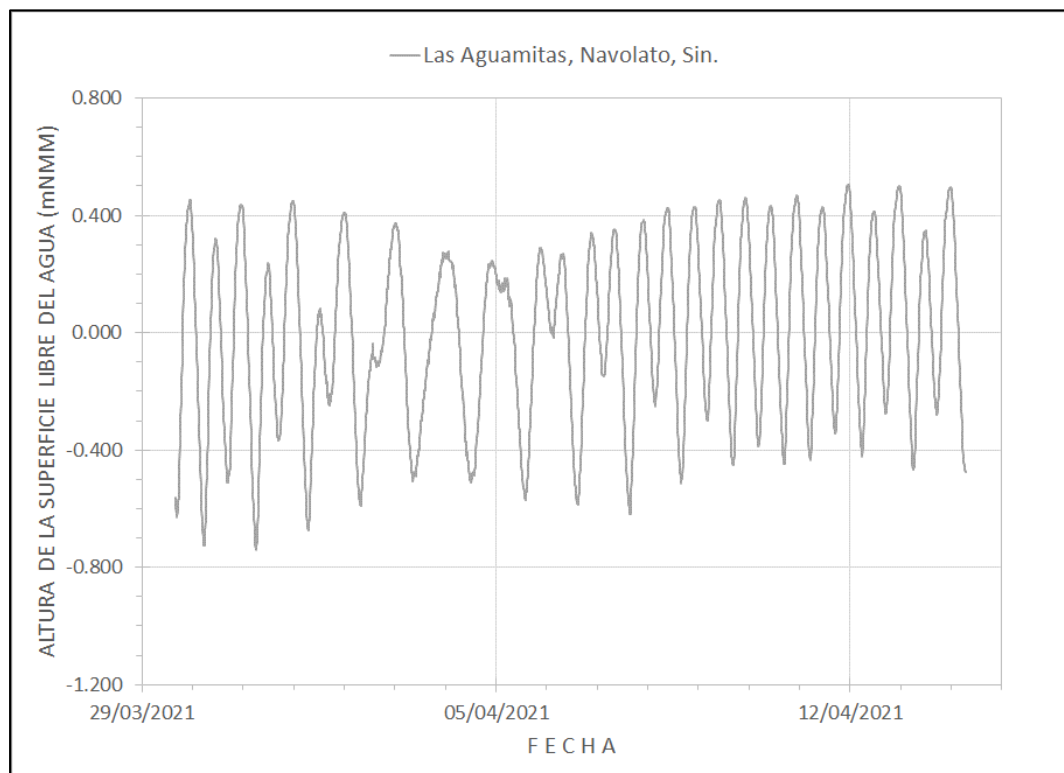


Figura 5.17.- Registro de la altura de la superficie libre del agua en Las Aguamitas

