



**MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE FACTORES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS PARA CUMPLIR CON EL “PROGRAMA DE EJECUCIÓN DE COMPROMISOS DE LA ADMINISTRACIÓN PORTUARIA INTEGRAL MANZANILLO S.A. DE C.V. (API MANZANILLO) DE LAS MEDIDAS CORRECTIVAS ORDENADAS POR LA PROCURADURÍA FEDERAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE (PROFEPA) EN LA RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NO. PFPA13.5/2C.27.5/0028/17/0110” PARA LOGRAR LA RESTAURACIÓN AMBIENTAL DE LAS LAGUNAS: VALLE DE LAS GARZAS Y CUYUTLÁN, COLIMA.**

**HIDRODINÁMICA EN LA LAGUNA DEL VALLE DE LAS GARZAS Y  
PUERTO INTERIOR DE SAN PEDRITO.**

**INFORME ANUAL AGOSTO 2019-JULIO 2020**

Responsable: Marco Galicia Pérez

Elaboró: Marco Galicia Pérez

Revisó: Manuel Patiño Barragán



**Agosto, 2020**

## ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
I.1. Antecedentes .....	3
I.2. Objetivo del programa. ....	4
<b>II. INDICADORES AMBIENTALES Y METAS DEL PROGRAMA. ....</b>	<b>5</b>
<b>III. DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS-METODOLOGÍA EMPLEADA.....</b>	<b>5</b>
III.1. Área de estudio en agosto 2019. ....	5
III.2 Área de estudio en septiembre 2019. ....	6
III.3 Área de estudio en octubre 2019.....	7
III.4 Área de estudio en noviembre 2019. ....	8
III.5 Área de estudio en diciembre 2019. ....	9
III.6 Área de estudio en enero 2020. ....	10
III.7 Área de estudio en febrero 2020. ....	11
III.8 Área de estudio en marzo 2020.....	12
III.9 Área de estudio en abril 2020.....	14
III.10 Área de estudio en mayo 2020.....	15
III.11 Área de estudio en junio 2020.....	17
III.12 Área de estudio en julio 2020.....	18
<b>III.2 Actividades en campo. ....</b>	<b>20</b>
III.2.1. Actividades de campo en agosto 2019. ....	20
III.2.2. Actividades de campo en septiembre 2019. ....	21
III.2.3. Actividades de campo en octubre 2019.....	23
III.2.4. Actividades de campo en noviembre 2019. ....	24
III.2.5. Actividades de campo en diciembre 2019. ....	25
III.2.6. Actividades de campo en enero 2020.....	26
III.2.7. Actividades de campo en febrero 2020.....	27
III.2.8. Actividades de campo en marzo 2020.....	28

III.2.9. Actividades de campo en abril 2020.....	29
III.2.10. Actividades de campo en mayo 2020.....	30
III.2.11. Actividades de campo en junio 2020.....	31
III.2.12. Actividades de campo en julio 2020.....	32
<b>IV. RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
IV.1 Nivel del agua en agosto 2019.....	33
IV.2 Nivel del agua en septiembre 2019.....	36
IV.3 Nivel del agua en octubre 2019.....	40
IV.4 Nivel del agua, marea y temperatura del agua en noviembre 2019.....	43
IV.5 Nivel del agua, marea y temperatura del agua en diciembre 2019.....	50
IV.6 Nivel del agua, marea, temperatura y salinidad del agua en enero 2020.....	55
IV.7 Nivel del agua, marea, temperatura y salinidad del agua en febrero 2020.....	62
IV.8 Nivel del agua, marea, temperatura, salinidad y velocidad de la corriente en marzo 2020.....	69
IV.9 Nivel del agua, marea, temperatura, salinidad y velocidad de la corriente en abril 2020.....	78
IV.10 Nivel del agua, marea, temperatura, salinidad y velocidad de la corriente en mayo 2020.....	86
IV.11 Nivel del agua, marea, temperatura, salinidad y velocidad de la corriente en junio 2020.....	94
IV.12 Nivel del agua en julio 2020.....	105
<b>V. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>115</b>
V.1 Nivel del agua en agosto de 2019.....	115
V.2 Nivel del agua en septiembre de 2019.....	116
V.3 Nivel del agua en octubre de 2019.....	117
V.4 Nivel del agua y temperatura en noviembre de 2019.....	118
V.5 Nivel del agua, marea y temperatura en diciembre de 2019.....	120
V.6 Nivel del agua, marea, temperatura y salinidad del agua en enero de 2020.....	121
V.7 Nivel del agua, marea, temperatura y salinidad del agua en febrero de 2020.....	123
V.8 Nivel del agua, marea, temperatura, salinidad y velocidad de la corriente en marzo de 2020.....	126
V.9 Nivel del agua, marea, temperatura, salinidad y velocidad de la corriente en abril de 2020.....	129
V.10 Nivel del agua, marea, temperatura, salinidad y velocidad de la corriente en mayo de 2020.....	133

V.11 Nivel del agua, marea, temperatura, salinidad y velocidad de la corriente en junio de 2020. ....	138
V.12 Nivel del agua en julio de 2020. ....	142
<b>VI. MODELACIÓN HIDRODINÁMICA NUMÉRICA DE LA LAGUNA DEL VALLE DE LAS GARZAS. ....</b>	<b>146</b>
VI.1 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en agosto de 2019. ....	146
VI.2 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en septiembre 2019.....	150
VI.3 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en octubre 2019. ....	153
VI.4 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en noviembre 2019.....	159
VI.5 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en diciembre 2019.....	163
VI.6 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en enero 2020. ....	170
VI.7 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en febrero 2020. ....	179
VI.8 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en marzo 2020. ....	189
VI.9 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en abril 2020. ....	195
VI.10 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en mayo 2020. ....	201
VI.11 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito en junio 2019. ....	207

VI.12 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito en julio 2019.	215
<b>VII. TENDENCIA DE LA CALIDAD AMBIENTAL.</b>	<b>222</b>
<b>VIII. SUGERENCIAS PARA MEJORAR LA CALIDAD AMBIENTAL.</b>	<b>222</b>
<b>IX. CONCLUSIONES</b>	<b>222</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>224</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H2, H3 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.	6
Figura 2. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H2, H3 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.	7
Figura 3. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2, H3 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.	8
Figura 4. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2, H3 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.	9
Figura 5. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H2, H3 y H4) y ADP en la Laguna del Valle de las Garzas.	10
Figura 6. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.	11
Figura 7. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.	12
Figura 8. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.	13
Figura 9. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.	14
Figura 10. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.	16
Figura 11. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.	17

Figura 12. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.....	19
Figura 13. Instalación del Hobo (H2) abajo del puente de la carretera Manzanillo-Cihuatlán. ....	20
Figura 14. Instalación del tubo de la draga en la laguna del Valle de las Garzas.....	21
Figura 15. Instalación del Hobo (H2) abajo del puente de la carretera Manzanillo-Cihuatlán. ....	22
Figura 16. Instalación del tubo de la draga en la laguna del Valle de las Garzas.....	22
Figura 17. Instalación del Hobo (H1 y H2) en la Laguna del Valle de las Garzas y abajo del puente de la carretera Manzanillo-Cihuatlán. ....	23
Figura 18. Draga trabajando en la laguna del Valle de las Garzas.....	24
Figura 19. Instalación del Hobo (H1a y H2) en la Laguna del Valle de las Garzas y abajo del puente de la carretera Manzanillo-Cihuatlán. ....	25
Figura 20. Instalación del Hobo (H1a y H2) en la Laguna del Valle de las Garzas y abajo del puente de la carretera Manzanillo-Cihuatlán. ....	26
Figura 21. Instalación del Hobo (H1a y H2) en la Laguna del Valle de las Garzas y en el muelle de API. ....	27
Figura 22. Instalación y colecta de datos del Hobo (H1a y H2) en la Laguna del Valle de las Garzas y en el muelle de API.....	28
Figura 23. Instalación del ADP1 y colecta de datos del Hobo (H1a y H2) en la Laguna del Valle de las Garzas y en el Canal de comunicación laguna-puerto Interior.....	29
Figura 24. Instalación del ADP1 y colecta de datos del Hobo (H1a y H2) en la Laguna del Valle de las Garzas y en el Canal de comunicación laguna-puerto Interior.....	30
Figura 25. Instalación del ADP1 y colecta de datos del Hobo (H1a y CC) en la Laguna del Valle de las Garzas y en el Canal de comunicación Laguna-Puerto Interior. ....	31
Figura 26. Instalación del ADP1 y colecta de datos del Hobo (H1a y CC) en la Laguna del Valle de las Garzas y en el Canal de comunicación Laguna-Puerto Interior. ....	32
Figura 27. Instalación del ADP1 y colecta de datos del Hobo (H1a y CC) en la Laguna del Valle de las Garzas y en el Canal de comunicación Laguna-Puerto Interior. ....	33
Figura 28. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min para agosto 2019 en LVG. ....	34
Figura 29. Diferencia de nivel de agua en los 2 sitios durante agosto de 2019.....	35
Figura 30. Análisis armónico de la marea cada 15 min en C. Navegación y Gavión (agosto, 2019). ....	36
Figura 31. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min para septiembre 2019 en LVG. ....	37
Figura 32. Diferencia de nivel de agua en los 2 sitios durante septiembre de 2019.....	38

Figura 33. Análisis armónico de la marea cada 15 min en C. Navegación y Gavión (sept., 2019). .....	39
Figura 34. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min para octubre 2019 en LVG. ....	41
Figura 35. Diferencia de nivel de agua en los 3 sitios durante octubre de 2019. ....	41
Figura 36. Análisis armónico de la marea cada 15 min en C. Navegación, Gavión y H1a (octubre, 2019). .....	43
Figura 37. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación San Pedrito (CN), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) durante noviembre de 2019. ....	44
Figura 38. Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación San Pedrito (CN), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) durante noviembre de 2019. ....	45
Figura 39. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a noviembre de 2019. ....	46
Figura 40. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min para noviembre 2019 en LVG. ....	47
Figura 41. Análisis armónico de la marea cada 15 min en C. Navegación, el Gavión y H1a (nov. 2019). ....	48
Figura 42. Variación de la temperatura del agua en los 2 sitios de la LVG durante noviembre 2019. ....	49
Figura 43. Variación de la temperatura del agua en el sitio Gavión y H1a durante noviembre 2019. ....	50
Figura 44. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación San Pedrito (CN), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) durante diciembre de 2019. ....	50
Figura 45. Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación San Pedrito (CN), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) durante diciembre de 2019. ....	51
Figura 46. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019. ....	52
Figura 47. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min en diciembre 2019 en LVG. ....	53
Figura 48. Análisis armónico de la marea cada 15 min en C. Navegación, el Gavión y H1a (dic. 2019). ....	54
Figura 49. Variación de la temperatura del agua en los 2 sitios de la LVG en diciembre 2019. ....	55

Figura 50. Variación de la temperatura del agua en el sitio Gavión y H1a en diciembre 2019. ....	55
Figura 51. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante enero de 2020. ....	56
Figura 52. Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación (CN), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante enero de 2019. ....	56
Figura 53. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y enero 2020. ....	57
Figura 54. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min en enero 2020 en LVG. ....	58
Figura 55. Análisis armónico de la marea cada 15 minutos en C. Navegación, el Gavión, H1a y H1 (ene., 2020). ....	59
Figura 56. Variación de la temperatura del agua en los 4 sitios de la LVG en enero 2020. ....	60
Figura 57. Variación de la temperatura del agua en el sitio Canal de Navegación, el Gavión, H1a y H1 en enero, 2020. ....	60
Figura 58. Variación de la salinidad del agua en sitio C. Navegación, Gavión y en H1 (c) durante enero 2020. ....	61
Figura 59. Variación de la salinidad del agua en el sitio Canal de Navegación, el Gavión y H1, así como los tres sitios, en enero, 2020. ....	62
Figura 60. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN), el Gavión (H2) y la parte centro y Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante febrero de 2020. ....	63
Figura 61. Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación San Pedrito (CN), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante febrero de 2019. ....	63
Figura 62. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a febrero 2020. ....	64
Figura 63. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min en febrero 2020 en LVG. ....	65
Figura 64. Análisis armónico de la marea cada 15 minutos en C. Navegación, el Gavión, H1a y H1 (feb., 2020). ....	66
Figura 65. Variación de la temperatura del agua en los 4 sitios de la LVG en febrero 2020. ....	67
Figura 66. Variación de la temperatura del agua en el sitio Canal de Navegación, el Gavión, H1a y H1 en febrero, 2020. ....	67

Figura 67. Variación de la salinidad en los sitios C. Navegación, Gavión, H1a y H1 durante febrero 2020. ....	68
Figura 68. Variación de la salinidad del agua en el sitio Canal de Navegación, el Gavión, H1a y H1 en febrero, 2020. ....	68
Figura 69. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN), el Gavión (H2) y la parte centro y Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1), así como Canal de comunicación laguna-puerto interior (CC) durante marzo de 2020. ....	69
Figura 70. Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación San Pedrito (CN), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante marzo de 2020. ....	70
Figura 71. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a marzo 2020. ....	71
Figura 72. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min en marzo 2020 en LVG. ....	72
Figura 73. Análisis armónico de la marea cada 15 minutos en C. Navegación, el Gavión, H1a y H1 (mar., 2020). ....	73
Figura 74. Variación de la temperatura del agua en los 4 sitios de la LVG en marzo. 2020. ....	73
Figura 75. Variación de la temperatura del agua en el Canal de Navegación, el Gavión, H1a y H1 en marzo, 2020. ....	74
Figura 76. Variación de la salinidad en los sitios C. Navegación, Gavión, H1a y H1 durante marzo, 2020. ....	74
Figura 77. Variación de la salinidad del agua en el sitio Canal de Navegación en marzo, 2020. ....	75
Figura 78. Serie de tiempo del mes de marzo 2020 (ADP 1). Se muestra la elevación de la superficie libre referenciada al nmm debida a la marea y la variación de la velocidad en la componente zonal (Este-Oeste) y meridional (Norte-Sur). Convención: Norte y Este con signo positivo. ....	76
Figura 79. Rosa de corrientes. Se muestra intensidad y dirección de las corrientes medidas en el Canal de Comunicación (CC) durante el mes de marzo 2020. ....	76
Figura 80. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC) y la parte Centro-Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante abril de 2020. ....	78
Figura 81. Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) en abril 2020. ....	79
Figura 82. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a abril 2020. ....	79

Figura 83. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min en los sitios de medición en abril 2020 en LVG. ....	81
Figura 84. Análisis armónico de la marea cada 15 minutos en C. Navegación, el Gavión, H1a y H1 (abril, 2020). ....	81
Figura 85. Variación de la temperatura del agua en los 4 sitios de la LVG en abril. 2020. ....	82
Figura 86. Variación de la temperatura del agua en el Canal de Navegación, el Gavión, H1a y H1 en abril, 2020. ....	82
Figura 87. Variación de la salinidad en los sitios Canal de Navegación y H1 en abril, 2020. ....	83
Figura 88. Variación de la salinidad del agua en el sitio Canal de Navegación y H1 en abril, 2020. ....	83
Figura 89. Serie de tiempo del mes de abril 2020 (ADP 1). Se muestra la elevación de la superficie libre referenciada al nmm debida a la marea y la variación de la velocidad en la componente zonal (Este-Oeste) y meridional (Norte-Sur). Convención: Norte y Este con signo positivo. ....	84
Figura 90. Rosa de corrientes. Se muestra intensidad y dirección de las corrientes medidas en el Canal de Comunicación (CC) durante el mes de abril 2020. ....	84
Figura 91. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC) y la parte Centro-Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante mayo de 2020. ....	86
Figura 92. Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) en mayo 2020. ....	86
Figura 93. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a mayo 2020. ....	87
Figura 94. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min en los sitios de medición en mayo 2020 en LVG. ....	89
Figura 95. Análisis armónico de la marea cada 15 minutos en C. Navegación, Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 (mayo, 2020). ....	89
Figura 96. Variación de la temperatura del agua en los 4 sitios de la LVG en mayo, 2020. ....	90
Figura 97. Variación de la temperatura del agua en el Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 en mayo, 2020. ....	90
Figura 98. Variación de la salinidad en los sitios Canal de Navegación y H1 en mayo, 2020. ....	91
Figura 99. Variación de la salinidad del agua en el sitio Canal de Comunicación (CC), H1 y H1a en mayo, 2020. ....	91

Figura 100. Serie de tiempo del mes de mayo 2020 (ADP-1). Se muestra la elevación de la superficie libre referenciada al nmm debida a la marea y la variación de la velocidad en la componente zonal (Este-Oeste) y meridional (Norte-Sur). Convención: Norte y Este con signo positivo. .... 92

Figura 101. Rosa de corrientes. Se muestra intensidad y dirección de las corrientes medidas en el Canal de Comunicación (CC) durante el mes de mayo 2020. .... 92

Figura 102. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC) y la parte Centro-Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante junio de 2020. .... 95

Figura 103. Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) en junio 2020. .... 95

Figura 104. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a junio 2020. .... 96

Figura 105. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min en los sitios de medición en LVG en junio 2020. .... 98

Figura 106. Análisis armónico de la marea cada 15 minutos en C. Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 (junio, 2020). .... 98

Figura 107. Variación de la temperatura del agua en los 4 sitios de la LVG en junio, 2020. .... 99

Figura 108. Variación de la temperatura del agua en el Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 en junio, 2020. .... 99

Figura 109. Variación de la salinidad en los sitios Canal de Navegación, Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 en junio, 2020. .... 100

Figura 110. Variación de la salinidad del agua en el sitio Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 en junio, 2020. .... 101

Figura 111. Serie de tiempo del mes de junio 2020 (ADP-1). Se muestra la elevación de la superficie libre referenciada al nmm debida a la marea y la variación de la velocidad en la componente zonal (Este-Oeste) y meridional (Norte-Sur). Convención: Norte y Este con signo positivo. .... 101

Figura 112. Rosa de corrientes. Se muestra intensidad y dirección de las corrientes medidas en el Canal de Comunicación (CC) durante el mes de junio 2020. .... 102

Figura 113. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC) y la parte Centro-Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante julio de 2020. .... 105

Figura 114. Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) en julio 2020. .... 106

Figura 115. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a julio 2020.....	107
Figura 116. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min en los sitios de medición en LVG en julio 2020.....	109
Figura 117. Análisis armónico de la marea cada 15 minutos en C. Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 (julio, 2020). .....	109
Figura 118. Variación de la temperatura del agua en los 4 sitios de la LVG en julio, 2020. ....	110
Figura 119. Variación de la temperatura del agua en el Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 en julio, 2020.....	110
Figura 120. Variación de la salinidad en los sitios Canal de Navegación, Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 en julio, 2020. ....	111
Figura 121. Variación de la salinidad del agua en el sitio Canal de Navegación (CN), Canal de comunicación (CC), H1a y H1 en julio, 2020.....	112
Figura 122. Serie de tiempo del mes de julio 2020 (ADP-1). Se muestra la elevación de la superficie libre referenciada al nmm debida a la marea y la variación de la velocidad en la componente zonal (Este-Oeste) y meridional (Norte-Sur). Convención: Norte y Este con signo positivo. ....	112
Figura 123. Rosa de corrientes. Se muestra intensidad y dirección de las corrientes medidas en el Canal de Comunicación (CC) durante el mes de julio 2020.....	113
Figura 124. Mayor pleamar y bajamar por día en sitio C. Navegación (a) y Gavión (b) durante agosto 2019.....	116
Figura 125. Mayor pleamar y bajamar por día en sitio C. Navegación (a) y Gavión (b) durante septiembre 2019.....	117
Figura 126. Mayor pleamar y bajamar por día en el sitio C. Navegación (CN), el sitio Gavión y H1a octubre 2019.....	118
Figura 127. Diagrama de flujo sobre la implementación del modelo para el estudio de la hidrodinámica y el transporte de sedimentos. ....	148
Figura 128. Líneas de costa de la Laguna del Valle de las Garzas trazadas en blanco. ....	149
Figura 129. Bahía de Manzanillo y puerto interior con la malla cuadrangular y batimetría interpolada.....	150
Figura 130. Corte longitudinal de la alcantarilla localizada en el gavión.....	151
Figura 131. Diagrama de flujo sobre la implementación del modelo para el estudio de la hidrodinámica y el transporte de sedimentos. ....	153
Figura 132. Ubicación de la Laguna del Valle de las Garzas respecto a la Bahía de Manzanillo, Colima. ....	154