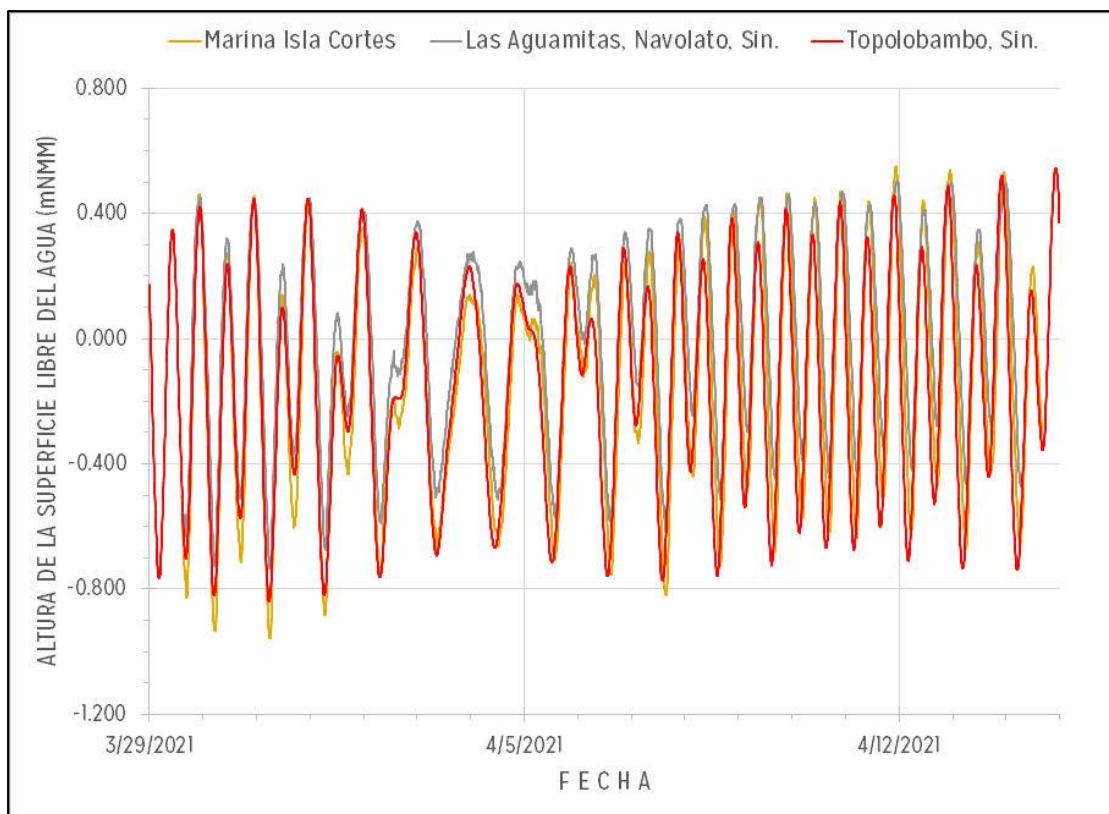


Figura 5.18.- Altura de la marea registrada (sensores de presión) y predicha (MAR-CICESE)