Figura 133. Diagrama de flujo sobre la implementación del modelo para el estudio de transporte de sedimentos. ....	156
Figura 134. Carta náutica de la Bahías de Manzanillo y Santiago (SEMAR). ....	157
Figura 135. Carta náutica del Puerto Interior (SEMAR).....	158
Figura 136. Malla generada en el programa Delft3D para la Bahía de Manzanillo, el Recinto Portuario y la laguna del Valle de las Garzas. En la imagen inferior se muestran las mallas anidadas. ....	159
Figura 137. Carta náutica de la Bahías de Manzanillo y Santiago (SEMAR). ....	161
Figura 138. Carta náutica del Puerto Interior (SEMAR).....	161
Figura 139. Malla generada en el programa Delft3D para la Bahía de Manzanillo, el Recinto Portuario y la laguna del Valle de las Garzas. En la imagen inferior se muestran las mallas anidadas. ....	162
Figura 140. Carta náutica de la Bahías de Manzanillo y Santiago (SEMAR). ....	164
Figura 141. Carta náutica del Puerto Interior (SEMAR).....	164
Figura 142. Malla generada en el programa Delft3D para la Bahía de Manzanillo, el Recinto Portuario y la laguna del Valle de las Garzas. ....	165
Figura 143. Batimetría utilizada para prueba preliminar obtenida de carta náutica de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior. ....	166
Figura 144. Ubicación hipotética de las boyas de monitoreo y sitios de las descargas de sedimentos en el área de estudio, los puntos rojos corresponden a cada ubicación. .	167
Figura 145. Velocidad promedio de las corrientes en la zona de estudio.....	168
Figura 146. Nivel del agua registrado por las boyas: a) centro del puerto, b) boca de la laguna, c) canal laguna-puerto y d) entrada al puerto. ....	168
Figura 147. Fluctuaciones de la velocidad de descarga.....	169
Figura 148. Carta náutica de la Bahías de Manzanillo y Santiago (SEMAR). ....	171
Figura 149. Carta náutica del Puerto Interior (SEMAR).....	171
Figura 150. Malla generada en el programa Delft3D para la Bahía de Manzanillo, el Recinto Portuario y la laguna del Valle de las Garzas.....	172
Figura 151. Batimetría utilizada para prueba preliminar obtenida de carta náutica de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior. ....	173
Figura 152. Ubicación hipotética de los puntos de descarga (puntos amarillos), puntos numéricos (puntos rojos) y secciones transversales (líneas azules). ....	174
Figura 153. Velocidad promedio (m/s) durante el tiempo de simulación en diferentes zonas del sitio.....	175
Figura 154. Fluctuaciones de la velocidad de las corrientes durante el tiempo de simulación.....	177

Figura 155. Magnitud del transporte de las partículas suspendidas.....	178
Figura 156. Carta náutica de la Bahías de Manzanillo y Santiago (SEMAR). .....	180
Figura 157. Carta náutica del Puerto Interior (SEMAR).....	180
Figura 158. Malla generada en el programa Delft3D para la Bahía de Manzanillo, el Recinto Portuario y la laguna del Valle de las Garzas.....	181
Figura 159. Batimetría utilizada para prueba preliminar obtenida de carta náutica de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior.....	182
Figura 160. Ubicación hipotética de los puntos de descarga (puntos amarillos), puntos de observación (puntos rojos), secciones transversales (líneas azules), obstáculo (línea amarilla).....	183
Figura 161. Velocidad promedio (m/s) durante el tiempo de simulación en diferentes zonas del sitio.....	184
Figura 162. Oscilaciones de la velocidad de las corrientes durante el tiempo de simulación.....	186
Figura 163. Magnitud del transporte de las partículas suspendidas.....	187
Figura 164. Transporte de sedimentos considerando un obstáculo cercano al canal de interconexión entre la laguna y el puerto (superior) y sin considerar el obstáculo.....	188
Figura 165. Malla generada en el programa Delft3D para la Bahía de Manzanillo, el Recinto Portuario y la laguna del Valle de las Garzas.....	190
Figura 166. Batimetría utilizada para prueba preliminar obtenida de carta náutica de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior.....	191
Figura 167. Velocidad promedio (m/s) durante el tiempo de simulación en diferentes zonas del sitio.....	192
Figura 168. Nivel del mar (m) en la boca del puerto, el canal de comunicación entre el puerto y la laguna, la boca de la laguna y el centro del puerto.....	193
Figura 169. Salinidad durante el tiempo de simulación en el dominio de simulación. .	194
Figura 170. Malla generada en el programa Delft3D para la Bahía de Manzanillo, el Recinto Portuario y la laguna del Valle de las Garzas.....	196
Figura 171. Batimetría utilizada para prueba preliminar obtenida de carta náutica de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior.....	197
Figura 172. Velocidad promedio (m/s) durante el tiempo de simulación en la Laguna del Valle de las Garzas y zonas adyacentes.....	198
Figura 173. Pronóstico de marea para Manzanillo, del 1 al 7 de abril de 2020. ....	198
Figura 174. Rosa de corrientes obtenidas mediante el modelo hidrodinámico numérico (izquierda) y rosa de corrientes obtenidas mediante el corrientímetro ADP (derecha).199	
Figura 175. Comparativo de las series de tiempo de las velocidades zonal y meridional del modelo numérico y el ADP. ....	200

Figura 176. Nivel de marea registrada por CICESE (estación Manzanillo) y en Canal de Navegación (CN) y Canal de Comunicación (CC) del 1 al 7 de abril de 2020.....	201
Figura 177. Malla generada en el programa Delft3D para la Bahía de Manzanillo, el Recinto Portuario y la laguna del Valle de las Garzas.....	202
Figura 178. Batimetría utilizada para prueba preliminar obtenida de carta náutica de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior.....	203
Figura 179. Velocidad promedio (m/s) durante el tiempo de simulación en la Laguna del Valle de las Garzas y zonas adyacentes.....	204
Figura 180. Pronóstico de marea para Manzanillo, del 1 al 8 de mayo de 2020. ....	204
Figura 181. Rosa de corrientes obtenidas mediante el modelo hidrodinámico numérico (izquierda) y la rosa de corrientes obtenidas mediante el corrientímetro ADP. ....	205
Figura 182. Comparativo de las series de tiempo de las velocidades zonal y meridional del modelo numérico y los datos obtenidos con el ADP.....	205
Figura 183. Nivel de marea registrada por CICESE (estación Manzanillo), en Canal de Navegación (CN) y Canal de Comunicación (CC) del 1 al 8 de mayo de 2020.....	206
Figura 184. Batimetría utilizada para prueba preliminar obtenida de carta náutica de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior.....	207
Figura 185. Mallas con una resolución de 20x20 m <sup>2</sup> para la Bahía de Manzanillo y el Recinto Portuario, mientras que para la laguna del Valle de las Garzas fue de 7x7 m <sup>2</sup> . .....	208
Figura 186. Cuerpo de agua implementado en DELFT 3D: a) caso 1 y b) caso 2, ambos con profundidades constantes de 2 metros.....	209
Figura 187. Canales auxiliares con profundidades constantes de 2 metros, anexados al Caso 1 y al Caso 2. ....	210
Figura 188. Circulación (m/s), comportamiento de la salinidad y variación del nivel de agua, durante el tiempo de simulación en la Laguna del Valle de las Garzas y zonas adyacentes. ....	211
Figura 189. Posición de los sensores numéricos (puntos prueba) en la Laguna del Valle de las Garzas. ....	211
Figura 190. Pronóstico de marea para Manzanillo, del 1 al 16 de junio de 2020. ....	212
Figura 191. Rosa de corrientes del modelo hidrodinámico numérico (izquierda) y la rosa de corrientes obtenidas mediante el corrientímetro ADP (derecha) (junio 2020). ....	213
Figura 192. Comparativo de las series de tiempo de las velocidades zonal y meridional del modelo numérico y los datos obtenidos con el ADP (junio 2020). ....	213
Figura 193. Nivel de marea registrada por CICESE (estación Manzanillo), en Canal de Navegación (CN) y Canal de Comunicación (CC) del 1 al 9 de junio de 2020.....	214
Figura 194. Batimetría utilizada para prueba preliminar obtenida de carta náutica de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior.....	216

Figura 195. Mallas con una resolución de 20x20 m <sup>2</sup> para la Bahía de Manzanillo y el Recinto Portuario, mientras que para la laguna del Valle de las Garzas fue de 7x7 m <sup>2</sup> . .....	216
Figura 196. Cuerpo de agua implementado en DELFT 3D con profundidad constante de 2 metros.....	217
Figura 197. Canales auxiliares con profundidades constantes de 2 metros, anexados al Caso 2. ....	217
Figura 198. Circulación (m/s), comportamiento de la salinidad y variación del nivel de agua, durante el tiempo de simulación en la Laguna del Valle de las Garzas y zonas adyacentes. ....	218
Figura 199. Posición de los sensores numéricos (puntos prueba) en la Laguna del Valle de las Garzas. ....	219
Figura 200. Pronóstico de marea para Manzanillo, del 1 al 12 de julio de 2020.....	219
Figura 201. Rosa de corrientes obtenidas mediante el modelo hidrodinámico numérico (izquierda y la rosa de corrientes obtenida con el ADP (derecha) (julio 2020). ....	220
Figura 202. Comparativo de las series de tiempo de las velocidades zonal y meridional del modelo numérico y los datos obtenidos con el ADP (julio 2020). ....	221
Figura 203. Nivel de marea registrada por CICESE (estación Manzanillo), en Canal de Navegación (CN) y Canal de Comunicación (CC) del 1 al 11 de julio de 2020. ....	221

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas en UTM y geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas. ....	6
Tabla 2. Coordenadas en UTM y geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas. ....	7
Tabla 3. Coordenadas en UTM y geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas. ....	8
Tabla 4. Coordenadas en UTM y geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas. ....	9
Tabla 5. Coordenadas en UTM y geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas. ....	10
Tabla 6. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas. ....	11
Tabla 7. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas. ....	12

Tabla 8. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas. ....	13
Tabla 9. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas. ....	15
Tabla 10. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas. ....	16
Tabla 11. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas. ....	18
Tabla 12. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas. ....	19
Tabla 13. Amplitud (cm) y fase (°) de la marea cada 15 min, agosto 2019. ....	34
Tabla 14. Amplitud (cm) y fase (°) de la marea cada 15 min, septiembre 2019. ....	37
Tabla 15. Amplitud (cm) y fase (°) de la marea cada 15 min en octubre, 2019. ....	40
Tabla 16. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a noviembre de 2019. ....	45
Tabla 17. Amplitud (cm) y fase (°) de la marea cada 15 min en noviembre, 2019. ....	47
Tabla 18. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019. ....	52
Tabla 19. Amplitud (cm) y fase (°) de la marea cada 15 min en diciembre, 2019. ....	53
Tabla 20. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y enero 2020. ....	57
Tabla 21. Amplitud (cm) y fase (°) de la marea cada 15 min en enero, 2020. ....	58
Tabla 22. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a febrero 2020. ....	64
Tabla 23. Amplitud (cm) y fase (°) de la marea cada 15 min en febrero, 2020. ....	65
Tabla 24. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a marzo 2020. ....	70
Tabla 25. Amplitud (cm) y fase (grados) de la marea cada 15 min en marzo, 2020. ....	72
Tabla 26. Frecuencias cruzadas de la velocidad (cm/s) y dirección (grados) de la corriente en el sitio Canal de Comunicación (CC) en marzo, 2020. ....	77
Tabla 27. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a abril 2020. ....	79
Tabla 28. Amplitud (cm) y fase (grados) de la marea cada 15 min en abril, 2020. ....	80
Tabla 29. Frecuencias cruzadas de la velocidad (cm/s) y dirección (grados) de la corriente en el sitio Canal de Comunicación (CC) en abril, 2020. ....	85

Tabla 30. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a mayo 2020.....	87
Tabla 31. Amplitud (cm) y fase (grados) de la marea cada 15 min en mayo, 2020.....	88
Tabla 32. Frecuencias cruzadas de la velocidad (cm/s) y dirección (grados) de la corriente en el sitio Canal de Comunicación (CC) en mayo, 2020. ....	93
Tabla 33. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a junio 2020.....	96
Tabla 34. Amplitud (cm) y fase (grados) de la marea cada 15 min en junio, 2020.....	97
Tabla 35. Frecuencias cruzadas de la velocidad (cm/s) y dirección (grados) de la corriente en el sitio Canal de Comunicación (CC) en junio, 2020.....	103
Tabla 36. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a julio 2020. ....	106
Tabla 37. Amplitud (cm) y fase (grados) de la marea cada 15 min en julio, 2020. ....	108
Tabla 38. Frecuencias cruzadas de la velocidad (cm/s) y dirección (grados) de la corriente en el sitio Canal de Comunicación (CC) en julio, 2020.....	113
Tabla 39. Lista de las variables requeridas para la implementación del modelo.....	147
Tabla 40. Ubicación de pilotes de la alcantarilla de la laguna las garzas, corte longitudinal con profundidad y posición geográfica. ....	151
Tabla 41. Lista de las variables requeridas para la implementación del modelo.....	152
Tabla 42. Lista de las variables requeridas para la implementación del modelo.....	156
Tabla 43. Condiciones iniciales del modelo.....	166
Tabla 44. Condiciones iniciales del modelo.....	173
Tabla 45. Condiciones iniciales del modelo.....	182
Tabla 46. Condiciones iniciales del modelo.....	191

## I. Introducción.

El conocimiento de los procesos de circulación y oleaje a lo largo del litoral del país, es de gran utilidad para el desarrollo de la pesca, la acuicultura, actividades portuarias y turísticas. Así como para estimar, prevenir y cuantificar los efectos nocivos producidos sobre el medio marino por los desarrollos urbanos, industriales y actividades pesqueras.

La zona costera del estado de Colima representa una de las regiones más apreciables del Pacífico mexicano, ya que en ella se encuentra el Puerto Interior de Manzanillo el cual es de gran importancia económica debido al continuo incremento en la afluencia de buques modernos de gran calado, tanto turísticos como militares y pesqueros. Esto ha motivado a las autoridades gubernamentales a modernizar y ampliar la infraestructura portuaria, lo cual ha implicado cambios morfológicos y batimétricos que modifican la circulación y alteran las condiciones ecológicas de la bahía de Manzanillo y los cuerpos de agua adyacentes como la Laguna del Valle de las Garzas y Laguna de Tapeixtles.

Históricamente la Laguna del Valle de las Garzas, ha sufrido alteraciones de origen antropogénico que han resultado en una pérdida de superficie en el espejo de agua por las obras realizadas desde las décadas de los '80 y '90, estas alteraciones en conjunto con los procesos de degradación natural del sistema lacustre han reducido la superficie de la laguna en un 40% desde 1981 a la fecha.

Cuando se interrumpe la comunicación marina, con el Puerto Interior, la hidrodinámica se reduce al punto de generar condiciones desfavorables para la fauna lo que a través del tiempo ha generado decremento y periodos de mortandad masiva de los organismos acuáticos y por ende la proliferación de organismos necrófagos, esto debido a la sinergia entre el escaso flujo del agua, la escasa profundidad de ciertas zonas y las elevadas temperaturas características de la región.

Debido al constante incremento del tráfico marítimo en el Puerto de Manzanillo surgió la necesidad de construir nuevos muelles de atraque, así como, ubicar, diseñar y construir

obras portuarias. Todo ello debe fundamentarse y apoyarse en estudios técnicos de la ingeniería portuaria.

La Laguna Valle de las Garzas, fue dividida a consecuencia de la construcción de la carretera Manzanillo-Santiago y actualmente tiene una superficie de 207 ha aproximadamente. Se comunica con el Puerto Interior de San Pedrito mediante una alcantarilla a través de los terraplenes de la carretera con medidas aproximadas de 8 metros de ancho, 1.5 m de alto y 25 m de largo, su vaso es utilizado en gran medida para el desalojo de aguas tratadas y negras del área urbana y suburbana, así como de las aguas pluviales, con las consecuencias de contaminación y peligro de ser una fuente de infecciones a la población.

El asolvamiento continuo de la laguna ha provocado que el fondo de la laguna sea más alto que el del Puerto Interior, creando con esto una deficiencia en el intercambio de agua marina. Adicionalmente, la hidrodinámica está muy restringida ya que no está sujeta a variaciones de nivel de agua por efecto de la propagación de la marea, dándose sólo el movimiento de las aguas cuando existen volúmenes de lluvia apreciables que arriban al cuerpo de agua y son desalojados por el vertedor que se encuentra debajo de la vialidad Norte o por el efecto de los vientos.

Es importante señalar que a la laguna llegan las aguas de la Planta de Tratamiento de Agua (PTA) de Salagua, la cual como prácticamente todas las plantas del país no tiene la capacidad instalada para tratar todas las aguas que en un momento determinado pudieran llegar a la misma, debido a que los sistemas de aguas negras y pluviales no se encuentran separados, lo que implica que en temporada de lluvias, la planta se ve obligada a dejar pasar las aguas un poco crudas y éstas llegan a la Laguna del Valle de las Garzas en ocasiones con contaminación antropogénica. Esta laguna es la parte terminal de un área de montaña que recolecta agua de las precipitaciones pluviales, ya que a ella no llega ningún escurrimiento permanente. Esto significa que depende del temporal y de la descarga de aguas tratadas señalada para su llenado.

Por lo ya descrito, es importante un estudio para dar seguimiento a posibles cambios en el sistema lagunar de la Laguna del Valle de las Garzas, debido a las modificaciones antropogénicas que controlan el flujo y reflujo a través del Canal de Comunicación entre laguna y Puerto Interior.

### **I.1. Antecedentes**

El origen de la Laguna del Valle de las Garzas se remonta a la época de construcción del Nuevo Puerto de Manzanillo en el sitio de San Pedrito y de la vialidad que lo circunda y que va hacia la colonia Las Brisas.

Antes de la construcción del Puerto Interior, la Laguna del Valle de las Garzas se comunicaba con el mar por medio de una boca que en ocasiones se cerraba por el efecto del oleaje y el transporte litoral, cuando la boca se encontraba abierta la influencia marina solo llegaba un poco antes de la zona donde actualmente se encuentra la vialidad que llamaremos Norte, pero cuando la boca se cerraba las aguas continentales se acumulaban en el vaso del estero de San Pedrito, inundando la zona al Norte de la vialidad actual, la cual presenta un nivel del terreno del orden de 1.2 m sobre el nivel de bajamar media inferior. Lo anterior quiere decir que solo cuando la barra se encontraba cerrada la zona de la laguna del Valle de las Garzas se veía inundada totalmente, ya que, al no poder escurrir las aguas continentales hacia el mar, se acumulaban, funcionando la barra litoral como cortina de presa.

Actualmente la Laguna del Valle de las Garzas es un cuerpo de agua muy somero, el agua de mar no puede ingresar completamente a la Laguna y la circulación es muy restringida ya que no está sujeta a variaciones de nivel por efecto de la marea, dándose sólo el movimiento de las aguas cuando existen volúmenes de agua de lluvia apreciables que arriban al cuerpo de agua y son desalojados por el vertedor que se encuentra debajo de la vialidad Norte o carretera al Aeropuerto o por el efecto de los vientos.

Como punto final hay que señalar que a la laguna llegan las aguas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Salahuá, la cual como prácticamente todas las

plantas del país no tiene la capacidad instalada para tratar todas las aguas que en un momento determinado pudieran llegar a la misma, debido a que los sistemas de aguas negras y pluviales no se encuentran separados, lo que implica que en temporada de lluvias, la planta se ve obligada a dejar pasar las aguas un poco crudas y éstas llegan a la Laguna de la Garzas en ocasiones con contaminación antropogénica. Esta laguna es la parte terminal de un área de montaña que recolecta agua de las precipitaciones pluviales, ya que a ella no llega ningún escurrimiento permanente. Esto significa que depende del temporal y de la descarga de aguas tratadas para su llenado.

Por otro lado, el nivel de la Laguna del Valle de las Garzas está por arriba del nivel máximo de pleamar, es decir, es muy escaso el aporte de la marea al interior de la Laguna del Valle de las Garzas. Por otro lado, debido al gavión y aun con mareas vivas, la configuración actual de la zona de interconexión del cuerpo de agua (Laguna-Puerto Interior) no permite que la marea se propague del puerto hacia la laguna, salvo en muy contadas excepciones. Este limitado funcionamiento, hace que el puerto tenga su propio proceso de recambio de aguas y la laguna quede al margen del mismo.

## **I.2. Objetivo del programa.**

Medir el nivel de agua, la temperatura y la salinidad, en varios sitios ubicados en la Laguna del Valle de las Garzas, además la velocidad de la corriente y el gasto en el canal de comunicación que separa la Laguna del Valle de las Garzas con el Puerto Interior, durante doce meses (agosto 2019 a julio 2020) con el fin de obtener una línea base.

La información anterior se utilizará para realizar la modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito. De esta manera se conseguirá diseñar una estructura de control hidráulico en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito.

## **II. Indicadores ambientales y metas del programa.**

La velocidad de la corriente y los niveles de agua, forman parte de los factores abióticos y representan un indicador para el diagnóstico integral de la tendencia ambiental y que definirá las acciones de ajuste que resulten pertinentes con el propósito de mejorar el proceso de la restauración ambiental. La meta del programa se relaciona con la variabilidad espacial y temporal de los parámetros abióticos que deben mantener rangos óptimos, mostrar ciclicidad y una amplitud propia de un cuerpo lagunar tropical que permitan demostrar que derivado de la apertura del canal de comunicación entre el Puerto Interior de San Pedrito y la laguna del Valle de las Garzas, se han alcanzado condiciones de equilibrio dinámico.

## **III. Descripción de trabajos-Metodología empleada.**

Enseguida se describen las metodologías y actividades de campo que se realizaron en forma mensual desde agosto 2019 hasta julio 2020. Se presenta por mes porque cambió la metodología en el área de trabajo debido a las condiciones de dragado de la Laguna del Valle de las Garzas y condiciones logísticas.

### **III.1. Área de estudio en agosto 2019.**

**La Laguna Valle de las Garzas**, se localiza al Norte del Puerto Interior de San Pedrito, se ubica entre las coordenadas 19° 05'12.31" Lat. Norte y 104°18'5.06" Long. O y 19° 06'14.80" Lat. Norte y 104°18'57.24" Long. Oeste aproximadamente. La Laguna colinda al Norte con la comunidad de Salahua, al Este con la comunidad del Valle de las Garzas, al Oeste con la carretera costera Manzanillo-Cihuatlán y al Sur con el Puerto Interior de San Pedrito.

En el mes de agosto 2019, la salida se realizó en una lancha con motor fuera de borda y por el momento solo se instalaron 2 Hobos en la posición H2 y H4. Faltando instalar en H1 y H3, los salinómetros Hobos así como el perfilador de corriente ADP1 (**Figura 1 y Tabla 1**)



**Figura 1. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H2, H3 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.**

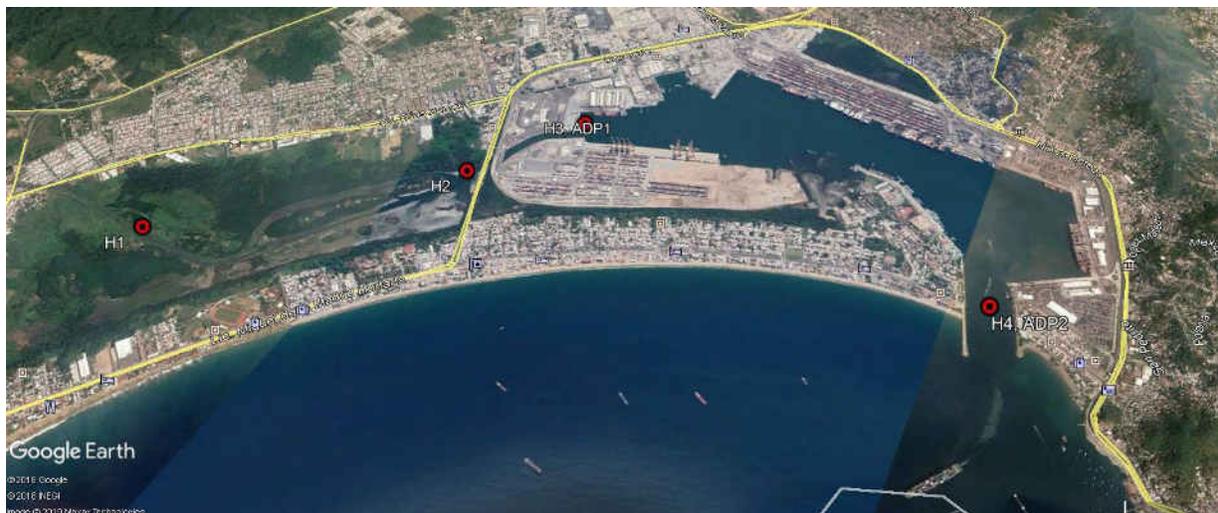
**Tabla 1. Coordenadas en UTM y geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas.**

Punto	POINT_X	POINT_Y	Latitud	Longitud
H1	572323.0000	2111972.0000	19° 5' 57.97" N	104° 18' 44.81" O
H2	573284.0000	2110564.0000	19° 5' 12.04" N	104° 18' 12.12" O
H3, ADP1	573855.9405	2110106.3298	19° 4' 57.08" N	104° 17' 52.61" O
H4	573352.5850	2107711.3649	19° 3' 39.23" N	104° 18' 10.16" O

### III.2 Área de estudio en septiembre 2019.

En este mes se consideró la misma área de estudio del mes de agosto, por lo que, el muestreo se realizó en una lancha con motor fuera de borda y por el momento solo se

instalaron 2 Hobos en la posición H2 y H4. Faltando instalar en H1 y H3 y los salinómetros Hobos así como el perfilador de corriente ADP1 (**Figura 2 y Tabla 2**)



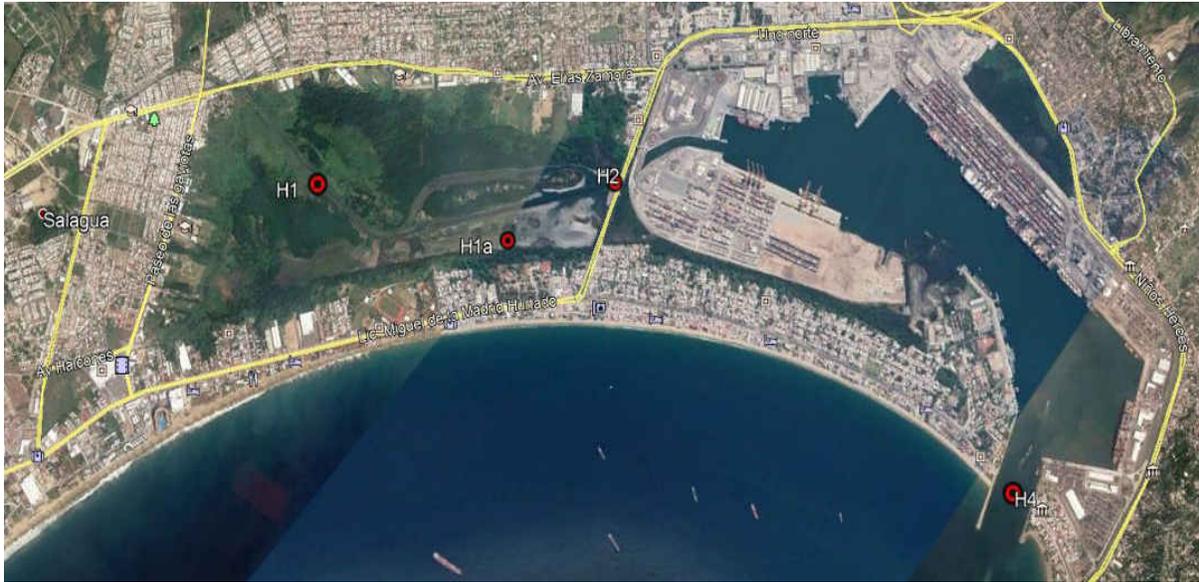
**Figura 2. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H2, H3 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.**

**Tabla 2. Coordenadas en UTM y geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas.**

Punto	POINT_X	POINT_Y	Latitud	Longitud
H1	572323.0000	2111972.0000	19° 5' 57.97" N	104° 18' 44.81" O
H2	573284.0000	2110564.0000	19° 5' 12.04" N	104° 18' 12.12" O
H3, ADP1	573855.9405	2110106.3298	19° 4' 57.08" N	104° 17' 52.61" O
H4	573352.5850	2107711.3649	19° 3' 39.23" N	104° 18' 10.16" O

### III.3 Área de estudio en octubre 2019.

En este mes se consideró la misma área de estudio de los meses de agosto y septiembre 2019 y se realizó en una lancha con motor fuera de borda y se instalaron 3 Hobos en la posición H1a, H2 (Gavión) y H4 (Canal de Navegación). Faltando instalar en H1 y H3, los salinómetros Hobos, así como el perfilador de corriente ADP1 (**Figura 3 y Tabla 3**). En este mes, se instaló un Hobo en H1a pues no era posible pasar con la lancha hacia el punto H1 y al Punto H2 se le llamó Gavión.



**Figura 3. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2, H3 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.**

**Tabla 3. Coordenadas en UTM y geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas.**

Punto	POINT_X	POINT_Y	Latitud	Longitud
H1	572323.0000	2111972.0000	19° 5' 57.97" N	104° 18' 44.81" O
H1a	572725.840	2110879.510	19° 5' 22.38" N	104° 18' 31.18" O
H2	573335.930	2110533.500	19° 5' 11.07" N	104° 18' 10.55" O
H3, ADP1	573855.9405	2110106.3298	19° 4' 57.08" N	104° 17' 52.61" O
H4	573352.5850	2107711.3649	19° 3' 39.23" N	104° 18' 10.16" O

### III.4 Área de estudio en noviembre 2019.

En este mes se consideró la misma área de estudio de los tres meses anteriores y se realizó en una lancha con motor fuera de borda, se instalaron 3 Hobos en la posición H1a, H2 (Gavión) y H4 (Canal de Navegación). Faltando instalar en H1 y H3 y los salinómetros Hobos, así como el perfilador de corriente ADP1 (**Figura 4 y Tabla 4**).

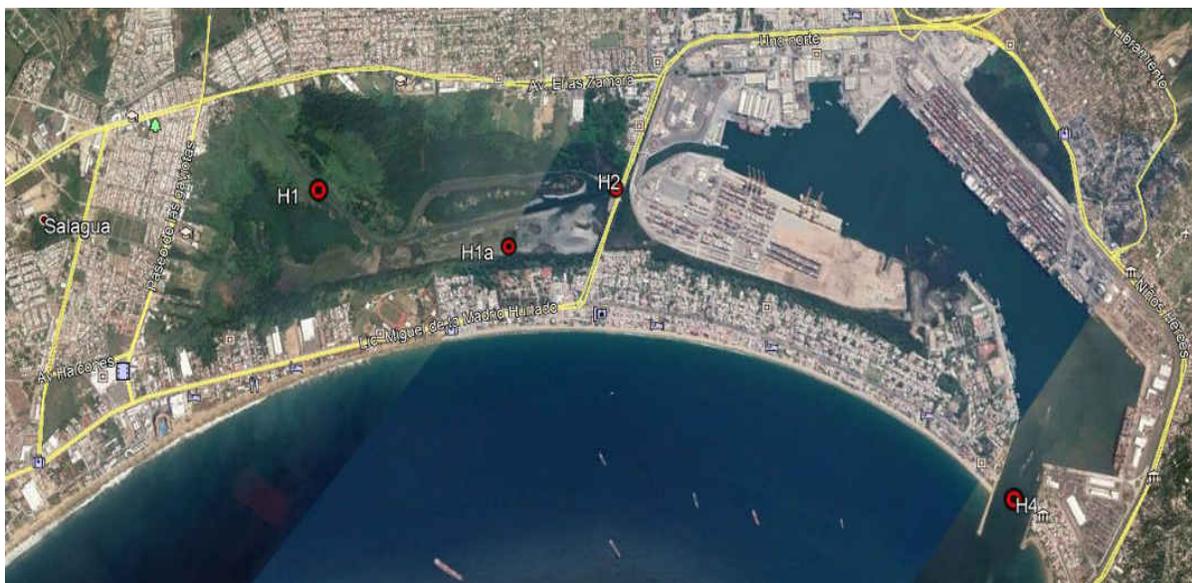


Figura 4. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2, H3 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.

Tabla 4. Coordenadas en UTM y geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas.

Punto	POINT_X	POINT_Y	Latitud	Longitud
H1	572323.0000	2111972.0000	19° 5' 57.97" N	104° 18' 44.81" O
H1a	572725.840	2110879.510	19° 5' 22.38" N	104° 18' 31.18" O
H2	573335.930	2110533.500	19° 5' 11.07" N	104° 18' 10.55" O
H3, ADP1	573855.9405	2110106.3298	19° 4' 57.08" N	104° 17' 52.61" O
H4	573352.5850	2107711.3649	19° 3' 39.23" N	104° 18' 10.16" O

### III.5 Área de estudio en diciembre 2019.

En este mes se consideró la misma área de estudio de los cuatro meses anteriores y se realizó en una lancha con motor fuera de borda, se instalaron 3 Hobos en la posición H1a, H2 (Gavión) y H4 (Canal de Navegación). Faltando instalar en H1 y H3, así como el perfilador de corriente ADP1 y los salinómetros Hobos (**Figura 5 y Tabla 5**)



**Figura 5. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H2, H3 y H4) y ADP en la Laguna del Valle de las Garzas.**

**Tabla 5. Coordenadas en UTM y geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas.**

Punto	POINT_X	POINT_Y	Latitud	Longitud
H1	572323.0000	2111972.0000	19° 5' 57.97" N	104° 18' 44.81" O
H1a	572725.840	2110879.510	19° 5' 22.38" N	104° 18' 31.18" O
H2 (Gavión)	573335.930	2110533.500	19° 5' 11.07" N	104° 18' 10.55" O
H3, ADP1	573855.9405	2110106.3298	19° 4' 57.08" N	104° 17' 52.61" O
H4 (CN)	573352.5850	2107711.3649	19° 3' 39.23" N	104° 18' 10.16" O

### III.6 Área de estudio en enero 2020.

En este mes se consideró la misma área de estudio de los cinco meses anteriores y se realizó en una lancha con motor fuera de borda, se instalaron 3 Hobos para nivel del agua en la posición H1a, H2 (Gavión) y H4 (Canal de Navegación). Faltando instalar en H1 y H3, así como el perfilador de corriente ADP1 y los salinómetros Hobo (**Figura 6 y Tabla 6**).



Figura 6. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.

Tabla 6. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas.

Punto	Latitud N	Longitud O
H1	19° 5'57.97"	104° 18'44.81"
H1a	19° 5' 22.38"	104° 18' 31.18"
H2 (Gavión)	19° 5' 11.07"	104° 18' 10.55"
H3, ADP1	573855.9405	2110106.3298
H4 (CN)	19° 3' 39.23"	104° 18' 10.16"

### III.7 Área de estudio en febrero 2020.

En este mes se consideró la misma área de estudio de los seis meses anteriores y se realizó en una lancha con motor fuera de borda y se instalaron 4 Hobos para nivel del agua y salinidad en la posición H1, H1a, H2 (Gavión) y H4 (Canal de Navegación). Faltando instalar el H3 y perfilador de corriente ADP1 y un salinómetro Hobo (**Figura 7 y Tabla 7**). Los retrasos en la instalación se debieron a que no consiguió entrar la lancha a los sitios establecido.



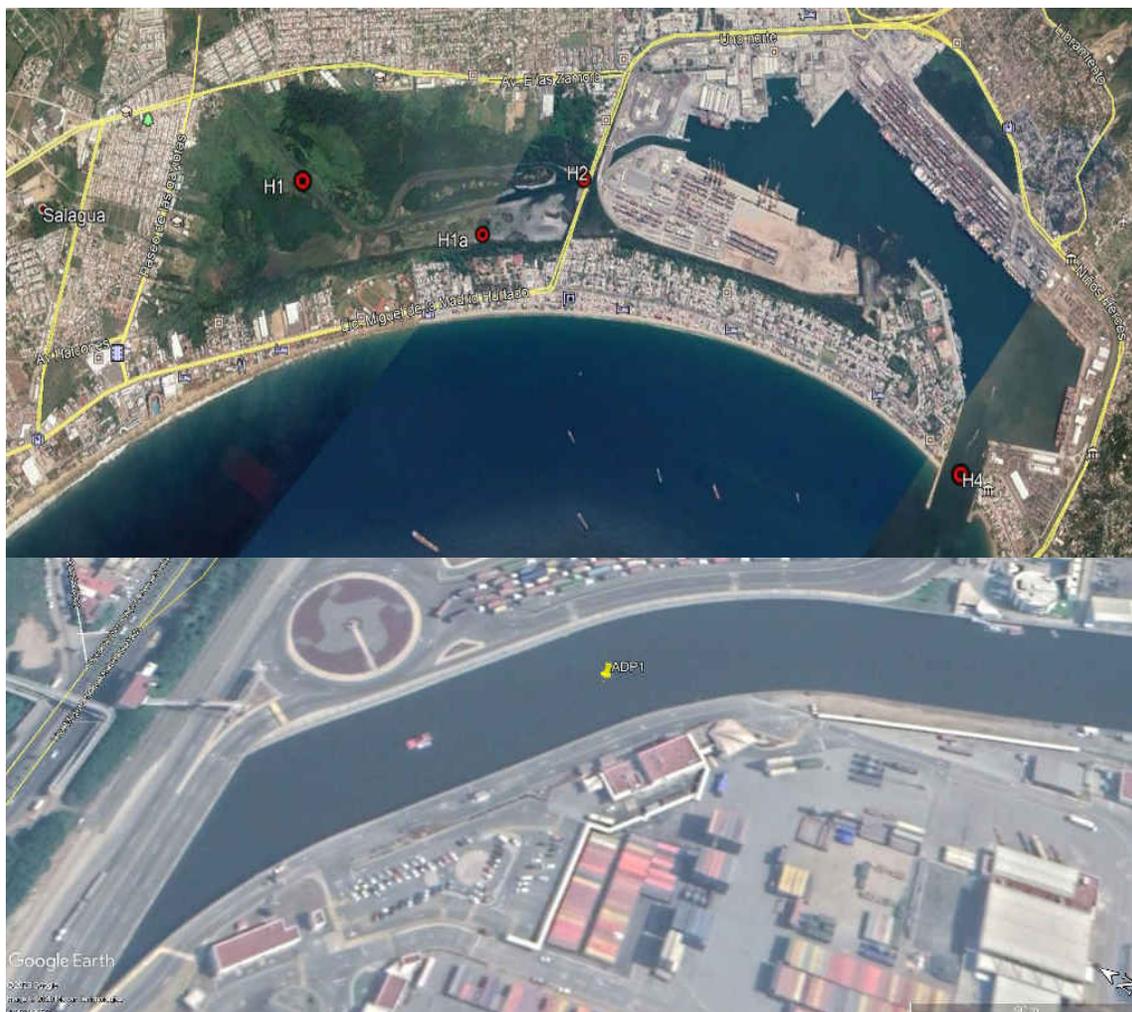
Figura 7. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.

Tabla 7. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas.

Punto	Latitud N	Longitud O
H1	19° 5'57.97"	104° 18'44.81"
H1a	19° 5' 22.38"	104° 18' 31.18"
H2 (Gavión)	19° 5' 11.07"	104° 18' 10.55"
H3, ADP1	573855.9405	2110106.3298
H4 (CN)	19° 3' 39.23"	104° 18' 10.16"

### III.8 Área de estudio en marzo 2020.

En este mes se consideró la misma área de estudio de los siete meses anteriores y se realizó en una lancha con motor fuera de borda y se instalaron 4 Hobos para medir el nivel del agua, temperatura y salinidad en la posición H1, H1a, H2 (Gavión) y H4 (Canal de Navegación). Además, para medir la velocidad y dirección de la corriente, se instaló el medidor marca Sontek, en el canal de comunicación entre la laguna y el Puerto Interior (**ADP1**), (**Figura 8** y **Tabla 8**). Se utilizó equipo de buceo autónomo y lancha con motor fuera de borda, señalando que este equipo se programó para que midiera cada hora, se representó como Canal de Comunicación (**CC**).



**Figura 8. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.**

**Tabla 8. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas.**

Punto	Latitud N	Longitud O
H1	19° 5'57.97"	104° 18'44.81"
H1a	19° 5' 22.38"	104° 18' 31.18"
H2 (Gavión)	19° 5' 11.07"	104° 18' 10.55"
H4 (CN)	19° 3' 39.23"	104° 18' 10.16"
ADP1 (CC)	19° 05' 01.9"	104° 17' 55.2"

### III.9 Área de estudio en abril 2020.

En abril, se consideró la misma área de estudio y se realizó en una lancha con motor fuera de borda, se instalaron 4 Hobos para medir el nivel del agua y temperatura, así como, 4 Hobos para medir la salinidad en la posición H1, H1a, H2 (Gavión) y H4 (Canal de Navegación), respectivamente. Además, para medir la velocidad y dirección de la corriente, se instaló el **ADP**, en el canal de comunicación entre la laguna y el Puerto Interior (**ADP 1**), (**Figura 9** y **Tabla 9**). Se utilizó equipo de buceo y lancha con motor fuera de borda, el equipo se programó para que midiera cada hora, se representó como Canal de Comunicación (CC).