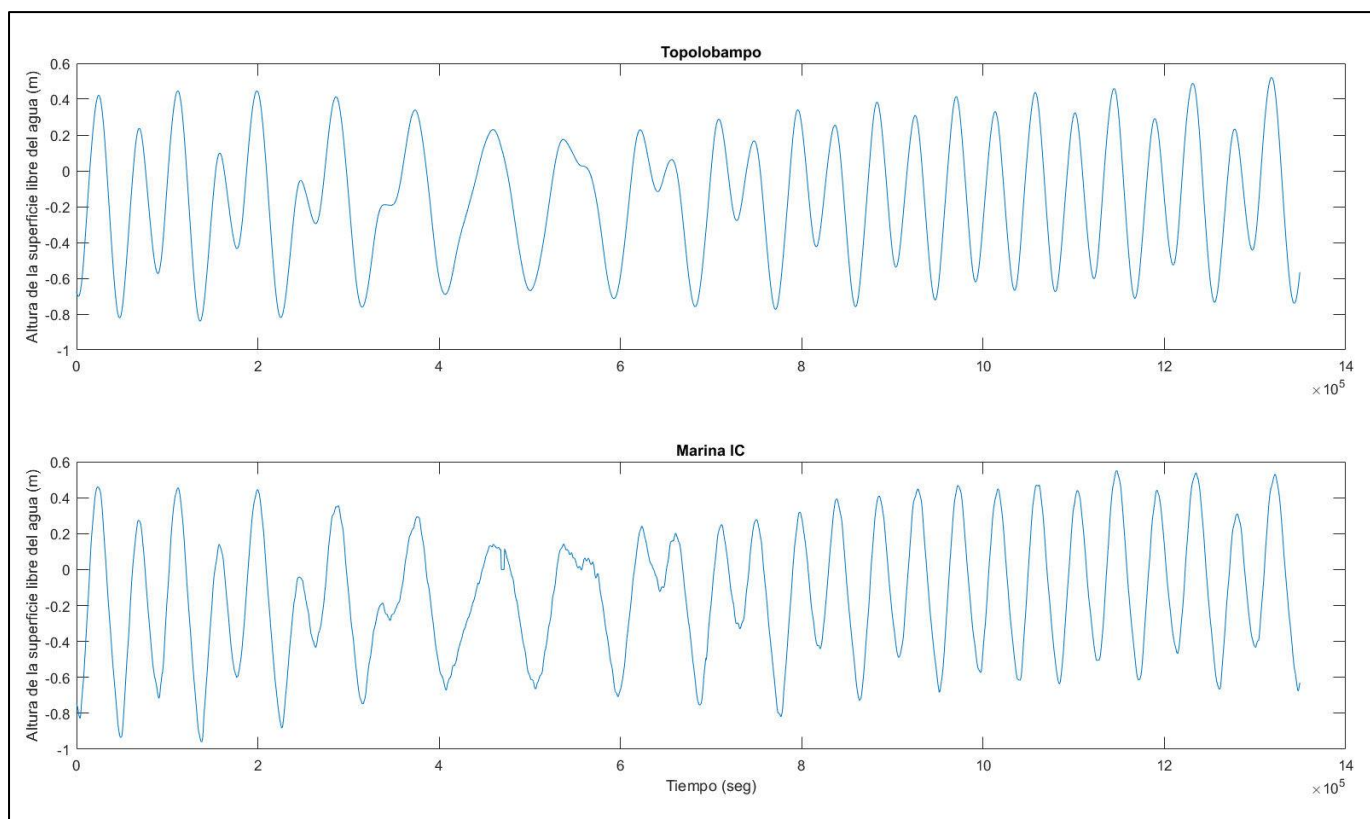


Figura 5.19.- Series de mareas analizadas

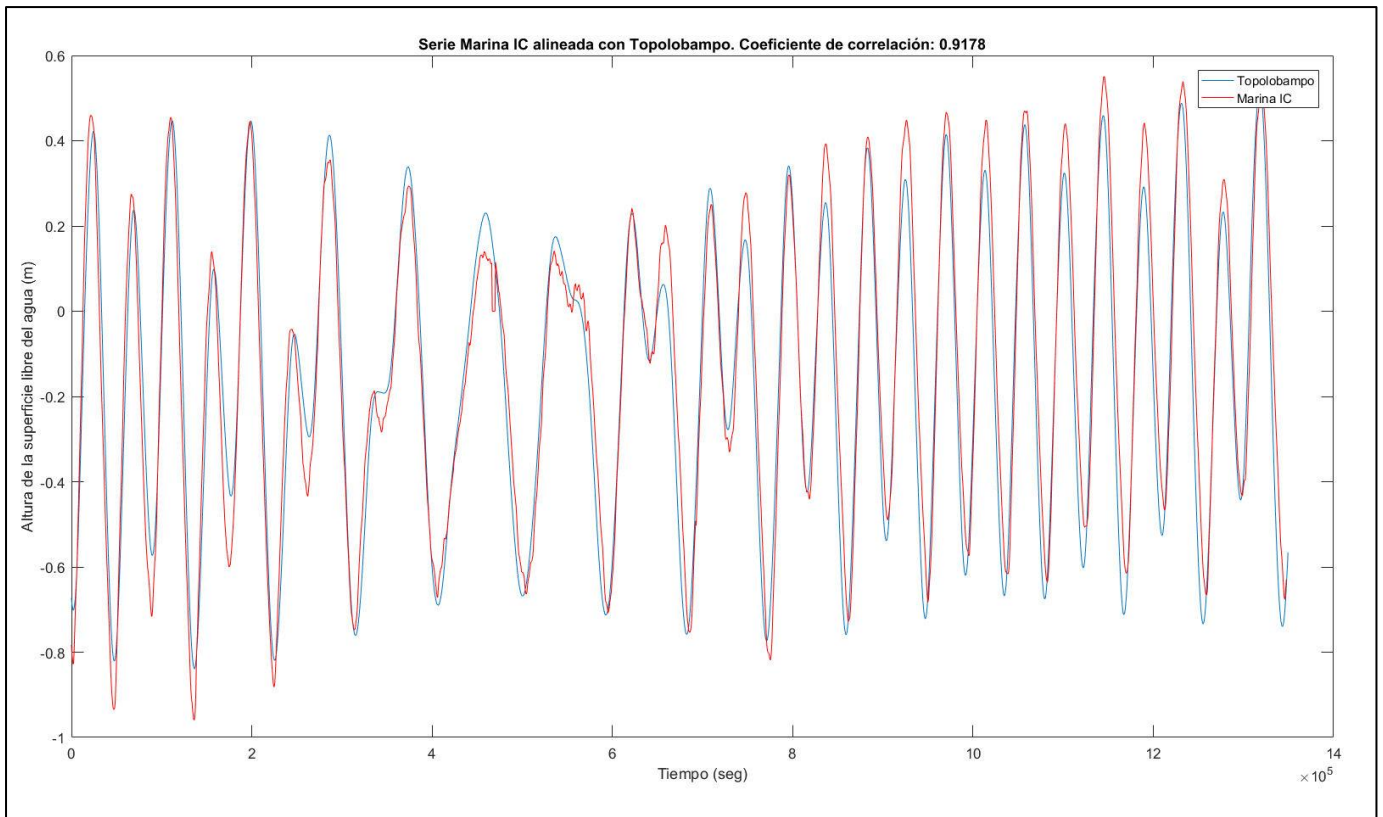


Figura 5.20.- Cálculo de la correlación entre las series de marea analizadas

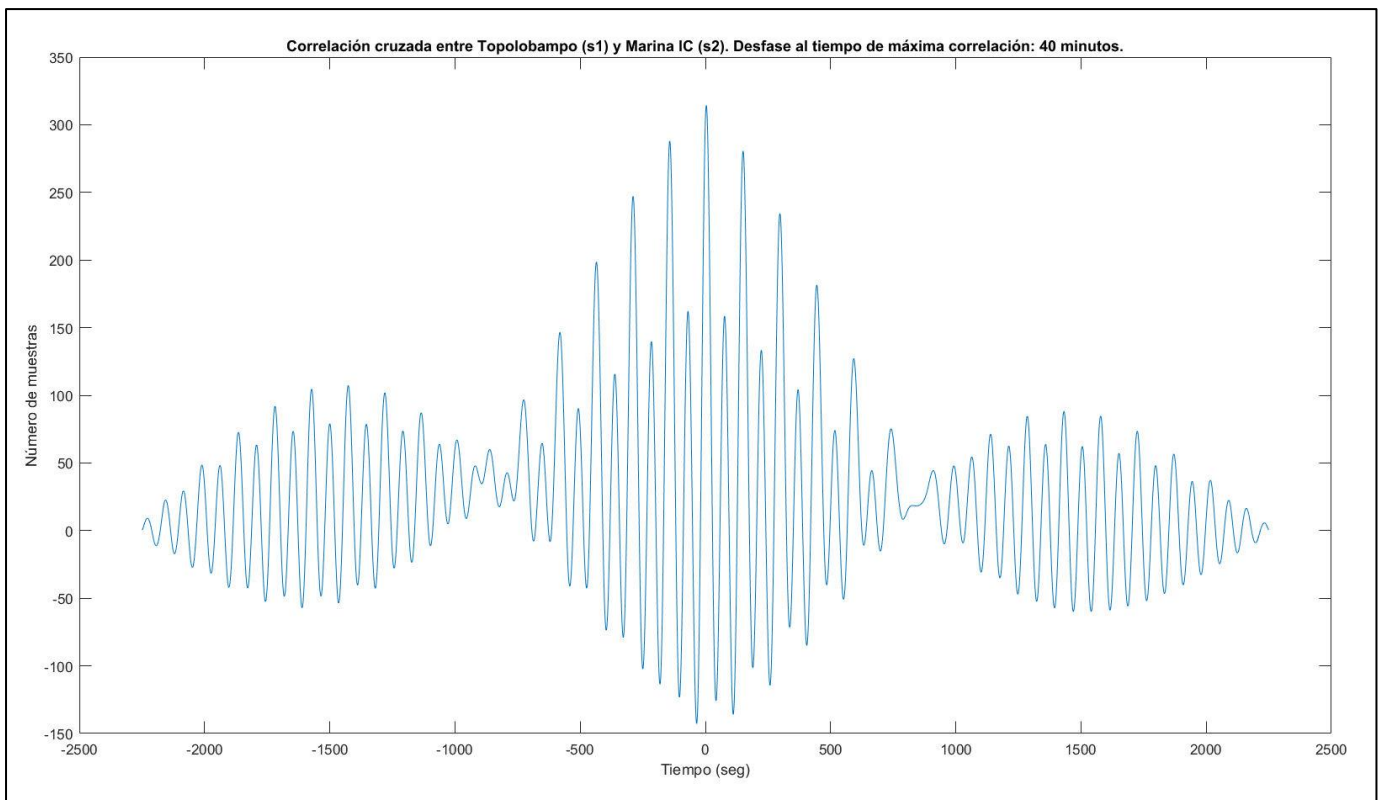


Figura 5.21.- Cálculo de desfase entre las series de marea analizadas

5.4 Aerofotogrametría

El objetivo de los vuelos fotogramétricos fue obtener imágenes aéreas actuales de las flechas norte y sur de la Boca de La Tonina, así como del área de la Marina Isla Cortés, ya que se observó que las imágenes de satélite actualmente disponibles en plataformas públicas, no están actualizadas, por que presentan cambios continuos en su morfología asociados a los procesos litorales en la zona.