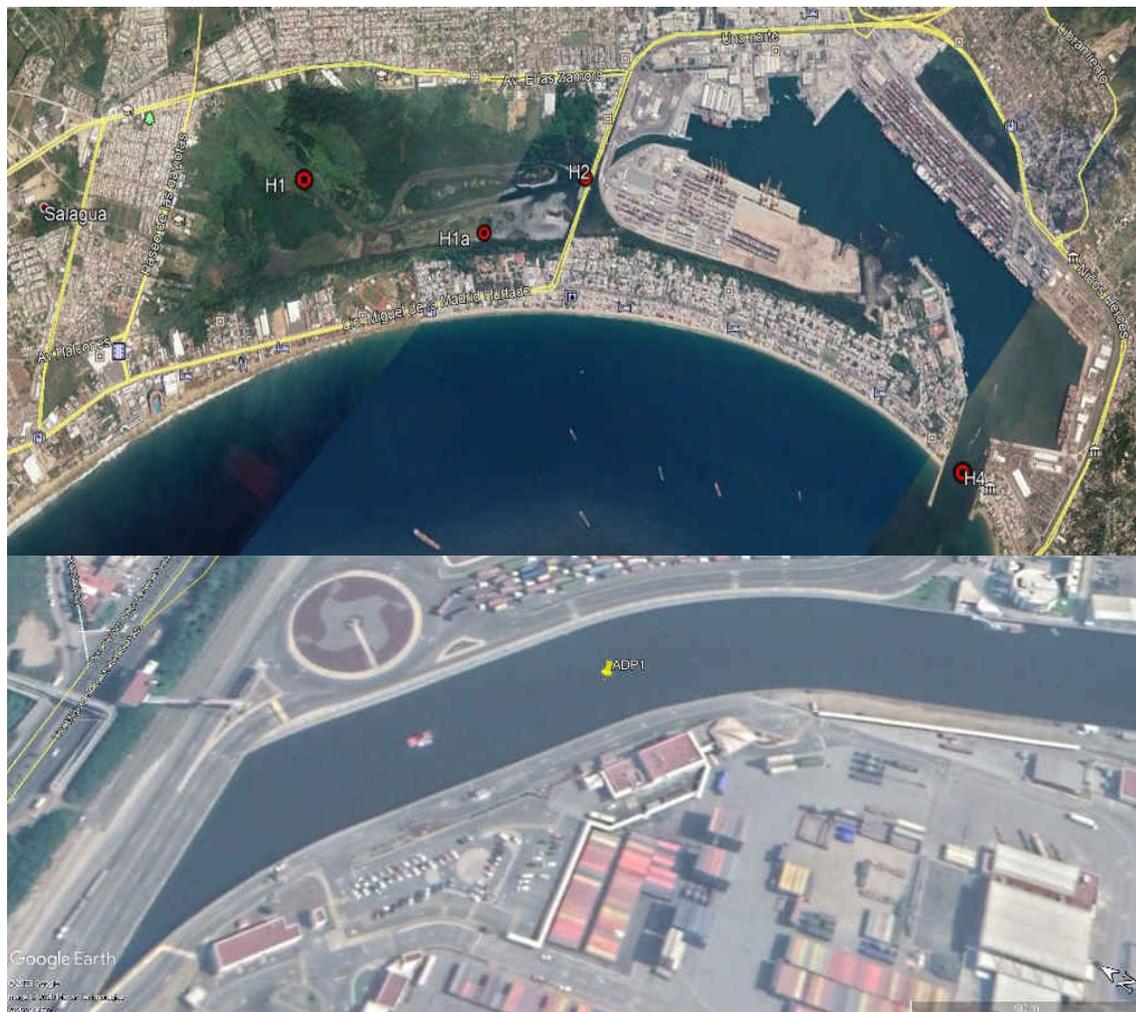
**Figura 9. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.**

**Tabla 9. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas.**

<b>Punto</b>	<b>Latitud N</b>	<b>Longitud O</b>
<b>H1</b>	19° 5'57.97"	104° 18'44.81"
<b>H1a</b>	19° 5' 22.38"	104° 18' 31.18"
<b>H2 (Gavión)</b>	19° 5' 11.07"	104° 18' 10.55"
<b>H4 (CN)</b>	19° 3' 39.23"	104° 18' 10.16"
<b>ADP1 (CC)</b>	19° 05' 01.9"	104° 17' 55.2"

### **III.10 Área de estudio en mayo 2020.**

La instalación de los equipos se realizó el 1 de mayo de 2020 y se utilizó una lancha con motor fuera de borda, se instalaron 4 Hobos para medir el nivel del agua y temperatura, así como, 4 Hobos para medir la salinidad en la posición H1, H1a, Canal de Comunicación (CC) y H4 (Canal de Navegación), respectivamente. Además, para medir la velocidad y dirección de la corriente, se instaló el medidor **ADP** marca Sontek, en el canal de comunicación entre la laguna y el Puerto Interior (**ADP 1**), (**Figura 10 y Tabla 10**). Se utilizó equipo de buceo autónomo y lancha con motor fuera de borda, señalando que este equipo se programó para que registre mediciones cada hora, se representó como Canal de Comunicación (**CC**).



**Figura 10. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.**

**Tabla 10. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas.**

Punto	Latitud N	Longitud O
H1	19° 5'57.97"	104° 18'44.81"
H1a	19° 5' 22.38"	104° 18' 31.18"
H4 (CN)	19° 3' 39.23"	104° 18' 10.16"
ADP1 (CC)	19° 05' 01.9"	104° 17' 55.2"

### III.11 Área de estudio en junio 2020.

La instalación de los equipos se realizó el 1 de junio y se utilizó una lancha con motor fuera de borda, se instalaron 4 Hobos para medir el nivel del agua y temperatura, así como, 4 Hobos para medir la salinidad en la posición H1, H1a, Canal de Comunicación (CC) y H4 (Canal de Navegación), respectivamente. Además, para medir la velocidad y dirección de la corriente, se instaló el medidor marca Sontek, en el Canal de Comunicación (**ADP1**), (**Figura 11** y **Tabla 11**). Se utilizó equipo de buceo autónomo y lancha con motor fuera de borda, el equipo se programó para que registre mediciones cada hora, se representó como Canal de Comunicación (**CC**).



**Figura 11. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.**

**Tabla 11. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas.**

Punto	Latitud N	Longitud O
H1	19° 5'57.97"	104° 18'44.81"
H1a	19° 5' 22.38"	104° 18' 31.18"
H4 (CN)	19° 3' 39.23"	104° 18' 10.16"
ADP1 (CC)	19° 05' 01.9"	104° 17' 55.2"

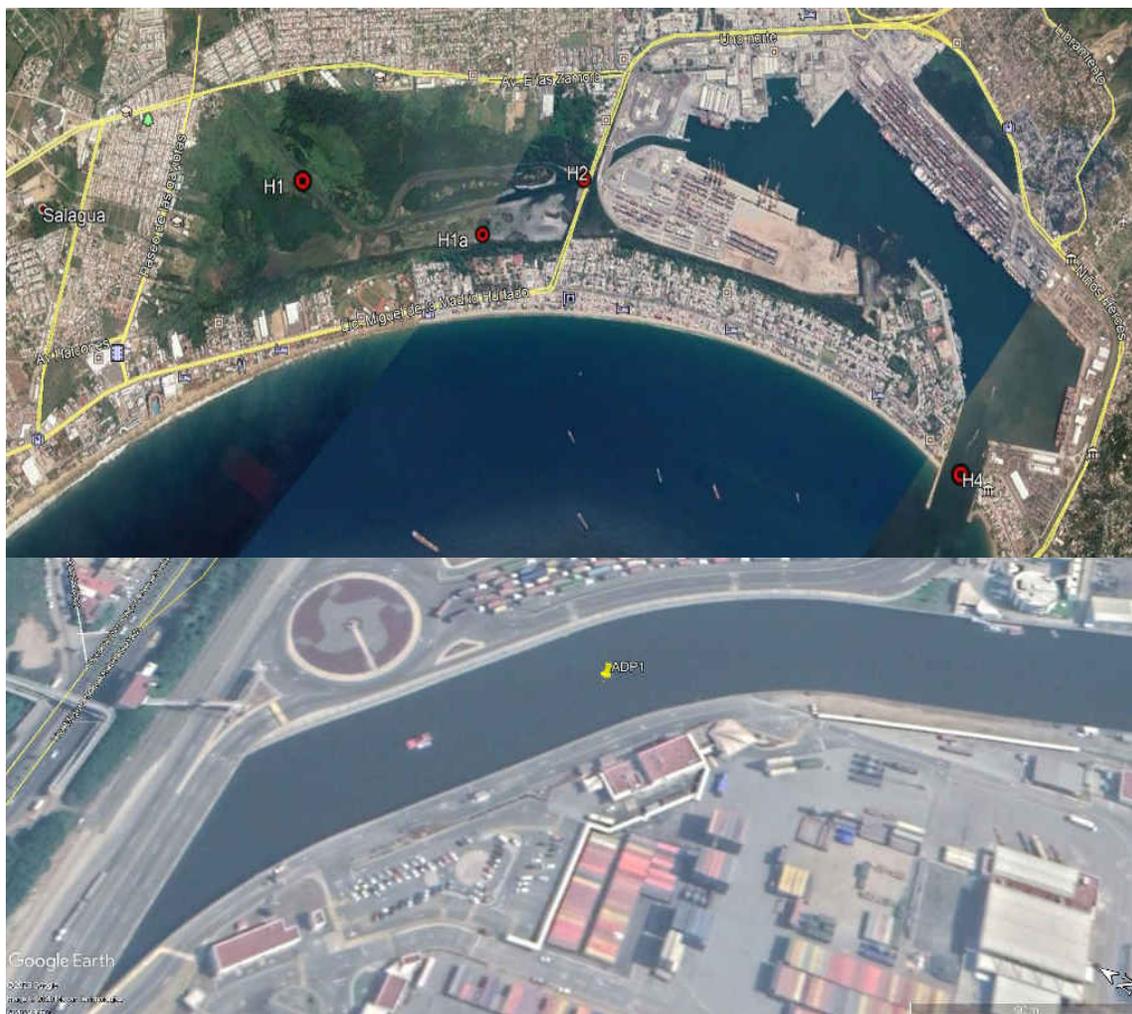
### III.12 Área de estudio en julio 2020.

La Laguna Valle de las Garzas, se localiza al Norte del Puerto Interior, se localiza entre las coordenadas 19°05'12.31" Latitud N y 104°18'5.06" Longitud O y 19° 06'14.80" Latitud N y 104°18'57.24" Longitud O aproximadamente. La Laguna colinda al Norte con la comunidad de Salagua, al Este con la comunidad del Valle de las Garzas, al Oeste con la carretera costera Manzanillo-Cihuatlán y al Sur con el Puerto Interior.

La instalación de los equipos se realizó el 1 de julio de 2020 y se utilizó una lancha con motor fuera de borda, se instalaron 4 Hobos para medir el nivel del agua y temperatura, así como, 4 Hobos para medir la salinidad en la posición H1, H1a, Canal de Comunicación (CC) y H4 (Canal de Navegación), respectivamente.

Además, para medir la velocidad y dirección de la corriente, se instaló el medidor **ADP** marca Sontek, en el Canal de Comunicación entre la laguna y el Puerto Interior (**ADP1**), (**Figura 12 y Tabla 12**).

Se utilizó equipo de buceo autónomo y lancha con motor fuera de borda, señalando que este equipo se programó para que registre mediciones cada hora, se representó como Canal de Comunicación (**CC**).



**Figura 12. Ubicación del área de estudio y estaciones de HOBOS (H1, H1a, H2 y H4) y ADP1 en la Laguna del Valle de las Garzas.**

**Tabla 12. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en la Laguna del Valle de las Garzas.**

<b>Punto</b>	<b>Latitud N</b>	<b>Longitud O</b>
<b>H1</b>	19° 5' 57.97"	104° 18' 44.81"
<b>H1a</b>	19° 5' 22.38"	104° 18' 31.18"
<b>H4 (CN)</b>	19° 3' 39.23"	104° 18' 10.16"
<b>ADP1 (CC)</b>	19° 05' 01.9"	104° 17' 55.2"

### III.2 Actividades en campo.

Enseguida se describen las actividades de campo que se realizaron en forma mensual desde agosto 2019 hasta julio 2020.

#### III.2.1. Actividades de campo en agosto 2019.

El día 19 de agosto de 2019, se instalaron los Hobos (H2 y H4) para medir el nivel de agua y posteriormente realizar un análisis armónico de la marea, con el fin de conocer hasta donde llega la propagación de la marea. El registro de nivel de agua se graficó de manera comparativa en los 2 sitios, además, se efectuó un análisis armónico para determinar las constantes armónicas astronómica y residual de la señal de marea medida (**Figura 13**).



**Figura 13.** Instalación del Hobo (H2) abajo del puente de la carretera Manzanillo- Cihuatlán.

En este caso es necesario señalar que en la sección del puente de la carretera se encontraba una draga trabajando por lo que probablemente ocasionó “ruido” a la señal de marea **Figura 14**.



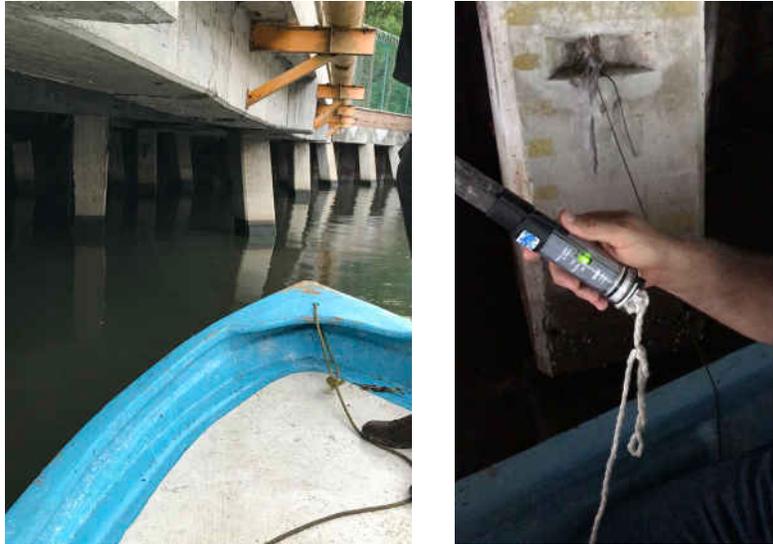
**Figura 14. Instalación del tubo de la draga en la laguna del Valle de las Garzas.**

El equipo ADP se instaló en la comunicación de la Laguna del Valle de las Garzas (ADP1) con el puerto. Por otra parte, se realizó la medición del área de la sección del puente que comunica el Puerto Interior y la laguna del Valle de las Garzas, con el fin de iniciar con el modelado de los flujos de intercambio hidráulico, para de esta manera, iniciar con el diseño de una estructura de control hidráulico en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito.

### **III.2.2. Actividades de campo en septiembre 2019.**

El día 9 de septiembre de 2019, se instalaron los Hobos (H2 y H4) para medir el nivel de agua y posteriormente realizar un análisis armónico de la marea, con el fin de conocer hasta donde llega la propagación de la marea. El registro de nivel de agua se graficó de manera comparativa en los 2 sitios, además, se efectuó un análisis armónico

para determinar las constantes armónicas astronómica y residual de la señal de marea medida, (**Figura 15**).



**Figura 15.** Instalación del Hobo (H2) abajo del puente de la carretera Manzanillo-Cihuatlán.

En este caso es necesario señalar que en la sección del puente de la carretera se encontraba trabajando la draga y además, se originó un azolve debido a los eventos meteorológicos “Lorena” y “Narda” que se presentaron durante la segunda quincena de septiembre **Figura 16**.



**Figura 16.** Instalación del tubo de la draga en la laguna del Valle de las Garzas.

Por otra parte, se realizó la medición del área de la sección del puente que comunica el Puerto Interior y la laguna del Valle de las Garzas, con el fin de iniciar con el modelado de los flujos de intercambio hidráulico, para de esta manera, iniciar con el diseño de una estructura de control hidráulico en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito.

### III.2.3. Actividades de campo en octubre 2019.

El día 1 de octubre de 2019, se instalaron los Hobos (H2 y H4) y el H1a se ubicó el día 11 de octubre de 2019, para medir el nivel de agua y posteriormente realizar un análisis armónico de la marea, con el fin de conocer hasta donde llega la propagación de la marea. El registro de nivel de agua se graficó de manera comparativa en los 3 sitios, además, se efectuó un análisis armónico para determinar las constantes armónicas astronómica y residual de la señal de marea medida, (**Figura 17**).

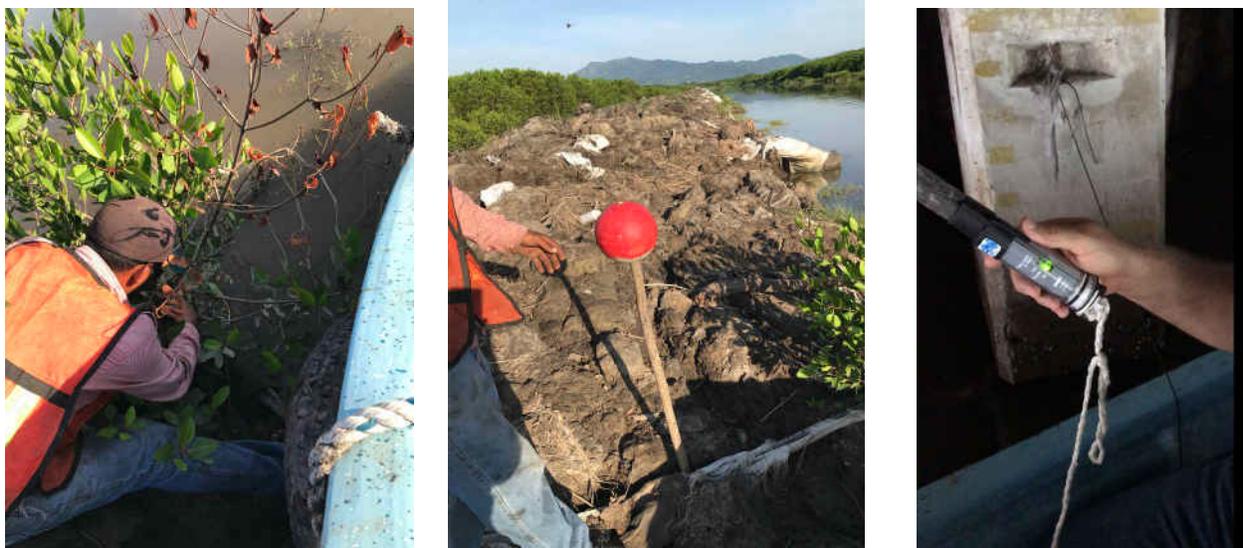


Figura 17. Instalación del Hobo (H1 y H2) en la Laguna del Valle de las Garzas y abajo del puente de la carretera Manzanillo-Cihuatlán.

En este caso es necesario señalar que en la sección del puente de la carretera se encontraba trabajando la draga debido al azolve originado por el paso de dos sistemas meteorológicos por las costas del Pacífico mexicano, “Priscila” (20 de octubre) y una zona de baja presión frente a la costa de Michoacán y Colima (30 de octubre).

Ambas impactaron la costa del Estado de Colima, la primera como Huracán Categoría I, generando lluvias torrenciales en Nayarit, Jalisco, Colima y Michoacán. Las primeras horas de la noche, tocó tierra en Colima, generando nublados densos con lluvias puntuales, rachas de viento superiores a 70 km/h y oleaje elevado de 3 a 5 m de altura

**Figura 18.**



**Figura 18. Draga trabajando en la Laguna del Valle de las Garzas.**

Por otra parte, se continuó trabajando en la implementación del modelo numérico Delf3D para evaluar la circulación en la Laguna del Valle de las Garzas.

**III.2.4. Actividades de campo en noviembre 2019.**

El día 1 de noviembre de 2019, se instalaron los Hobos (H2 y H4), para medir el nivel de agua, posteriormente se realizó el análisis armónico de la marea, con el fin de conocer hasta donde llega la propagación de la onda de marea. El registro de nivel de agua se graficó de manera comparativa en los 3 sitios, además, se determinaron las

principales constantes armónicas astronómica y residual de la señal de marea medida **(Figura 19)**.



**Figura 19. Instalación del Hobo (H1a y H2) en la Laguna del Valle de las Garzas y abajo del puente de la carretera Manzanillo-Cihuatlán.**

En este caso es necesario señalar que, en noviembre, en la sección del puente de la carretera (cerca del Gavión) ya no se encontraba trabajando la draga.

Por otra parte, se continuó trabajando en la implementación del modelo numérico Delf3D para evaluar la circulación en la Laguna del Valle de las Garzas.

### **III.2.5. Actividades de campo en diciembre 2019.**

El día 1 de diciembre de 2019, se instalaron los Hobos (H1, H1a, H2 y H4), para medir el nivel de agua, posteriormente se realizó el análisis armónico de la marea, con el fin de conocer hasta donde llega la propagación de la onda de marea. El registro de nivel de agua se graficó de manera comparativa en los 3 sitios, además, se determinaron las

principales constantes armónicas astronómica y residual de la señal de marea medida **(Figura 20)**.



**Figura 20. Instalación del Hobo (H1a y H2) en la Laguna del Valle de las Garzas y abajo del puente de la carretera Manzanillo-Cihuatlán.**

En este caso es necesario señalar que, en diciembre, la draga empezó a trabajar hacia el Norte de la Laguna del Valle de las Garzas, es decir, hacia los canales.

Por otra parte, se continuó trabajando en la implementación del modelo numérico Delf3D para evaluar la circulación en la Laguna del Valle de las Garzas.

### **III.2.6. Actividades de campo en enero 2020.**

El día 1 de enero de 2020, se instalaron los Hobos (H1, H1a, H2 y H4), para medir el nivel de agua, posteriormente se realizó el análisis armónico de la marea, con el fin de conocer hasta donde llega la propagación de la onda de marea. El registro de nivel de agua se graficó de manera comparativa en los 4 sitios, además, se determinaron las principales constantes armónicas astronómica y residual de la señal de marea medida, **(Figura 21)**.



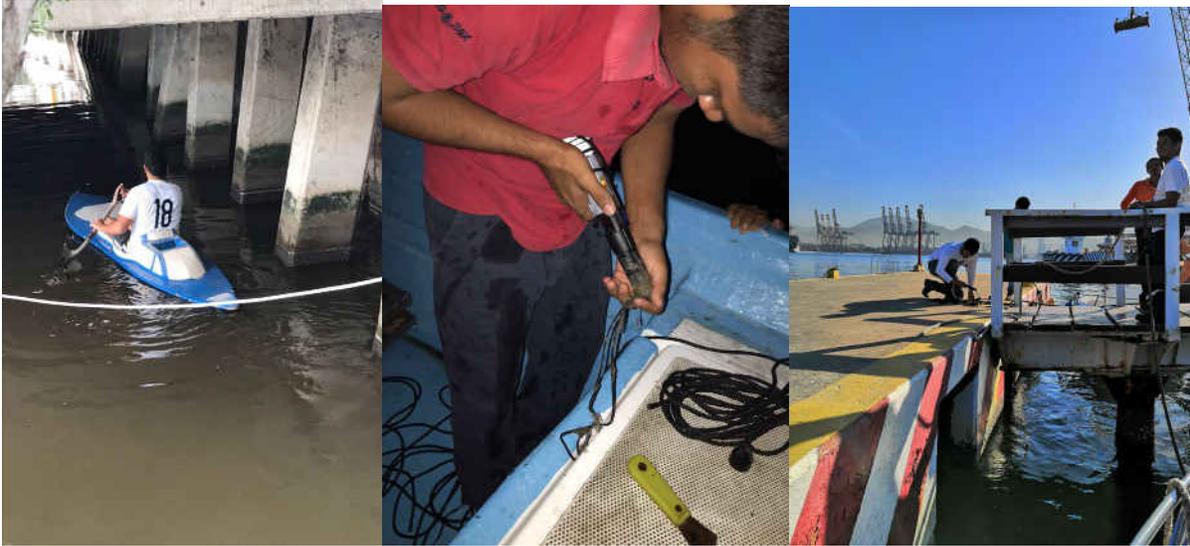
**Figura 21. Instalación del Hobo (H1a y H2) en la Laguna del Valle de las Garzas y en el muelle de API.**

En este caso es necesario señalar que, en enero, la draga continuó los trabajos hacia el Norte de la Laguna del Valle de las Garzas, es decir, hacia los canales.