Los tres orto mosaicos obtenidos del vuelo fotogramétrico se presentan en [Figura 5.22](#) para el Vuelo_Tonina01 (flecha norte); en la [Figura 5.23](#) para el Vuelo_Tonina02 (flecha sur) y en la [Figura 5.24](#) para el Vuelo_Marina (Marina Isla Cortés).

Las orto fotos tienen una resolución espacial de 5.00 cm para las ortos foto 01 y 02 y de 2.50 cm para la orto foto 03. Las imágenes, en su escala completa y con sus correspondientes archivos de geo referencia (tfw), se pueden consultar en los archivos [Marina_orto_210406_Clip.tif](#), [Tonina01_orto_210407.tif](#) y [Tonina02_orto_210407.tif](#), para Marina Isla Cortés, flecha norte (Tonina01) y flecha sur (Tonina02) de la Boca de la Tonina, respectivamente.

Por último, las imágenes aéreas se convirtieron en capas con formato KMZ para poder ser desplegadas en Google Earth®. Estas capas se pueden consultar en los archivos [Marina_orto_210406_clip.kmz](#), [Tonina01_orto_210407.kmz](#) y [Tonina02_orto_210407.kmz](#).

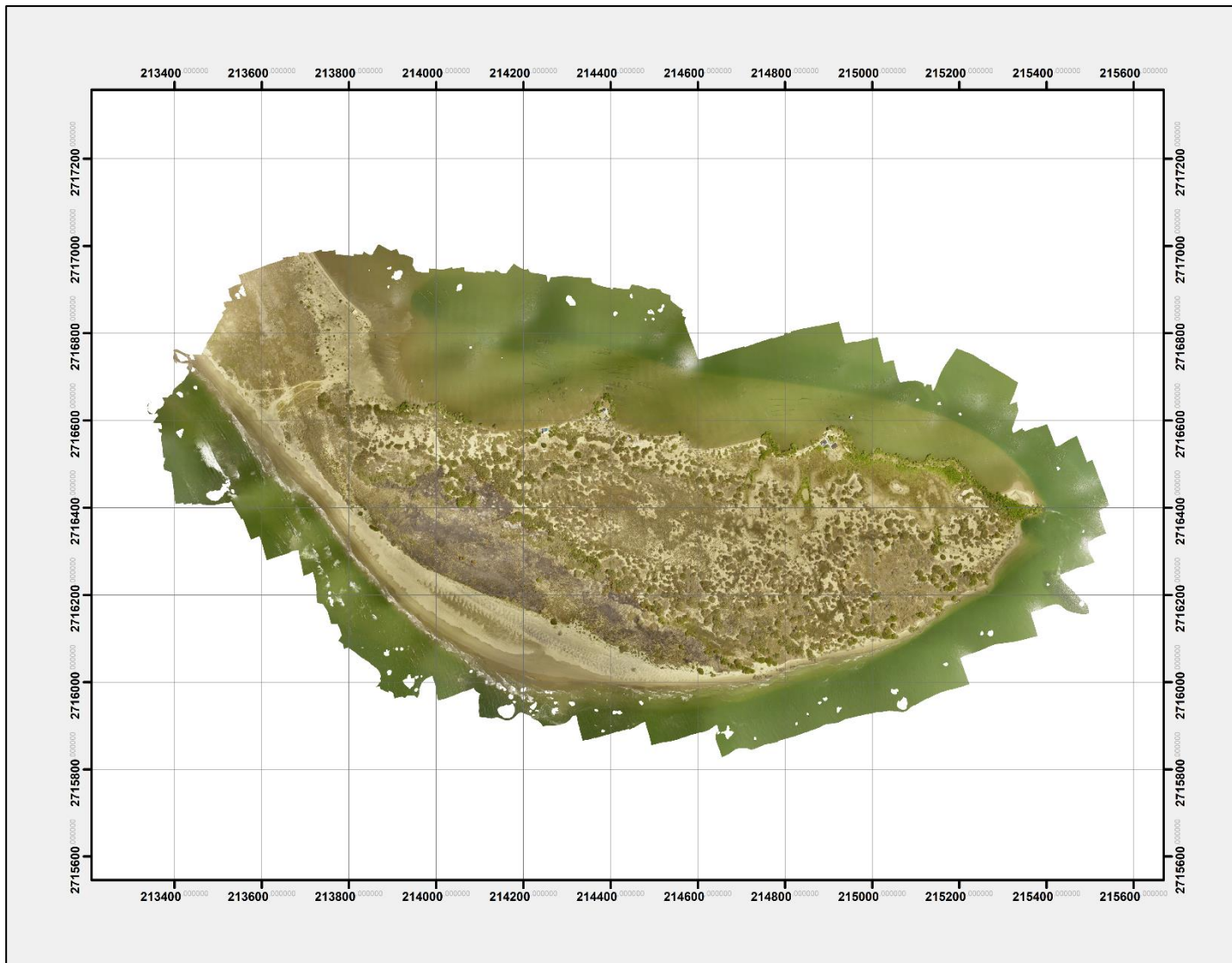


Figura 5.22.- Orto foto de la flecha norte de la Boca de la Tonina (Tonina01)

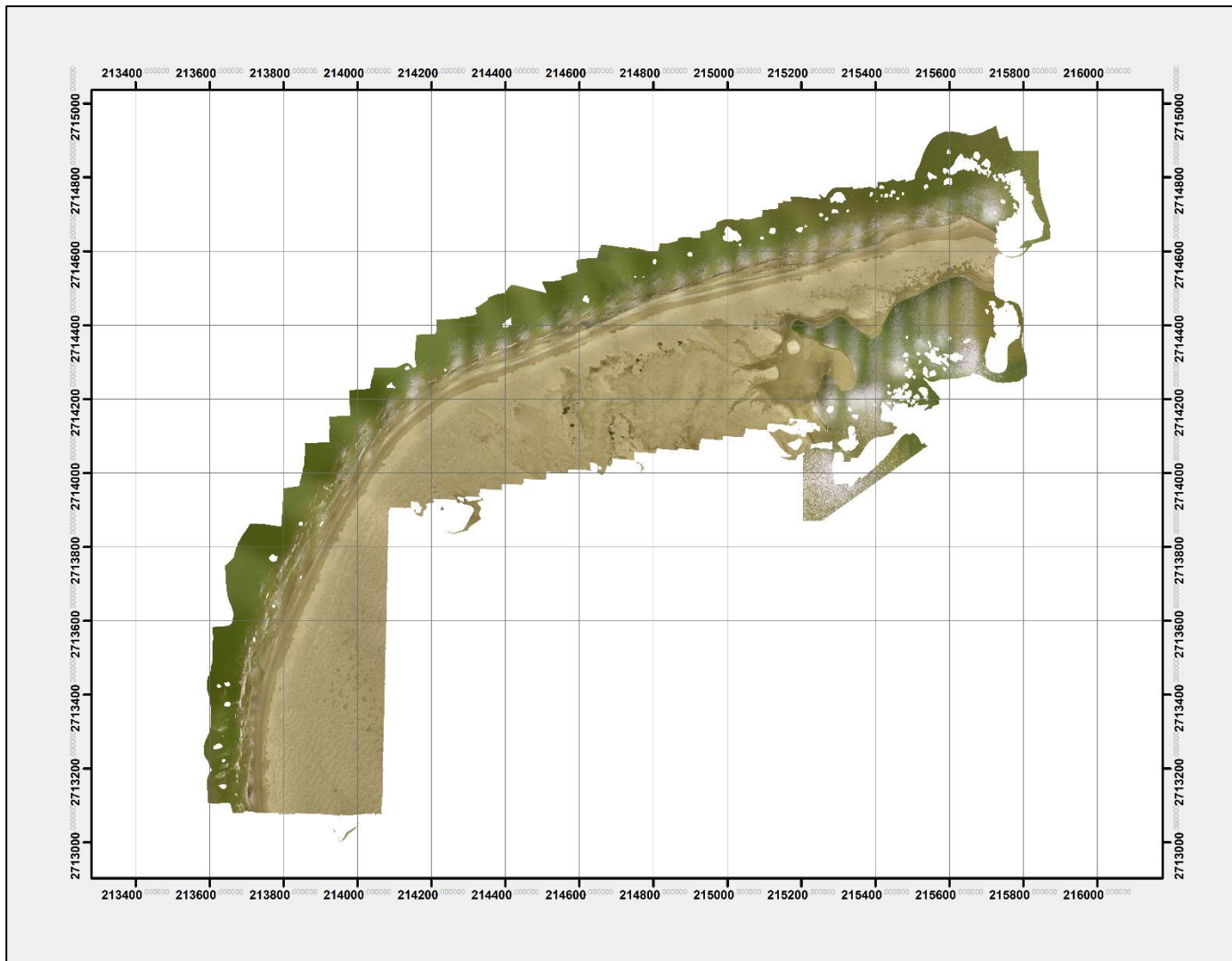


Figura 5.23.- Orto foto de la flecha sur de la Boca de la Tonina (Tonina02)