Por otra parte, se continuó trabajando en la implementación del modelo numérico Delf3D para evaluar la circulación en la Laguna del Valle de las Garzas.

### **III.2.7. Actividades de campo en febrero 2020.**

El día 1 de febrero de 2020, se instalaron los Hobos (H1, H1a, H2 y H4), para medir la temperatura del agua, la salinidad y el nivel de agua, posteriormente se realizó el análisis armónico de la marea, con el fin de conocer hasta donde llega la propagación de la onda de marea. El registro de nivel de agua se graficó de manera comparativa en los 4 sitios, además, se determinaron las principales constantes armónicas astronómica y residual de la señal de marea medida (**Figura 22**).



**Figura 22. Instalación y colecta de datos del Hobo (H1a y H2) en la Laguna del Valle de las Garzas y en el muelle de API.**

En este caso es necesario señalar que, en febrero, la draga continuó los trabajos hacia el Norte de la Laguna del Valle de las Garzas, es decir, hacia los canales que se ubican hacia el Norte de la laguna. En marzo se instalará el equipo ADP, en la comunicación de la Laguna del Valle de las Garzas con el Puerto Interior, es decir, cercano al Gavión. Por otra parte, se continuó trabajando en la implementación del modelo numérico Delf3D para evaluar la circulación en la Laguna del Valle de las Garzas.

### **III.2.8. Actividades de campo en marzo 2020.**

El día 1 de marzo de 2020, se instalaron los Hobos (H1, H1a, H2, H4) para medir el nivel de agua, la temperatura y salinidad del agua y el 4 de marzo el ADP1, posteriormente se realizó el análisis armónico de la marea, con el fin de conocer hasta donde llega la propagación de la onda de marea. El registro de nivel de agua se graficó de manera comparativa en los 4 sitios, además, se determinaron las principales constantes armónicas astronómica y residual de la señal de marea medida (**Figura 23**).



**Figura 23. Instalación del ADP1 y colecta de datos del Hobo (H1a y H2) en la Laguna del Valle de las Garzas y en el Canal de comunicación laguna-puerto Interior.**

En este caso es necesario señalar que, en marzo, la draga continuó los trabajos hacia el la Laguna del Valle de las Garzas, es decir, en los canales que se ubican hacia el Norte de la laguna.

Por otra parte, es necesario que la API-Manzanillo, proporcione la batimetría actualizada de la Laguna del Valle de las Garzas, con el fin de implementar el modelo numérico **Delf3D** para evaluar la circulación en la Laguna del Valle de las Garzas.

### **III.2.9. Actividades de campo en abril 2020.**

El día 1 de abril de 2020, se instalaron los Hobos (H1, H1a, H2, H4) para medir el nivel de agua, la temperatura y salinidad del agua, así como, el ADP1, posteriormente se realizó el análisis armónico de la marea, con el fin de conocer hasta donde llega la propagación de la onda de marea. El registro de nivel de agua se graficó de manera comparativa en los 4 sitios, además, se determinaron las principales constantes armónicas astronómica y residual de la señal de marea medida (**Figura 24**).



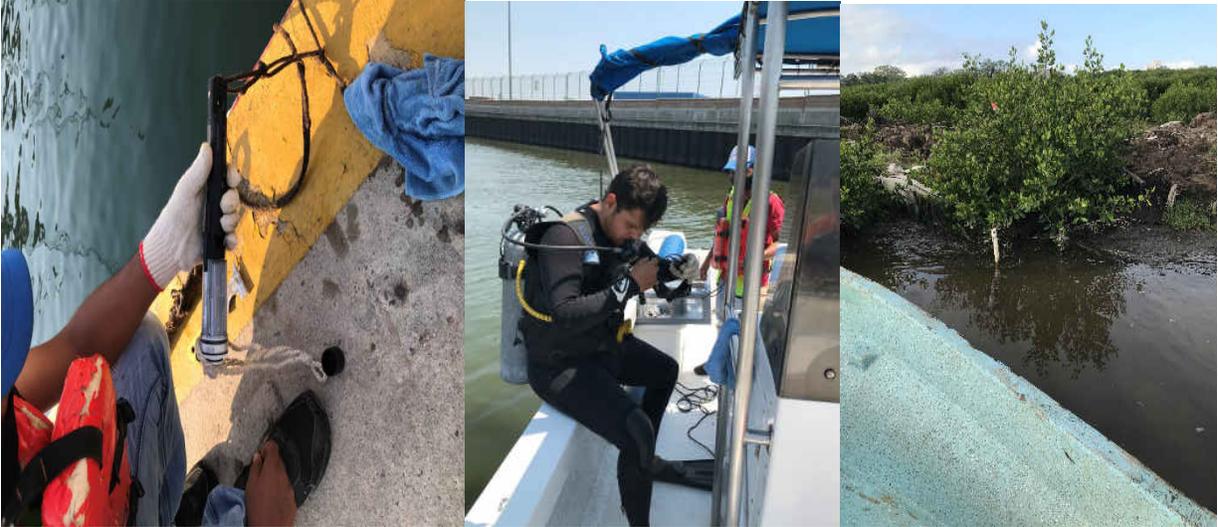
**Figura 24. Instalación del ADP1 y colecta de datos del Hobo (H1a y H2) en la Laguna del Valle de las Garzas y en el Canal de comunicación laguna-puerto Interior.**

En este caso es necesario señalar que, a finales de abril la draga se retiró de la Laguna del Valle de las Garzas, es decir, concluyó el trabajo de dragado de la laguna.

Por otra parte, es necesario que la API-Manzanillo, proporcione la batimetría actualizada de la Laguna del Valle de las Garzas, con el fin de implementar el modelo numérico **Delf3D** para evaluar la circulación en la Laguna del Valle de las Garzas.

### **III.2.10. Actividades de campo en mayo 2020.**

El día 1 de mayo de 2020, se instalaron los Hobos (H1, H1a, CC y H4) para medir el nivel de agua, la temperatura y salinidad del agua, así como, el ADP1, posteriormente se realizó el análisis armónico de la marea, con el fin de conocer hasta donde llega la propagación de la onda de marea. El registro de nivel de agua se graficó de manera comparativa en los 4 sitios, además, se determinaron las principales constantes armónicas astronómica y residual de la señal de marea medida **(Figura 25)**.



**Figura 25. Instalación del ADP1 y colecta de datos del Hobo (H1a y CC) en la Laguna del Valle de las Garzas y en el Canal de comunicación Laguna-Puerto Interior.**

En este caso es necesario señalar que, a finales de abril la draga se retiró de la Laguna del Valle de las Garzas, es decir, concluyó el trabajo de dragado de la laguna.

Por otra parte, es necesario que la API-Manzanillo, proporcione la batimetría actualizada de la Laguna del Valle de las Garzas, con el fin de implementar el modelo numérico **Delf3D** para evaluar la circulación en la Laguna del Valle de las Garzas.

### **III.2.11. Actividades de campo en junio 2020.**

El día 1 de junio de 2020, se instalaron los Hobos (H1, H1a, CC y H4) para medir el nivel de agua, la temperatura y salinidad del agua, así como, el ADP1, posteriormente se realizó el análisis armónico de la marea, con el fin de conocer hasta donde llega la propagación de la onda de marea. El registro de nivel de agua se graficó de manera comparativa en los 4 sitios, además, se determinaron las principales constantes armónicas astronómica y residual de la señal de marea medida (**Figura 26**).



**Figura 26. Instalación del ADP1 y colecta de datos del Hobo (H1a y CC) en la Laguna del Valle de las Garzas y en el Canal de comunicación Laguna-Puerto Interior.**

En este caso es necesario señalar que la API-Manzanillo, proporcione la batimetría actualizada de la Laguna del Valle de las Garzas, con el fin de implementar el modelo numérico **Delf3D** para evaluar la circulación en la Laguna del Valle de las Garzas.

### **III.2.12. Actividades de campo en julio 2020.**

El día 1 de julio de 2020, se instalaron los Hobos (H1, H1a, CC y H4) para medir el nivel de agua, la temperatura y salinidad del agua, así como, el ADP1, posteriormente se realizó el análisis armónico de la marea, con el fin de conocer hasta donde llega la propagación de la onda de marea. El registro de nivel de agua se graficó de manera comparativa en los 4 sitios, además, se determinaron las principales constantes armónicas astronómica y residual de la señal de marea medida (**Figura 27**).



**Figura 27. Instalación del ADP1 y colecta de datos del Hobo (H1a y CC) en la Laguna del Valle de las Garzas y en el Canal de comunicación Laguna-Puerto Interior.**

En este caso es necesario señalar que la API-Manzanillo, proporcione la batimetría actualizada de la Laguna del Valle de las Garzas, con el fin de implementar el modelo numérico **Delf3D** para evaluar la circulación en la Laguna del Valle de las Garzas.

#### **IV. Resultados**

Enseguida se presentan los resultados obtenidos en forma mensual desde agosto 2019 hasta julio 2020.

##### **IV.1 Nivel del agua en agosto 2019.**

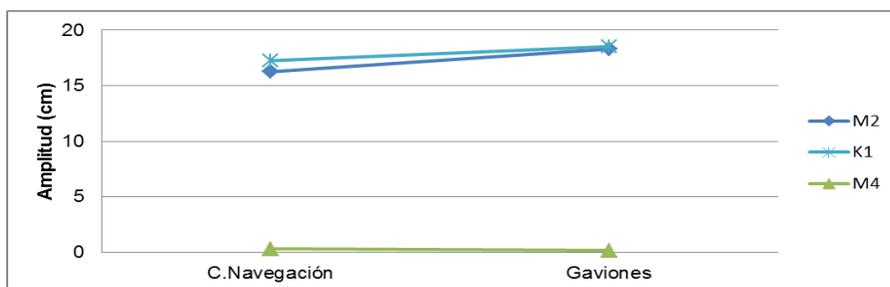
Se presentan los resultados comportamiento de la marea en la Laguna Valle de las Garzas en los puntos H2 y H4. Los valores indicados en el presente informe están referidos al nivel medio del mar (nmm). A los datos originales les fue sustraído el efecto de la presión atmosférica (PA), a partir de datos de PA obtenidos en la Laguna Valle de

las Garzas (**LVG**) con la misma razón de muestreo que los datos de marea (cada 15 minutos).

Posteriormente los datos fueron suavizados con media móvil utilizando una ventana de 1 hora. Finalmente fue realizado el análisis armónico a cada una de las series de tiempo por cada sitio de la **LVG**. Los resultados, de amplitud y fase, se muestran en la **Tabla 13**, en donde se observa que el número de componentes armónicos resuelto es reducido debido a lo corto de la serie de datos. Los datos están referidos al canal de navegación (**CN**) y en el sitio del Gavión. En la **Figura 28**, se muestra la amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min.

**Tabla 13. Amplitud (cm) y fase (°) de la marea cada 15 min, agosto 2019.**

	CN		Gavión	
	A	Fase	A	Fase
<b>M2</b>	16.26	112.22	18.31	339.34
<b>K1</b>	17.26	185.71	18.53	111.13
<b>M4</b>	0.30	306.19	0.14	70.00



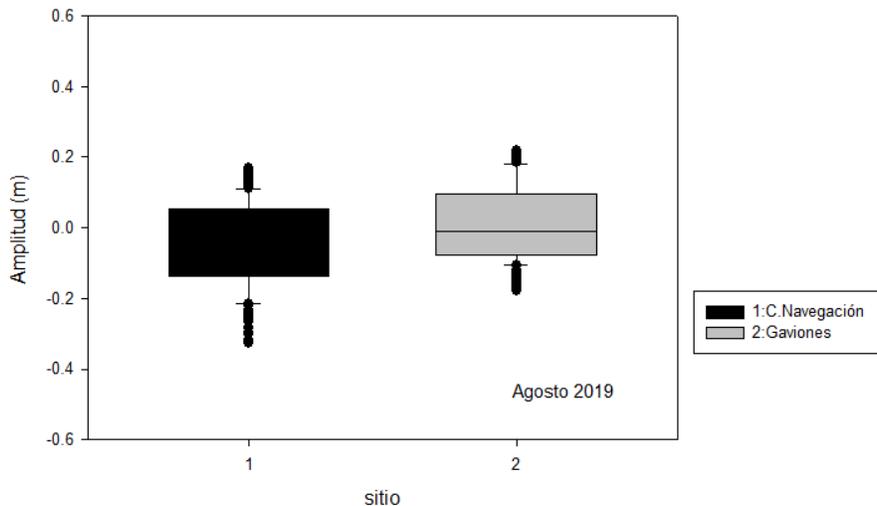
**Figura 28. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min para agosto 2019 en LVG.**

Dado la corta duración del muestreo en este mes de agosto, únicamente una componente semidiurna fue registrada y corresponde a la  $M_2$  con una amplitud de 16.26 cm en CN y de 18.31 cm en el sitio Gavión.

En el caso de las diurnas, solamente se registró la correspondiente a la  $K_1$ , la cual tuvo una amplitud de 17.26 cm en CN y de 18.53 cm en Gavión.

En las componentes de aguas someras, la que se registró fue la que correspondió a la componente  $M_4$ , con menor amplitud que las anteriores, ya que en CN fue de 0.3 cm y en Gavión fue de 0.14 cm.

En la **Figura 29**, se muestra estadística sobre el comportamiento del nivel de agua observado en los 2 sitios de la **LVG**. La cara inferior en cada rectángulo representa el primer cuartil, la superior al tercer cuartil, la línea horizontal dentro de la caja corresponde a la moda, las líneas verticales delgadas corresponden al 5% (inferior) y 95% (superior) de los datos y las líneas verticales gruesas corresponden al máximo (pleamar superior) y al mínimo (bajamar inferior).



**Figura 29. Diferencia de nivel de agua en los 2 sitios durante agosto de 2019.**

Los resultados del análisis armónico realizado a los datos de marea de la **LVG** son mostrados en la **Figura 30**. Respecto a la marea meteorológica se tiene que en el sitio del canal de navegación (**CN**) ésta aportó a la elevación del nivel de agua  $15.4 \pm 12.4$  cm, en promedio, con amplitud máxima de 54.1 cm y mínima de -49.7 cm. En el sitio

donde se ubica el Gavión el incremento promedio del nivel de agua fue de  $13.3 \pm 9.4$  cm, con máxima y mínima elevación de 35.5 cm y -40.7 cm, respectivamente

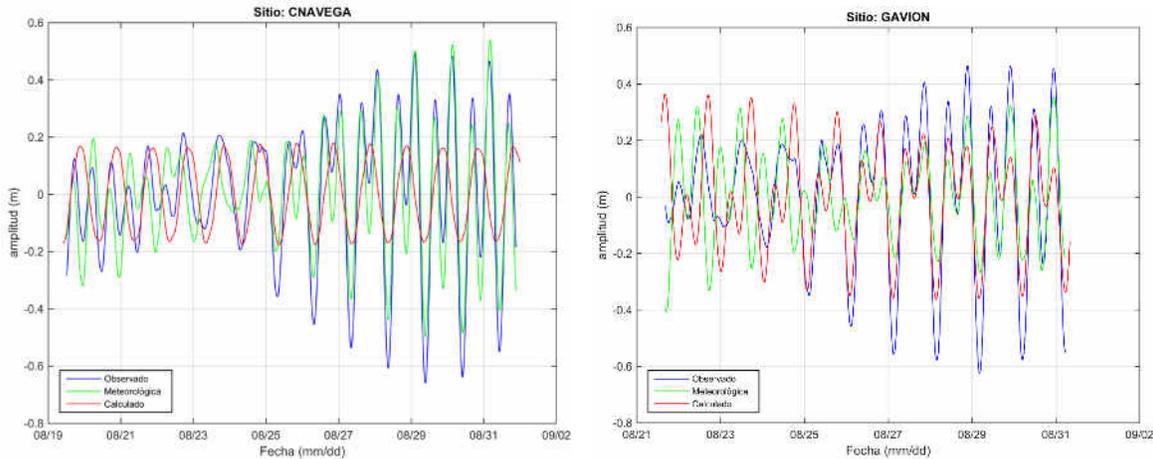


Figura 30. Análisis armónico de la marea cada 15 min en C. Navegación y Gavión (agosto, 2019).

#### IV.2 Nivel del agua en septiembre 2019.

Enseguida se presentan los resultados comportamiento de la marea en la Laguna Valle de las Garzas (**LVG**), en los sitios el Gavión (H2) y el canal de San Pedrito (H4), durante septiembre 2019. Los valores indicados en el presente informe están referidos al nivel medio del mar (nmm). A los datos originales les fue sustraído el efecto de la presión atmosférica (PA), a partir de datos de PA obtenidos en la Laguna Valle de las Garzas (**LVG**) con la misma razón de muestreo que los datos de marea (cada 15 minutos).

Posteriormente los datos fueron suavizados con media móvil utilizando una ventana de 1 hora. Finalmente fue realizado el análisis armónico a cada una de las series de tiempo por cada sitio de la **LVG**. Los resultados, de amplitud y fase, se muestran en la **Tabla 14**, en donde se observó que el número de componentes armónicos principales fueron ocho. Los datos están referidos al Canal de Navegación (**CN**) y al sitio de los Gavión. En la **Figura 31**, se muestra la amplitud de la marea observada de las

principales componentes armónicas cada 15 min para septiembre 2019 en los dos sitios de la LVG.

Tabla 14. Amplitud (cm) y fase (°) de la marea cada 15 min, septiembre 2019.

	C. Navegación		Gavión	
	A	Fase	A	Fase
<b>M<sub>2</sub></b>	6.23	323.01	9.92	334.42
<b>S<sub>2</sub></b>	3.83	302.63	11.52	313.18
<b>O<sub>1</sub></b>	1.77	109.51	10.27	93.41
<b>K<sub>1</sub></b>	4.03	120.05	10.61	100.57
<b>M<sub>Sf</sub></b>	5.55	80.69	5.10	107.23
<b>M<sub>4</sub></b>	0.10	43.04	0.05	108.37
<b>S<sub>4</sub></b>	0.02	133.44	0.04	221.07
<b>SK<sub>3</sub></b>	0.10	124.55	0.13	69.36

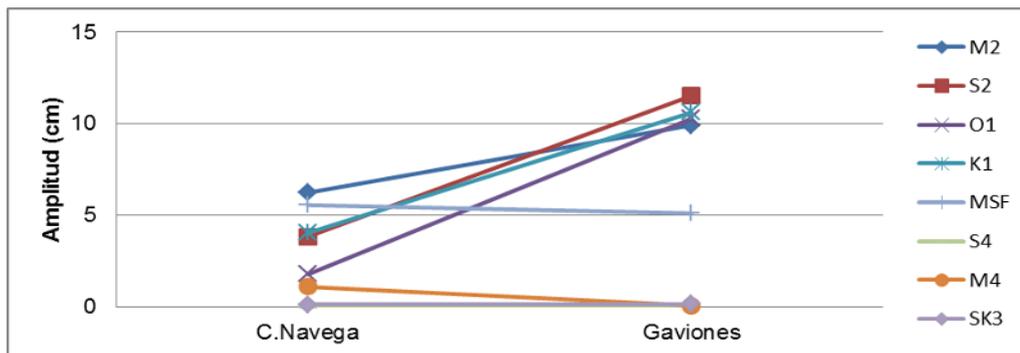
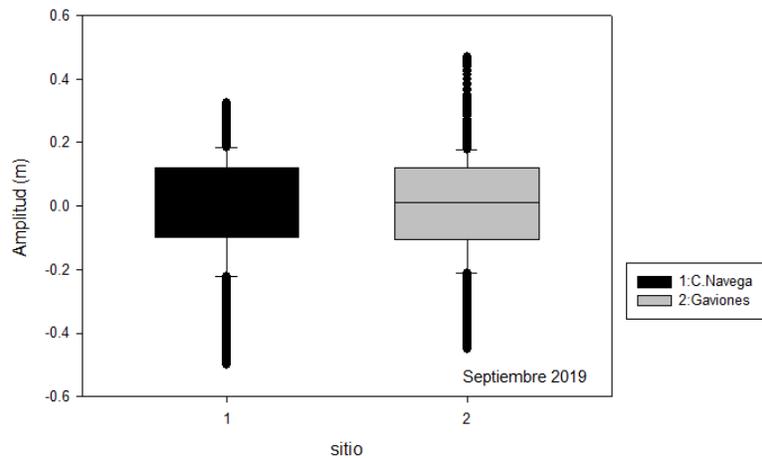


Figura 31. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min para septiembre 2019 en LVG.

El comportamiento de la marea en el Canal de Navegación (CN) en septiembre, el nivel de amplitud máxima promedio fue  $11.7 \pm 7.4$  cm y la mínima promedio fue  $-14.8 \pm 11.8$  cm. En este sitio se registró un máximo ascenso y descenso del nivel de agua de 32.4 y

-50.1 cm respectivamente. En el sitio Gavión, el nivel de amplitud máxima promedio de marea fue  $11.8 \pm 8.1$  cm y la mínima promedio fue  $-13.9 \pm 10.8$  cm. La máxima elevación del nivel de agua fue de 46.8 cm y el nivel más bajo registrado de -45.1 cm.

En la **Figura 32** se muestra estadística sobre el comportamiento del nivel de agua observado en los 2 sitios de la **LVG**. La cara inferior en cada rectángulo representa el primer cuartil, la superior al tercer cuartil, la línea horizontal dentro de la caja corresponde a la moda, las líneas verticales delgadas corresponden al 5% (inferior) y 95% (superior) de los datos y las líneas verticales gruesas corresponden al máximo (pleamar superior) y al mínimo (bajamar inferior).



**Figura 32. Diferencia de nivel de agua en los 2 sitios durante septiembre de 2019.**

Las principales componentes semidiurnas correspondieron a la  $M_2$  y  $S_2$ . En el caso de las diurnas con mayor contribución fueron la  $O_1$  y  $K_1$  y para aguas someras fueron  $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ . El comportamiento corresponde a una marea mixta semidiurna, denotado por valores del coeficiente de Cartier entre 0.6 y 1.0 para los vasos del SLC. Dicho coeficiente se basa en la relación entre las magnitudes relativas de las amplitudes de los constituyentes principales diurnos y semidiurnos.

La contribución de las componentes semidiurnas ( $M_2$  y  $S_2$ ) a la amplitud del nivel de marea, en promedio, fue del 45.7% en **LVG**. En Gavión su aportación fue del 45% y en CN fue de 46.5%. En el caso de las componentes diurnas ( $O_1$  y  $K_1$ ), éstas contribuyeron

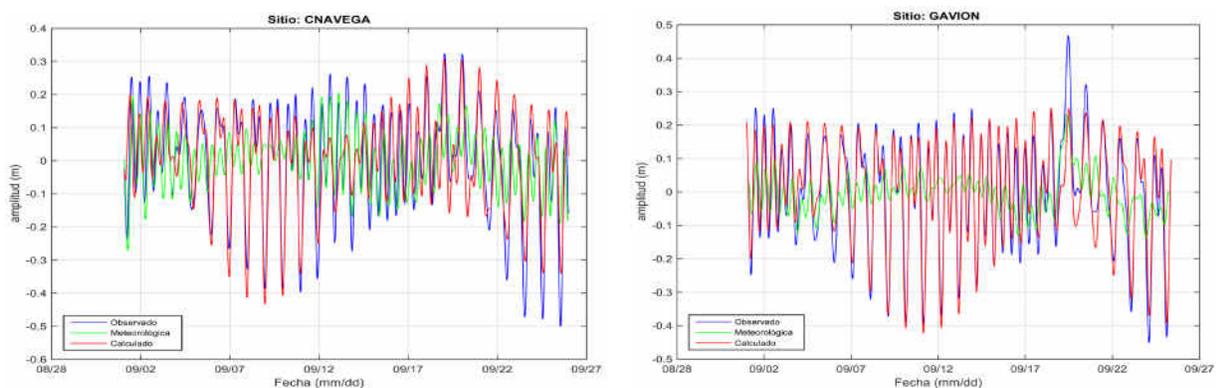
con el 35.3%, en promedio, a la amplitud de marea en LVG. En CN las diurnas representaron el 26.8% y en Gavión contribuyeron con el 43.8%. Las componentes de aguas someras ( $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{Sf}$  y  $SK_3$ ) la contribución fue en CN del 26.1% y en Gavión correspondió al 10.8%.

Con relación a las amplitudes de las componentes de marea la  $M_2$  tuvo una amplitud de 6.2 cm en CN y de 9.9 cm en Gavión. La componente  $S_2$  en CN presentó una amplitud de 3.83 cm y en Gavión fue de 11.5 cm. En el caso de las componentes diurnas, la  $O_1$  mostró una amplitud de 1.7 cm en CN y de 10.6 cm en Gavión. La componente  $K_1$  tuvo una amplitud de 4 cm en CN y de 10.6 en Gavión.

Respecto a las componentes de aguas someras la  $M_{Sf}$  mostro una amplitud de 5.5 cm en CN y 5.1 cm en Gavión, la  $M_4$  con amplitud de 0.1 cm en CN y en Gavión fue 0.05 cm, la  $S_4$  con amplitud de 0.02 cm en CN y 0.04 cm en Gavión y la componente  $SK_3$  con 0.1 cm de amplitud en CN y Gavión.

Los resultados del análisis armónico realizado a los datos de marea de la **LVG** son mostrados de la **Figura 33**.

Respecto a la marea meteorológica se tiene que en CN ésta aportó a la elevación del nivel de agua  $7.3 \pm 5.3$  cm, en promedio, con amplitud máxima de 22.9 cm y mínima de -24.8 cm. En el sitio Gavion, el incremento promedio del nivel de agua fue de  $4.3 \pm 4.4$  cm, con máxima y mínima amplitud de 23.3 cm y -13.9 cm, respectivamente.



**Figura 33. Análisis armónico de la marea cada 15 min en C. Navegación y Gavión (sept., 2019).**

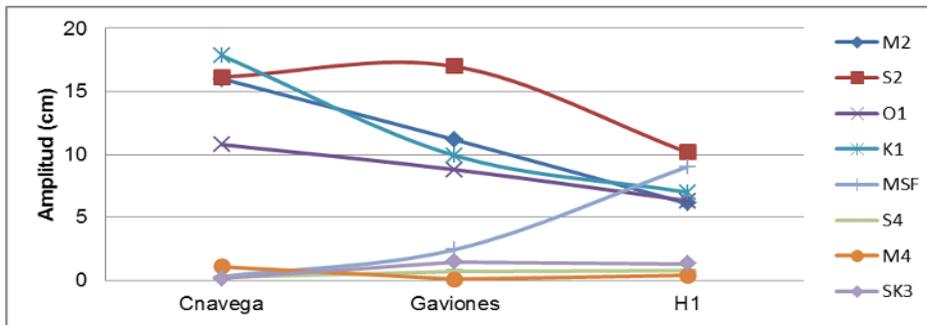
### IV.3 Nivel del agua en octubre 2019.

Enseguida se presentan los resultados comportamiento de la marea en la Laguna Valle de las Garzas (**LVG**), en los sitios el Gavión (H2), parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1) y el Canal de Comunicación (CC) (H4).

Los valores indicados en el presente informe están referidos al nivel medio del mar (nmm). A los datos originales les fue sustraído el efecto de la presión atmosférica (PA), a partir de datos de PA obtenidos en la Laguna Valle de las Garzas (**LVG**) con la misma razón de muestreo que los datos de marea (cada 15 minutos). Posteriormente los datos fueron suavizados con media móvil utilizando una ventana de 1 hora. Finalmente fue realizado el análisis armónico a cada una de las series de tiempo por cada sitio de la **LVG**. Los resultados, de amplitud y fase, se muestran en la **Tabla 15**, en donde se observó que el número de componentes armónicos principales fueron ocho. Los datos están referidos al Canal de Navegación (**CN, H4**), la parte Norte de la laguna (H1a) y al sitio H2 (Gavión). En la **Figura 34**, se muestra la amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min para octubre 2019 en los tres sitios de la **LVG**.

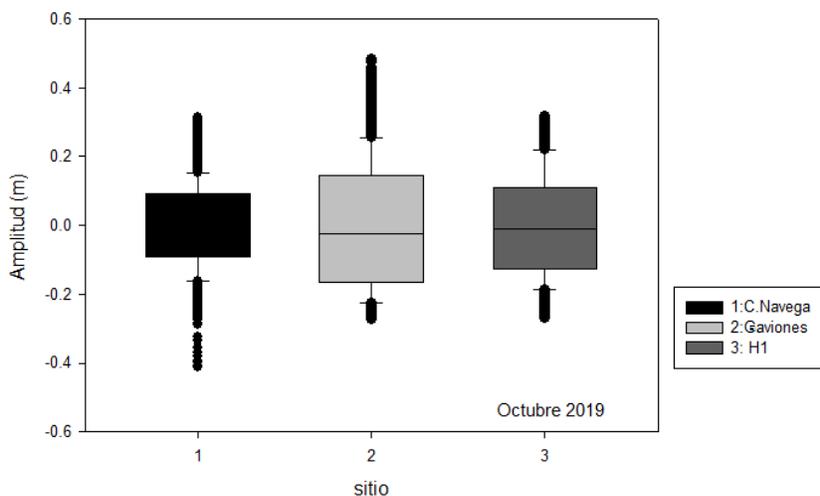
**Tabla 15. Amplitud (cm) y fase (°) de la marea cada 15 min en octubre, 2019.**

	C. Navegación		Gavión		H1a	
	A	Fase	A	Fase	A	Fase
<b>M<sub>2</sub></b>	16.01	107.28	11.17	332.45	6.10	14.61
<b>S<sub>2</sub></b>	16.15	73.71	16.99	295.38	10.17	341.75
<b>O<sub>1</sub></b>	10.78	10.13	8.79	90.46	6.32	122.74
<b>K<sub>1</sub></b>	17.86	147.14	9.92	75.73	6.99	104.37
<b>M<sub>SF</sub></b>	0.29	300.37	2.43	270.49	9.02	232.17
<b>M<sub>4</sub></b>	0.19	353.61	0.40	315.03	0.62	347.81
<b>S<sub>4</sub></b>	0.23	26.37	0.71	225.28	0.73	235.70
<b>SK<sub>3</sub></b>	0.13	242.50	1.46	9.82	1.31	32.42



**Figura 34. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min para octubre 2019 en LVG.**

El comportamiento de la marea en el Canal de Navegación (CN-H4) en octubre, el nivel de amplitud máxima promedio fue  $9.9 \pm 6.5$  cm y la mínima promedio fue  $-10.2 \pm 7.1$  cm. En este sitio se registró un máximo ascenso y descenso del nivel de agua de 31.5 cm y  $-41.2$  cm, respectivamente. En el sitio Gavión (H2), el nivel de amplitud máxima promedio de marea fue  $17.1 \pm 11.3$  cm y la mínima promedio fue  $-14.4 \pm 7.6$  cm. La máxima elevación del nivel de agua fue 48.5 cm y el nivel más bajo de  $-27.3$  cm. En el sitio H1a el nivel de amplitud máxima promedio fue  $13.1 \pm 8.6$  cm y la mínima promedio fue  $-12.2 \pm 6.6$  cm. La máxima amplitud del nivel de agua fue 31.8 cm y la mínima amplitud fue  $-27.1$  cm. En la **Figura 35** se muestra estadística sobre el comportamiento del nivel de agua observado en los 3 sitios de la **LVG**.



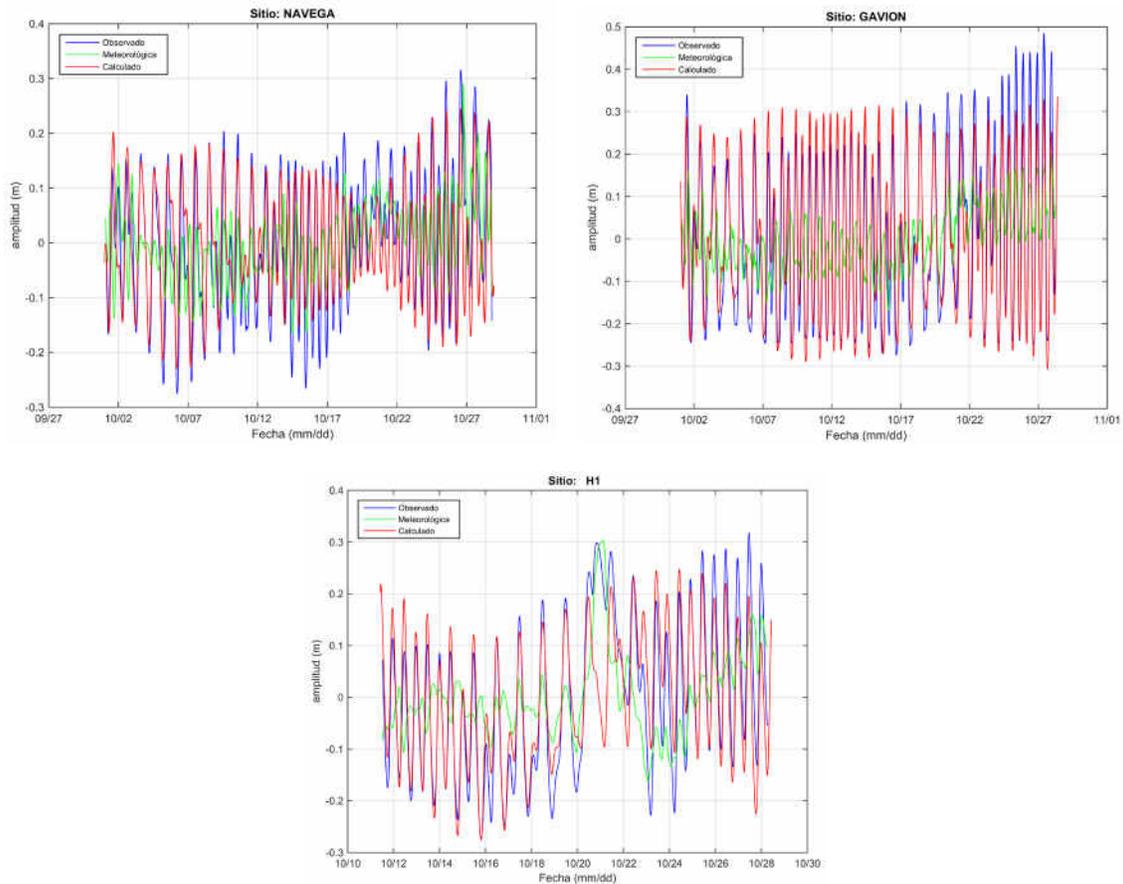
**Figura 35. Diferencia de nivel de agua en los 3 sitios durante octubre de 2019.**

Las principales componentes semidiurnas correspondieron a la  $M_2$  y  $S_2$ . En el caso de las diurnas con mayor contribución fueron la  $O_1$  y  $K_1$  y para aguas someras fueron  $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ . La contribución de las componentes semidiurnas ( $M_2$  y  $S_2$ ) a la amplitud del nivel de marea, en promedio, fue del 53.2% en **LVG**. En Gavión (H2) su aportación fue del 54.3% y en CN (H4) fue de 52.2% y en sitio H1a fue 39.4%. En el caso de las componentes diurnas ( $O_1$  y  $K_1$ ), éstas contribuyeron con el 41.2%, en promedio, a la amplitud de marea en LVG. En CN las diurnas representaron el 46.5%, en Gavión contribuyeron con el 36.1% y en H1a fue 32.3%. Las componentes de aguas someras ( $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ ) la contribución fue en CN (H4) del 0.8%, en Gavión (H2) correspondió al 5.5% y en el sitio H1a fue 23.4%.

Con relación a las amplitudes de las componentes semidiurnas de marea, la  $M_2$  presentó una amplitud de 16 cm en CN, 11.2 cm en el sitio Gavión y 6.1 cm en el sitio H1a. La componente  $S_2$  en CN presentó una amplitud de 16.1 cm, en el sitio Gavión fue de 16.9 cm y en el sitio H1a fue de 10.2 cm. En el caso de las componentes diurnas, la  $O_1$  presentó una amplitud de 10.7 cm en CN, 8.7 cm en Gavión y 6.3 en H1a. La componente  $K_1$  presentó una amplitud de 17.8 cm en CN, de 9.9 en Gavión y 6.9 en el sitio H1a.

La contribución de las componentes de agua somera fue que la  $M_{sf}$  con 0.3 cm en CN, 2.4 cm en el sitio Gavión y 9 cm en H1a. La  $M_4$  con amplitud de 0.2 cm en CN, en Gavión fue 0.4 cm y en H1a fue de 0.6 cm. La  $S_4$  con amplitud de 0.2 cm en CN, 0.71 cm en Gavión y 0.73 cm en el sitio H1a. Finalmente, la componente  $SK_3$  con 0.1 cm de amplitud en CN, 1.4 cm en Gavión y 1.3 cm en el sitio H1a. Los resultados del análisis armónico realizado a los datos de marea de la **LVG** son mostrados de la **Figura 36**.

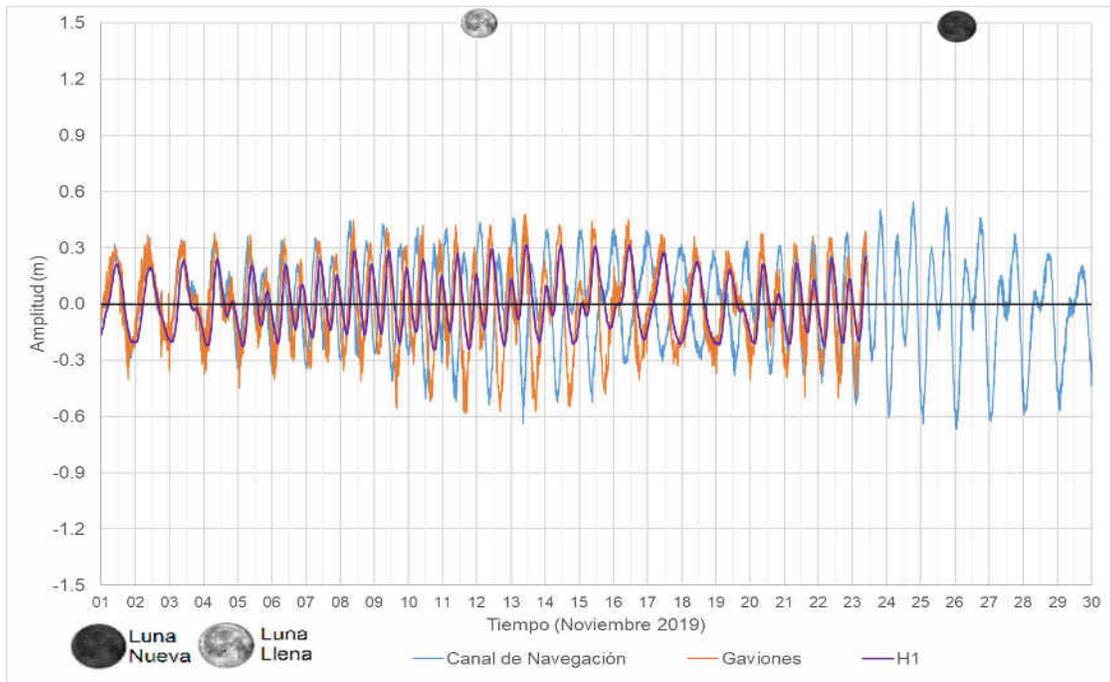
Respecto a la marea meteorológica se tiene que en CN ésta aportó a la elevación del nivel de agua  $5.4 \pm 4.4$  cm, en promedio, con amplitud máxima de 29.1 cm y mínima de -31.5 cm. En el sitio Gavión el incremento promedio del nivel de agua fue de  $6.1 \pm 4.7$  cm, con máxima y mínima de 19.9 cm y -16.9 cm, respectivamente. Por último, en el sitio H1a el aporte fue de  $7.1 \pm 7.2$  cm, en promedio, con amplitud máxima de 30.3 cm y mínima de -16.2 cm



**Figura 36. Análisis armónico de la marea cada 15 min en C. Navegación, Gavión y H1a (octubre, 2019).**

#### **IV.4 Nivel del agua, marea y temperatura del agua en noviembre 2019.**

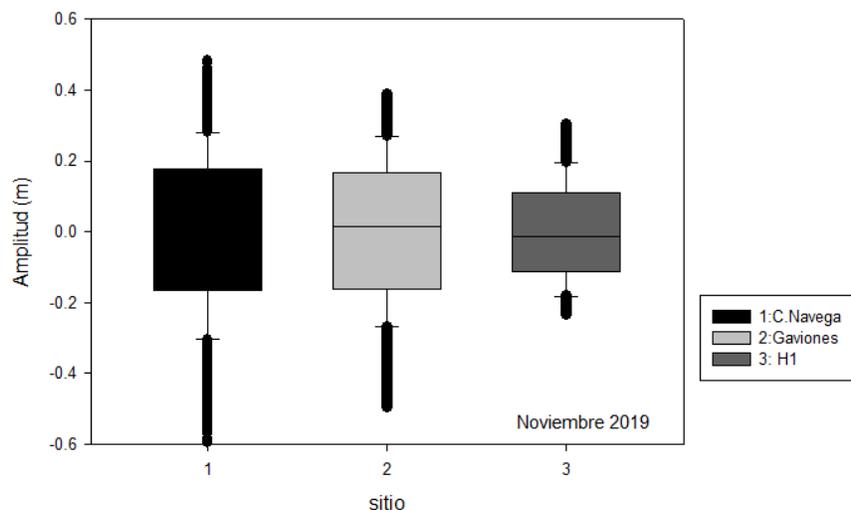
En este informe solo se consideran las mediciones de nivel de agua realizadas durante noviembre de 2019. Los valores indicados están referidos al nivel medio del mar (nmm). En la **Figura 37** se presenta el comportamiento del nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación San Pedrito (CN-H4), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) del 1 al 23 de noviembre 2019.



**Figura 37. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación San Pedrito (CN), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) durante noviembre de 2019.**

Es importante remarcar que los instrumentos HOBO, miden las elevaciones del nivel del agua. La marea astronómica es una elevación del mar de largo periodo, pero no la única. Existen, por ejemplo, factores atmosféricos como la variación de la presión atmosférica o el viento que pueden provocar elevaciones del nivel del mar de largo periodo, con lo que también estas quedan registradas en el instrumento.