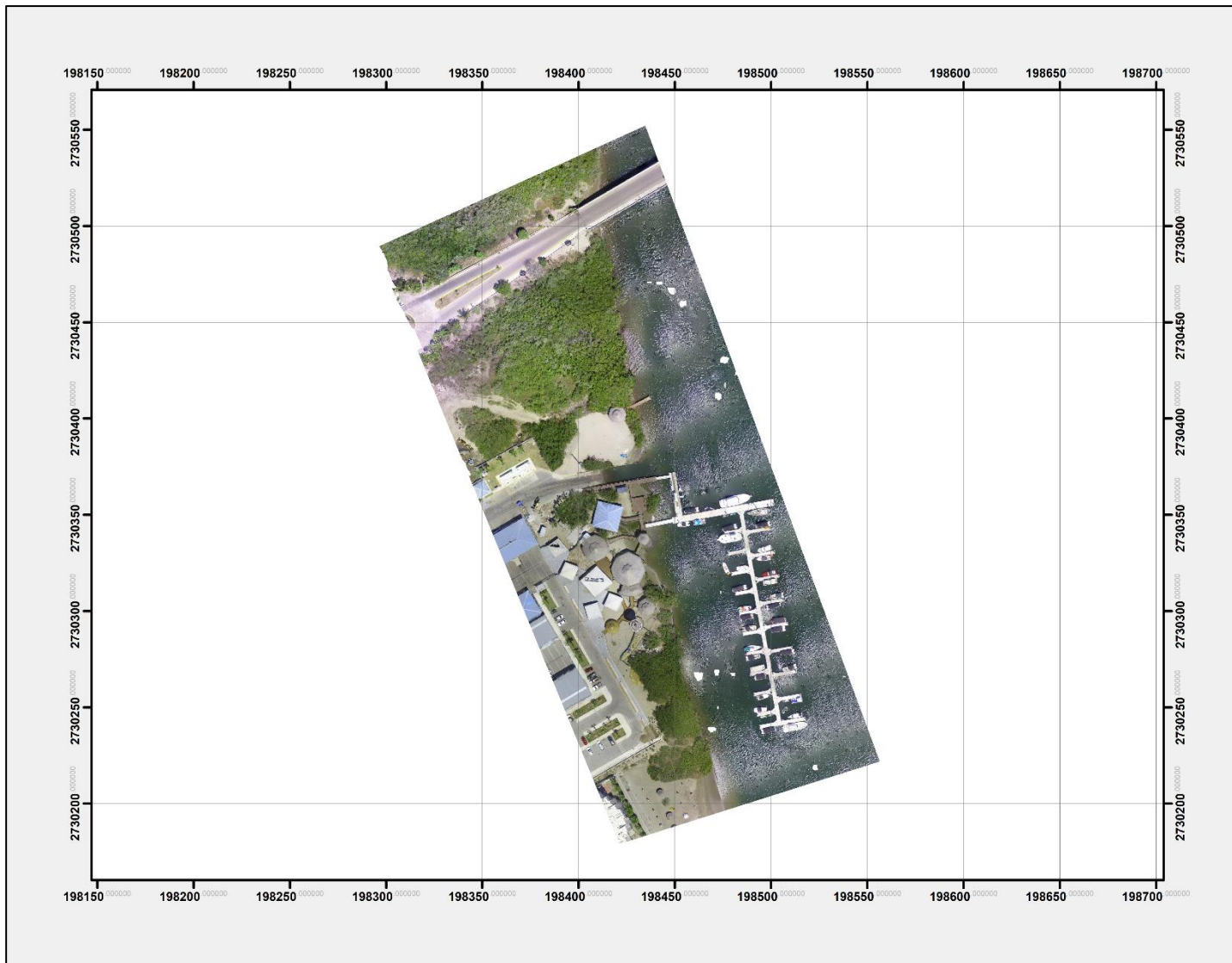


Figura 5.24.- Orto foto de la Marina Isla Cortés

6 DISCUSIÓN

La Boca de la Tonina representa un serio peligro para la navegación. Se requiere de un marinerero conocedor para poder sortear sin consecuencias los riesgos que el oleaje, las corrientes y los procesos litorales imponen sobre la navegación en esta zona.

El dinamismo de la boca de la Tonina es evidente. Es una boca con gran energía. Actualmente, la flecha sur se está moviendo hacia el norte y la flecha norte se está erosionando. Esto modifica de manera continua los canales de acceso a la Bahía de Altata y genera canales y bajos nuevos en poco tiempo.

Sin embargo, el canal de acceso está bien marcado (Figura 5.9) y, si estuviera correctamente señalado, disminuiría significativamente el riesgo de navegar la Boca de la Tonina en días con oleaje normal. El resto del canal de navegación hacia la Marina Isla Cortés también está bien delineado (Figura 5.8), con profundidades normalmente superiores a los 5.0 m, respecto al nivel medio del mar, salvo en la zona cercana a la Marina isla Cortés (Figura 5.15).

Los dos archivos generados, NA_baty_202104.gpx y NA_navegacion.gpx, deberán ser usados como apoyo a la navegación. Estos pueden ser cargados, generalmente a partir de una tarjeta SD, a la mayoría de equipos de navegación. El primer archivo contiene las profundidades registradas a lo largo del área de estudio (Figura 5.10) y el segundo contiene la ruta de navegación sugerida (Figura 5.14). Cabe mencionar que, debido a la dinámica de la Boca de la Tonina, esta información deberá actualizarse por lo menos cada 3 meses y unos días después de cada tormenta mayor.

Las alturas de la marea entre Topolobampo y la Bahía de Altata, son muy parecidas en amplitud y fase. Se calculó una correlación entre ambas localidades del 0.92. Esto indica que la marea en estas dos localidades tiene un 92.0% de similitud.