En la **Figura 38** se muestra estadística sobre el comportamiento del nivel de agua medido en los sitios de la Laguna del Valle de las Garzas. La cara inferior en cada rectángulo representa el primer cuartil, la superior al tercer cuartil, la línea horizontal dentro de la caja corresponde a la moda, las líneas verticales delgadas corresponden al 5% (inferior) y 95% (superior) de los datos y las líneas verticales gruesas corresponden al máximo (pleamar superior) y al mínimo (bajamar inferior).



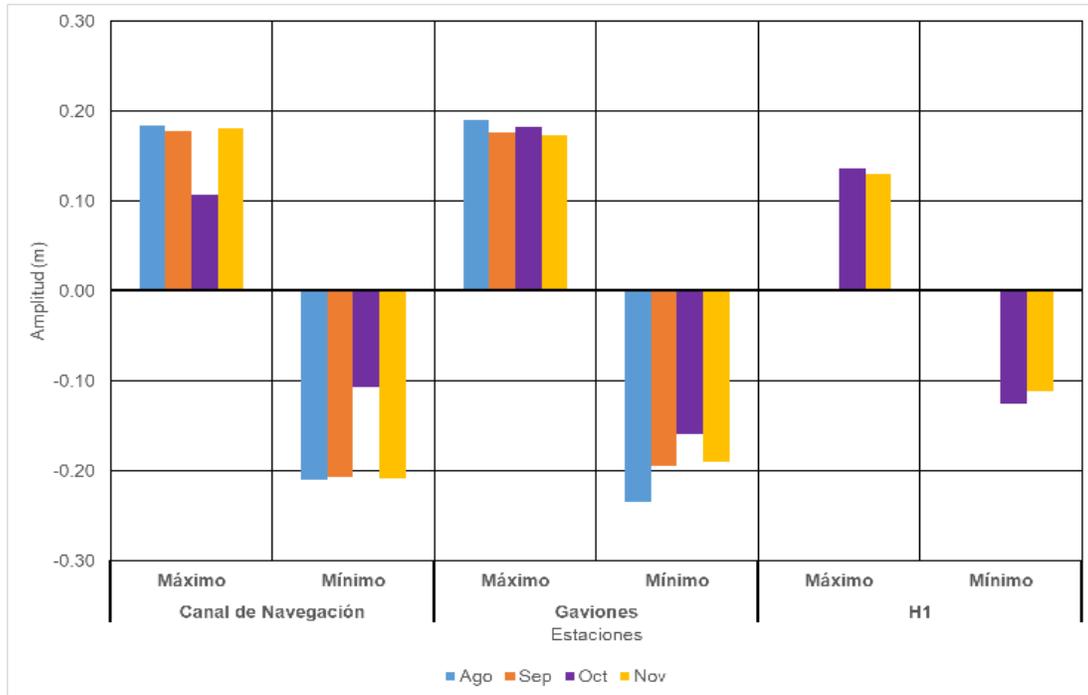
**Figura 38. Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación San Pedrito (CN), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) durante noviembre de 2019.**

En la **Tabla 16**, se muestra un comparativo de los promedios de los valores de nivel de marea máximos y mínimos diarios para cada uno de los sitios de medición, durante el período de agosto a noviembre de 2019.

En la **Figura 39**, se muestra la estadística mensual de los valores promedio diarios de niveles de agua de los máximos y mínimos (corresponden al nivel de pleamar y bajamar), en cada sitio de medición, de agosto a noviembre 2019.

**Tabla 16. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a noviembre de 2019.**

Estación	Prom.	Ago	Sep	Oct	Nov	Prom
CN	Máx.	0.18	0.18	0.11	0.18	0.16
	Mín.	-0.21	-0.21	-0.11	-0.21	-0.18
Gavión	Máx.	0.19	0.18	0.18	0.17	0.18
	Mín.	-0.24	-0.20	-0.16	-0.19	-0.19
H1a	Máx.			0.14	0.13	0.13
	Mín.			-0.13	-0.11	-0.12



**Figura 39. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a noviembre de 2019.**

Enseguida se presentan los resultados del análisis armónico de la marea, en los sitios del Canal de Navegación San Pedrito (CN-H4), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) del 1 al 23 de noviembre 2019.

Los valores indicados en el presente informe están referidos al nivel medio del mar (nmm). A los datos originales les fue sustraído el efecto de la presión atmosférica (PA), a partir de datos de PA obtenidos en la Laguna Valle de las Garzas (**LVG**) con la misma razón de muestreo que los datos de marea (cada 15 minutos).

Posteriormente los datos fueron suavizados con media móvil utilizando una ventana de 1 hora. Finalmente fue realizado el análisis armónico a cada una de las series de tiempo por cada sitio de la **LVG**. Los resultados, de amplitud y fase, se muestran en la **Tabla 17**, en donde se observó que el número de componentes armónicos principales fueron ocho. Los datos están referidos al Canal de Navegación (CN-H4), al sitio Gavión (H2) y la parte Norte de la laguna (H1a).

Tabla 17. Amplitud (cm) y fase (°) de la marea cada 15 min en noviembre, 2019.

	C. Navegación		Gavión		H1a	
	A	Fase	A	Fase	A	Fase
<b>M<sub>2</sub></b>	16.40	334.54	14.52	331.01	7.86	26.05
<b>S<sub>2</sub></b>	18.89	198.79	17.69	287.74	10.60	327.74
<b>O<sub>1</sub></b>	16.94	307.78	11.10	85.34	6.45	113.72
<b>K<sub>1</sub></b>	14.93	261.66	15.17	72.69	12.06	109.83
<b>M<sub>SF</sub></b>	1.78	155.55	1.68	124.00	2.00	12.68
<b>M<sub>4</sub></b>	0.13	144.58	0.26	295.56	0.56	12.75
<b>S<sub>4</sub></b>	0.9	172.99	0.12	257.89	0.61	219.71
<b>SK<sub>3</sub></b>	0.4	100.50	0.23	135.01	1.14	28.53

En la **Figura 40**, se muestra la amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min para noviembre 2019 en los sitios de la **LVG**.

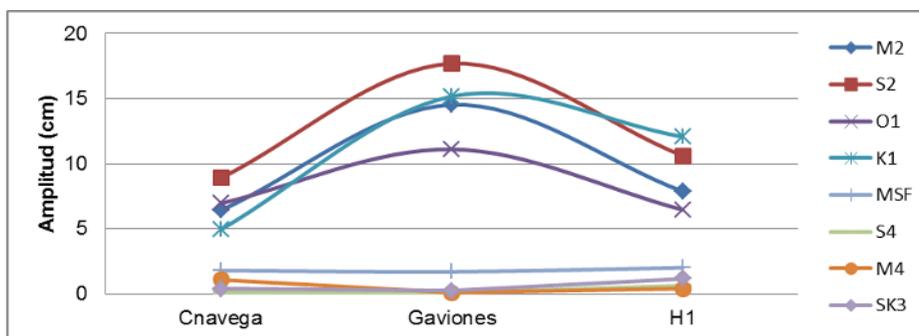
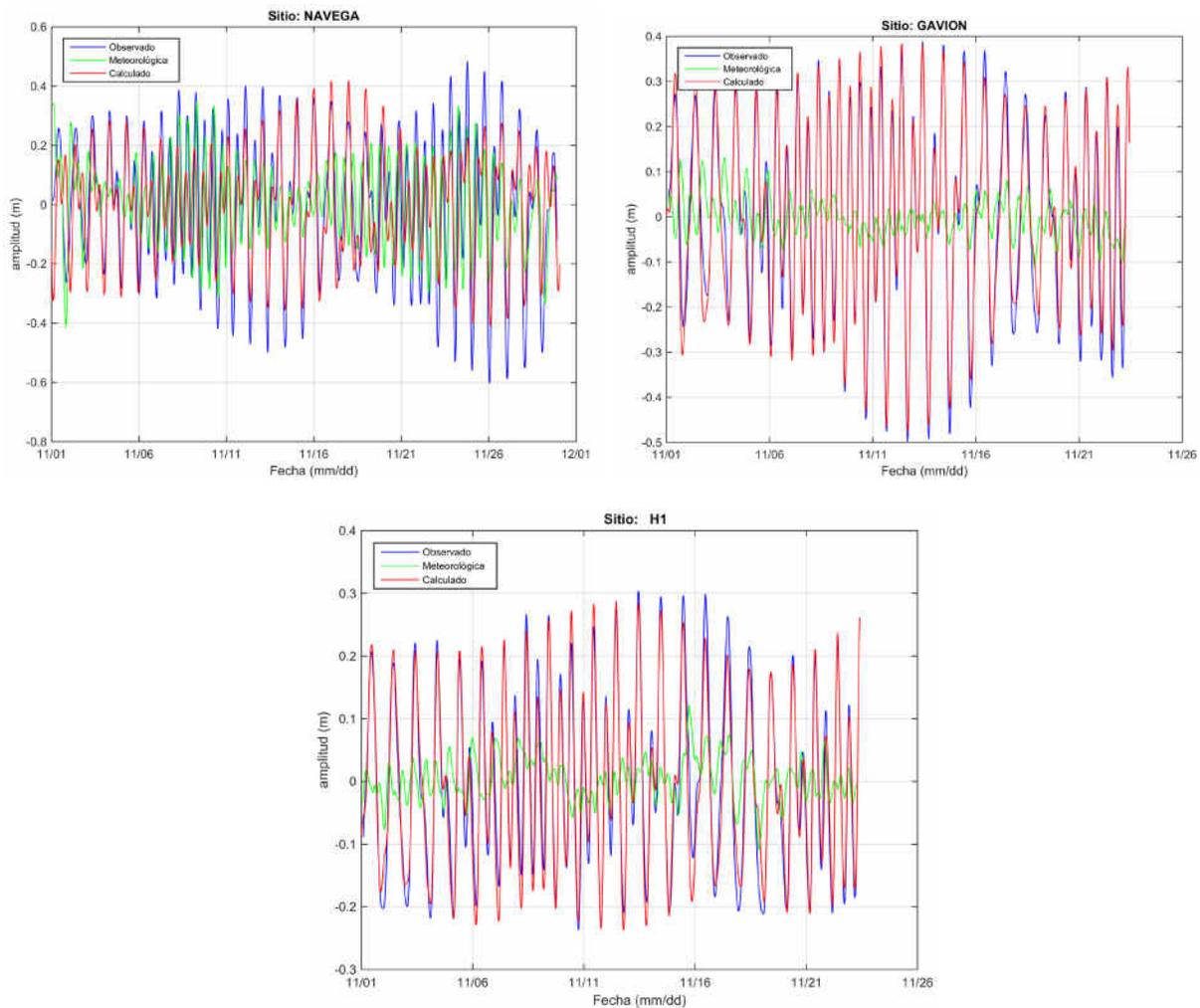


Figura 40. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min para noviembre 2019 en LVG.

En la **Figura 41** se muestran los resultados del análisis armónico realizado a los datos de marea, una vez filtrados, obtenidos en los sitios del Canal de Navegación San

Pedrito (CN-H4), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) durante noviembre 2019.



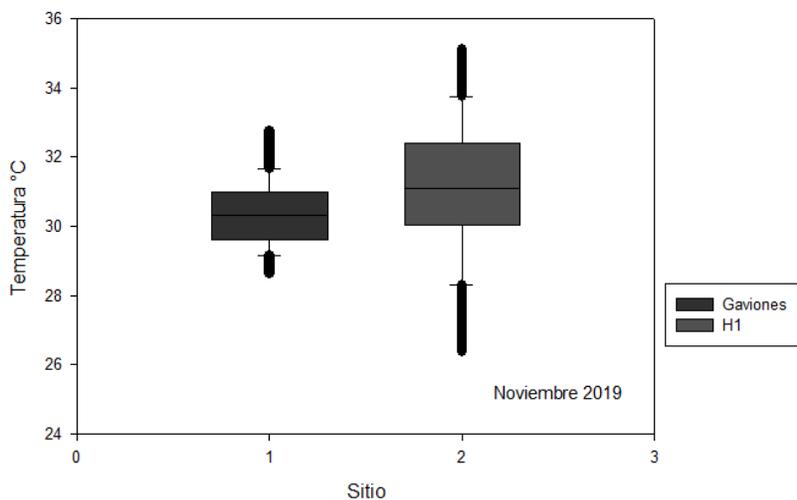
**Figura 41. Análisis armónico de la marea cada 15 min en C. Navegación, el Gavión y H1a (nov. 2019).**

Respecto al comportamiento de la temperatura del agua en noviembre 2019, se obtuvo la serie en el sitio el Gavión (H2) y el sitio referido como H1a, con la finalidad de conocer los procesos que generan la variación en dicho sistema.

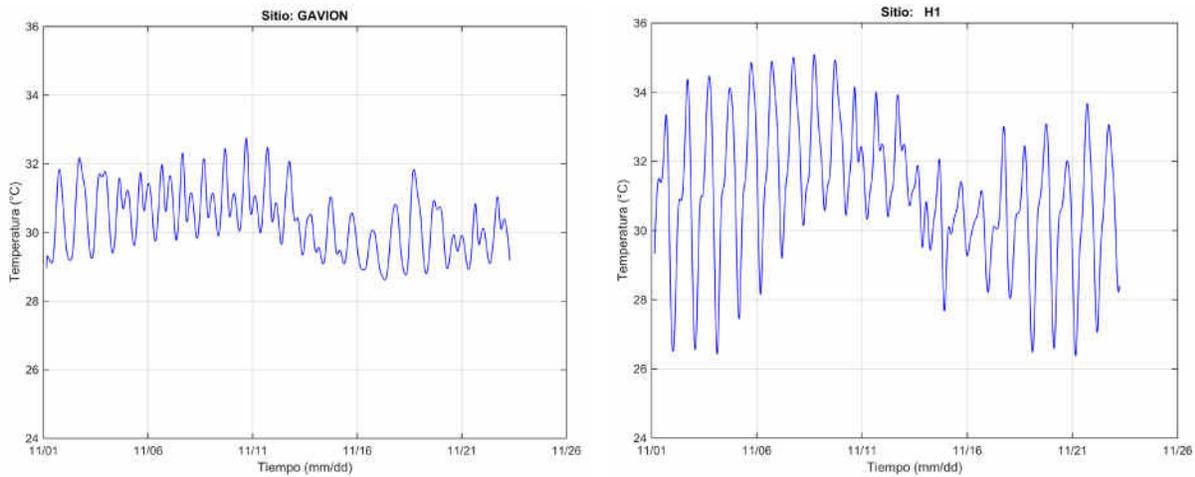
A continuación, se describe el comportamiento de la temperatura del agua en la Laguna Valle de las Garzas (LVG). En noviembre 2019 se tuvieron datos de temperatura solamente de dos sitios, el Gavión (H2) y el sitio referido como H1a. Por lo que el comportamiento de esta variable en este cuerpo de agua irá complementándose a medida que sean incorporados más sensores.

En la **Figura 42** se muestra un comparativo de la estadística del comportamiento de la temperatura del agua en los sitios de medición. La cara inferior en cada rectángulo representa el primer cuartil, la superior al tercer cuartil, la línea horizontal dentro de la caja corresponde a la moda, las líneas verticales delgadas corresponden al 5% (inferior) y 95% (superior) de los datos y las líneas verticales gruesas corresponden al máximo y al mínimo de temperatura.

En la **Figura 43**, se presenta el comportamiento de la temperatura del agua en los 6 sitios de muestreo durante el mes de noviembre 2019.



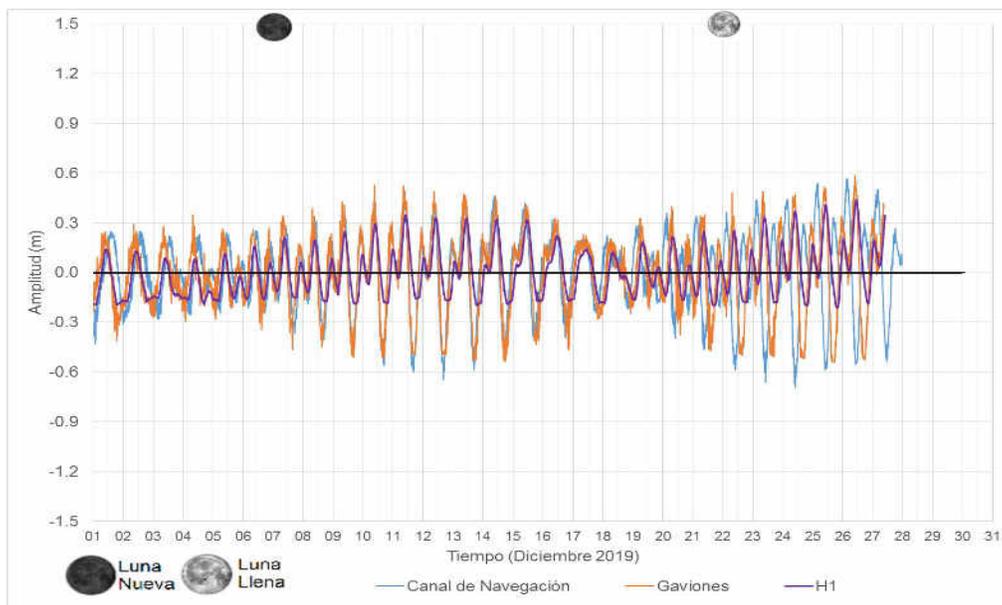
**Figura 42. Variación de la temperatura del agua en los 2 sitios de la LVG durante noviembre 2019.**



**Figura 43. Variación de la temperatura del agua en el sitio Gavión y H1a durante noviembre 2019.**

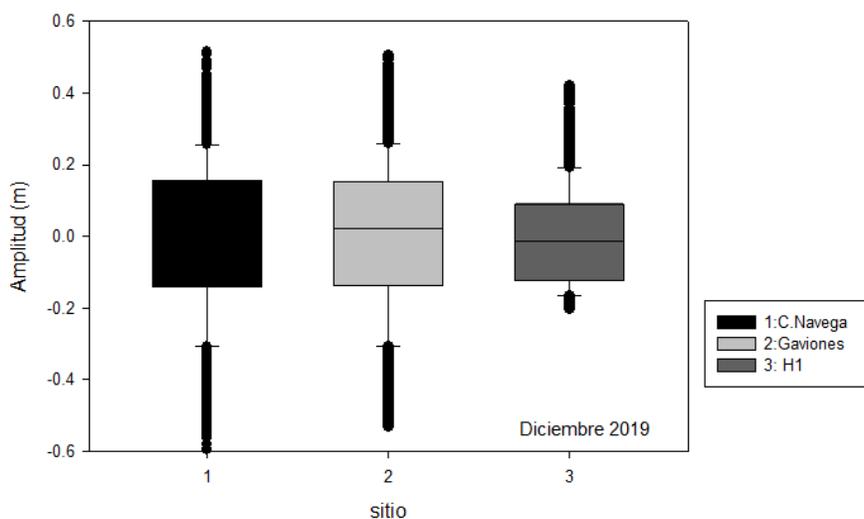
#### **IV.5 Nivel del agua, marea y temperatura del agua en diciembre 2019.**

En la **Figura 44** se presenta el comportamiento del nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN-H4), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) del 1 al 27 de diciembre 2019.



**Figura 44. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación San Pedrito (CN), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) durante diciembre de 2019.**

En la **Figura 45** se muestra estadística sobre el comportamiento del nivel de agua medido en los sitios de la Laguna del Valle de las Garzas. La cara inferior en cada rectángulo representa el primer cuartil, la superior al tercer cuartil, la línea horizontal dentro de la caja corresponde a la moda, las líneas verticales delgadas corresponden al 5% (inferior) y 95% (superior) de los datos y las líneas verticales gruesas corresponden al máximo (pleamar superior) y al mínimo (bajamar inferior).



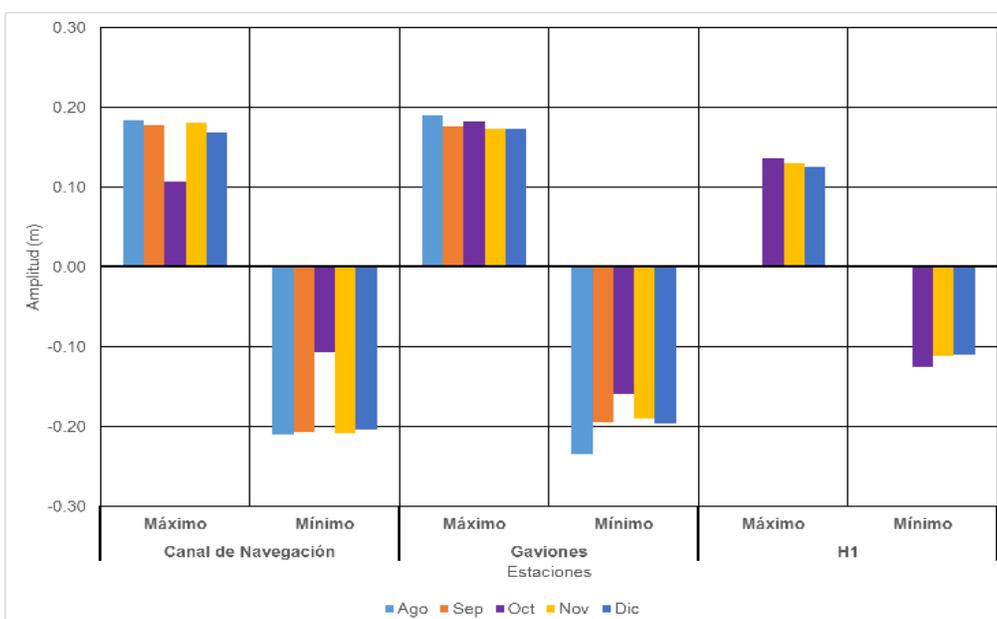
**Figura 45.** Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación San Pedrito (CN), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) durante diciembre de 2019.