También, se calculó el desfase entre la marea de Topolobampo y la Bahía de Altata. Resulta que, para el período de muestreos, las pleamares y bajamares en la Bahía de Altata, sucedieron 40 minutos después que en Topolobampo. Este desfase puede ser utilizado a lo largo del año como una primera aproximación.

Se observó que las imágenes de satélite actualmente disponibles en plataformas públicas, no están actualizadas. Esto fue evidente al analizar los mosaicos de las dos flechas de la Boca de la Tonina, generados por las fotografías aéreas tomadas por el dron Phantom 4. Los cambios morfológicos continuos en la boca están asociados a los procesos litorales imperantes en esa zona.

7 RECOMENDACIONES

- Gestionar ante la SEMAR y SCT la correcta colocación de las boyas de navegación y su mantenimiento necesario para ponerlas en operación.
- Establecer la red de antenas necesaria, para tener comunicación continua, vía banda marina, con las embarcaciones que deseen navegar hacia la Marina Isla Cortés.
- Instalar una estación mareográfica y otra meteorológica, que generen la información de mareas y del clima, en tiempo real, para poderla distribuir como un servicio adicional a los usuarios de Marina Isla Cortés.

- Realizar la actualización de los sondeos batimétricos cada 3 meses y después de cada tormenta mayor y publicar esta información en beneficio de los usuarios de Marina Isla Cortés y del público en general.
- Diseñar los canales de navegación cercanos a la Marina Isla Cortés, para prolongar su vida útil, alargando los tiempos entre dragados y reduciendo los volúmenes de extracción. Esto se lleva a cabo implementando un modelo numérico de circulación, que resulte en la información necesaria para diseñar y validar correctamente los canales de navegación.