En la **Tabla 18**, se muestra un comparativo de los promedios de los valores de nivel de marea máximos y mínimos diarios para cada uno de los sitios de medición, durante el período de agosto a diciembre de 2019.

En la **Figura 46**, se muestra la estadística mensual de los valores promedio diarios de niveles de agua de los máximos y mínimos (corresponden al nivel de pleamar y bajamar), en cada sitio de medición, de agosto a diciembre de 2019.

**Tabla 18. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019.**

Estación	Prom.	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
CN	Máx.	0.18	0.18	0.11	0.18	0.17	0.16
	Mín.	-0.21	-0.21	-0.11	-0.21	-0.20	-0.19
Gavión	Máx.	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.18
	Mín.	-0.24	-0.20	-0.16	-0.19	-0.20	-0.20
H1a	Máx.			0.14	0.13	0.13	0.13
	Mín.			-0.13	-0.11	-0.11	-0.12



**Figura 46. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019.**

Se presentan los resultados del análisis armónico del 1 al 27 de diciembre 2019. Los resultados, de amplitud y fase, se muestran en la **Tabla 19**. En la **Figura 47** se muestra la amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min para diciembre 2019.

Tabla 19. Amplitud (cm) y fase (°) de la marea cada 15 min en diciembre, 2019.

	C. Navegación		Gavión		H1a	
	A	Fase	A	Fase	A	Fase
<b>M<sub>2</sub></b>	16.98	218.86	14.66	331.23	6.83	19.86
<b>S<sub>2</sub></b>	12.41	289.59	13.27	293.89	7.62	328.10
<b>O<sub>1</sub></b>	11.13	65.38	11.09	90.05	4.81	125.52
<b>K<sub>1</sub></b>	10.68	54.63	19.53	84.93	13.40	124.84
<b>M<sub>SF</sub></b>	2.37	40.57	1.68	4.37	5.49	356.51
<b>M<sub>4</sub></b>	0.04	132.07	0.50	319.92	0.69	45.58
<b>S<sub>4</sub></b>	0.09	260.33	0.27	263.82	0.13	222.19
<b>SK<sub>3</sub></b>	0.46	254.06	0.12	344.86	1.53	27.58

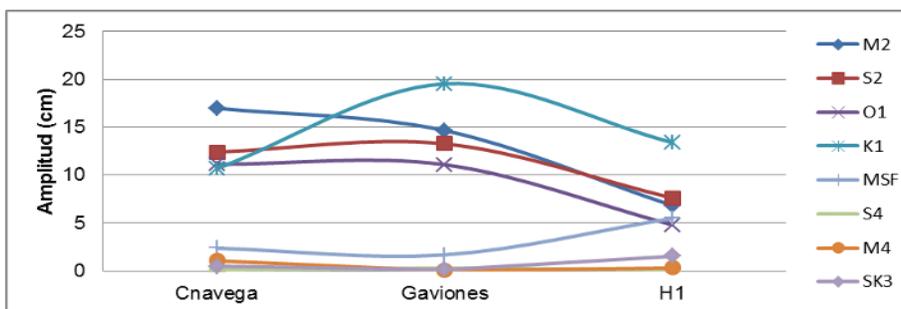
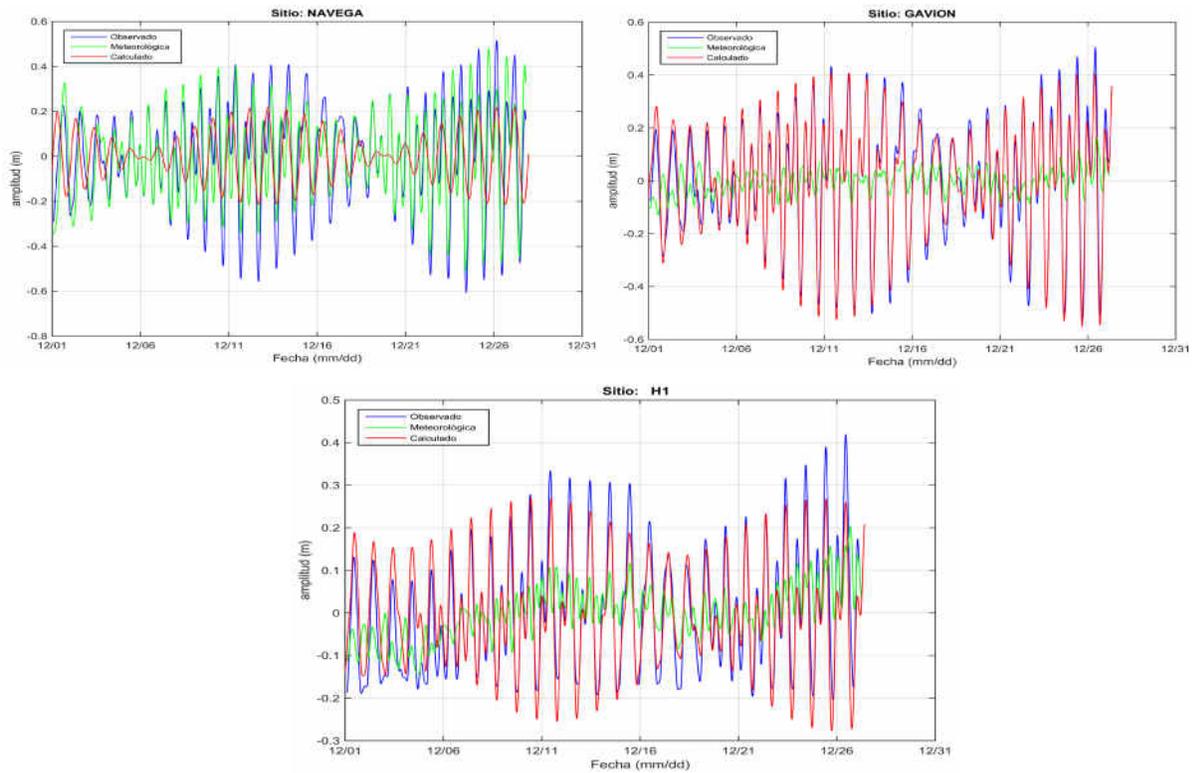


Figura 47. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min en diciembre 2019 en LVG.

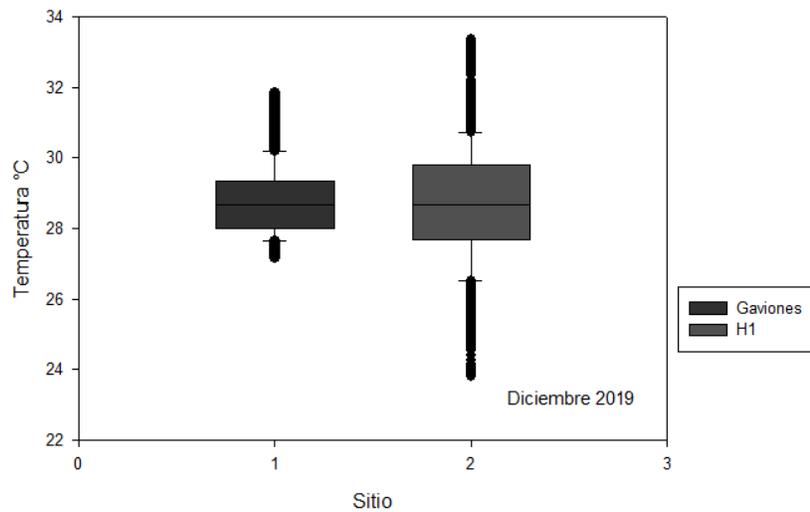
En la **Figura 48** se muestran los resultados del análisis armónico realizado a los datos de marea, una vez filtrados, obtenidos en los sitios del Canal de Navegación San Pedrito (CN-H4), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) durante diciembre 2019.



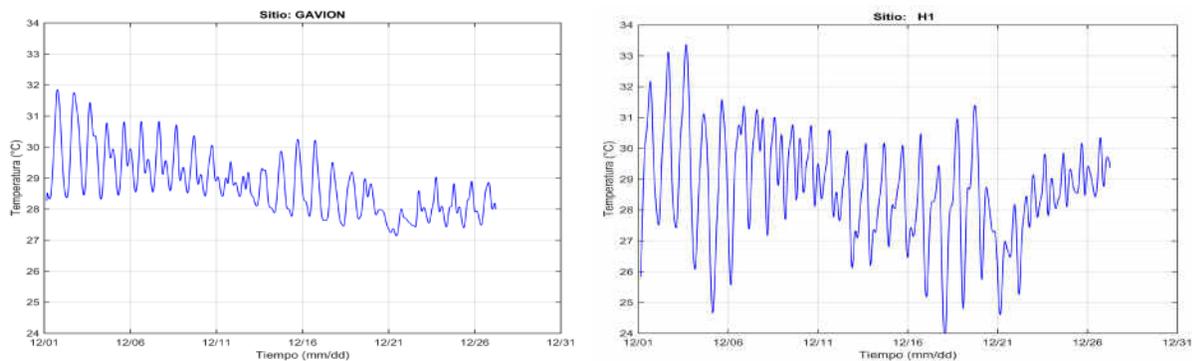
**Figura 48. Análisis armónico de la marea cada 15 min en C. Navegación, el Gavión y H1a (dic. 2019).**

En diciembre 2019 se tuvieron datos de temperatura solamente de dos sitios, el Gavión (H2) y el sitio referido como H1a. Por lo que el comportamiento de esta variable en este cuerpo de agua irá complementándose a medida que sean incorporados más sensores.

En la **Figura 49** se muestra un comparativo de la estadística del comportamiento de la temperatura del agua en los sitios de medición. En la **Figura 50**, se presenta el comportamiento de la temperatura del agua en los 2 sitios de muestreo durante el mes de diciembre 2019.



**Figura 49. Variación de la temperatura del agua en los 2 sitios de la LVG en diciembre 2019.**



**Figura 50. Variación de la temperatura del agua en el sitio Gavión y H1a en diciembre 2019.**

#### **IV.6 Nivel del agua, marea, temperatura y salinidad del agua en enero 2020.**

En la **Figura 51** se presenta el comportamiento del nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN-H4), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) y H1 del 1 al 30 de enero 2020. En la **Figura 52** se muestra estadística sobre el comportamiento del nivel de agua medido en los sitios de la Laguna del Valle de las Garzas.

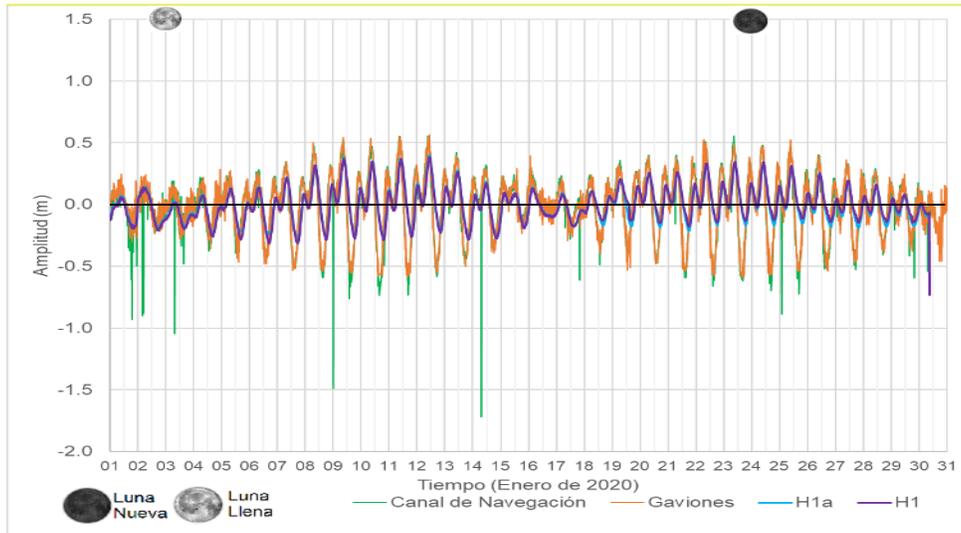


Figura 51. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante enero de 2020.

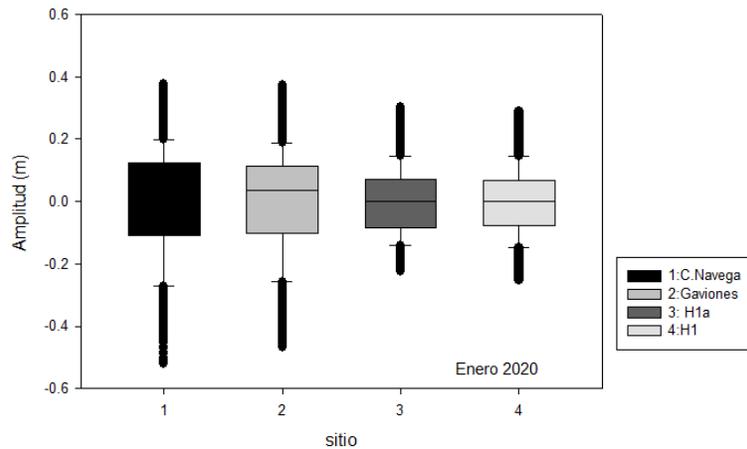


Figura 52. Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación (CN), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante enero de 2019.

En la **Tabla 20**, se muestra un comparativo de los promedios de los valores de nivel de marea máximos y mínimos diarios para cada uno de los sitios de medición, durante el período de agosto a diciembre de 2019 y enero 2020.

En la **Figura 53**, se muestra la estadística mensual de los valores promedio diarios de niveles de agua de los máximos y mínimos (corresponden al nivel de pleamar y bajamar), en cada sitio de medición, de agosto a diciembre de 2019 y enero 2020.

Tabla 20. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y enero 2020.

Estación	Promedio	ago-19	sep-19	oct-19	nov-19	dic-19	ene-20	Prom
Canal de Navegación	Máximo	0.18	0.18	0.11	0.18	0.17	0.17	0.16
	Mínimo	-0.21	-0.21	-0.11	-0.21	-0.20	-0.23	-0.19
Gavión	Máximo	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.18
	Mínimo	-0.24	-0.20	-0.16	-0.19	-0.20	-0.21	-0.20
H1	Máximo			0.14	0.13	0.13	0.11	0.13
	Mínimo			-0.13	-0.11	-0.11	-0.10	-0.11
H1a	Máximo						0.11	0.11
	Mínimo						-0.11	-0.11

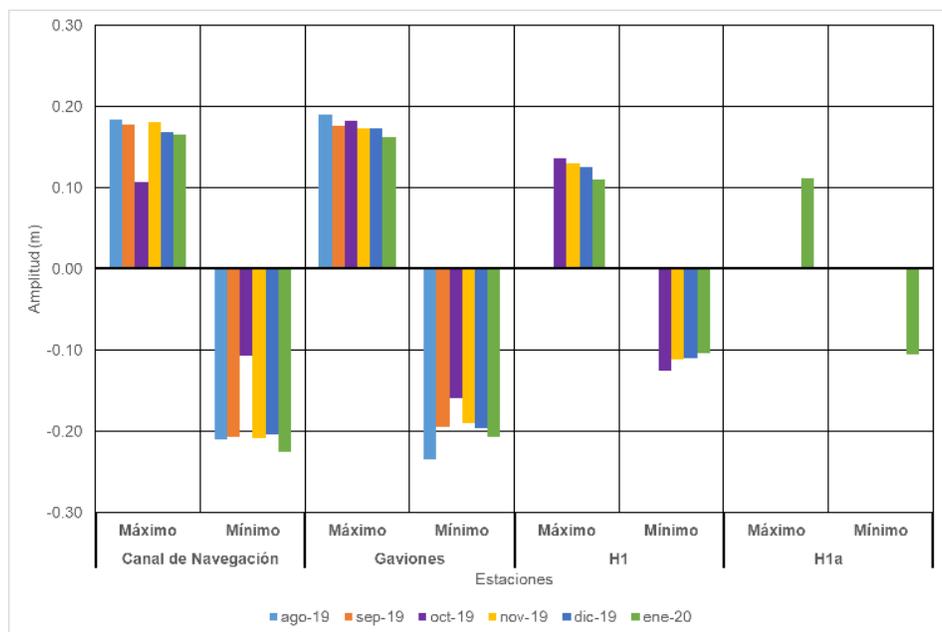


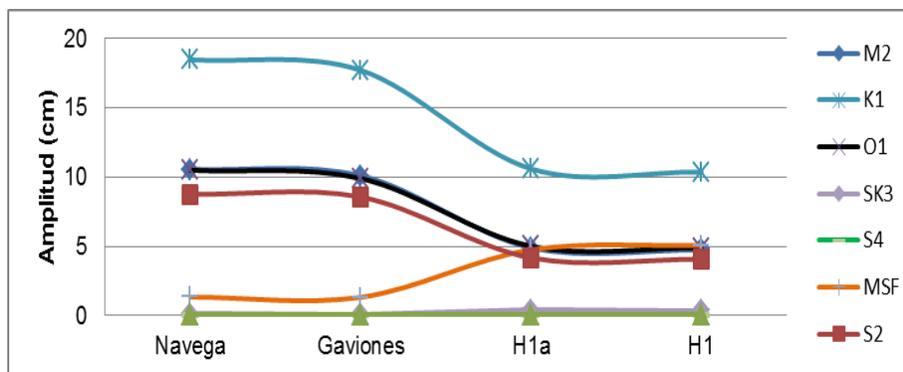
Figura 53. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y enero 2020.

Enseguida se presentan los resultados del análisis armónico de la marea, en los sitios del Canal de Navegación (CN-H4), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) del 1 al 30 de enero 2020. Los resultados, de amplitud y fase, se muestran en la **Tabla 21**, en donde se observó que el número de componentes armónicos principales fueron ocho.

**Tabla 21. Amplitud (cm) y fase (°) de la marea cada 15 min en enero, 2020.**

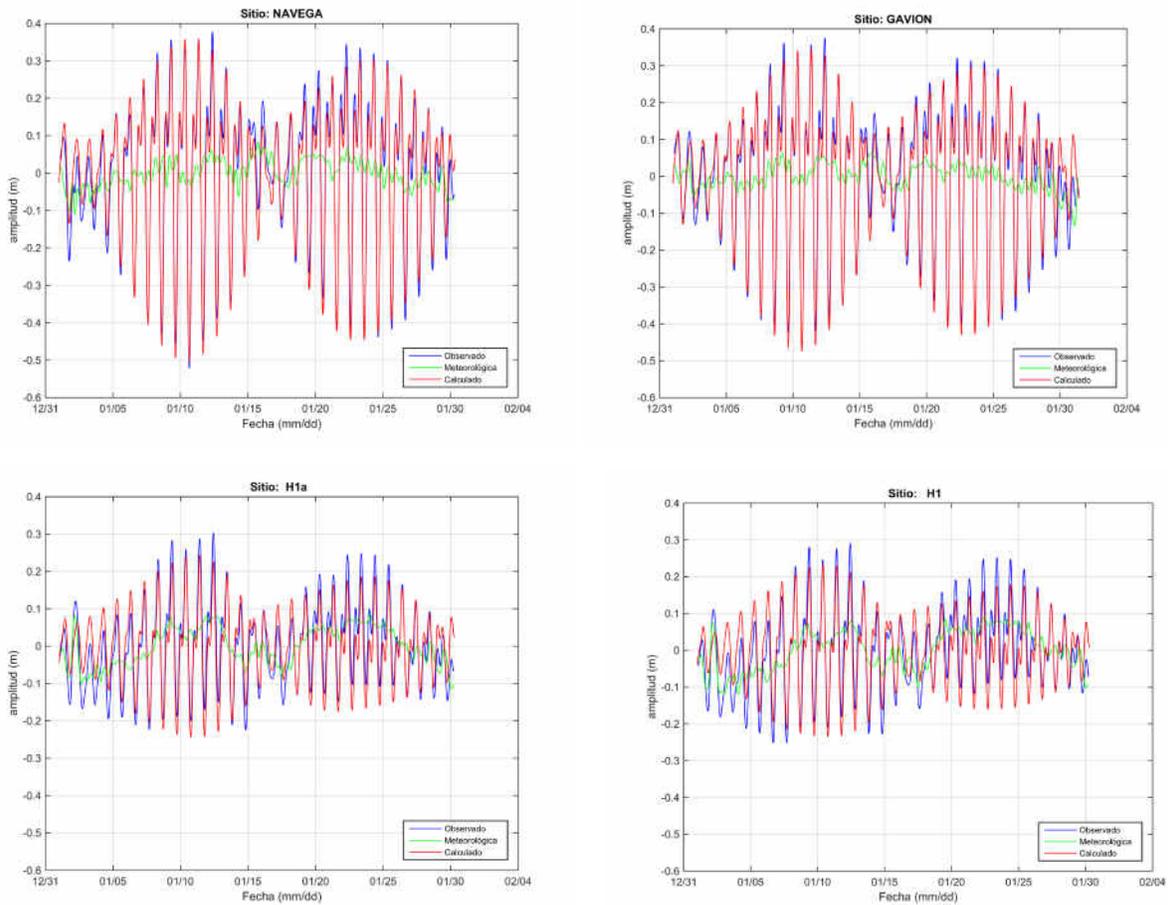
	C. Navegación		Gavión		H1a		H1	
	A	Fase	A	Fase	A	Fase	A	Fase
<b>M2</b>	10.56	300.81	10.11	302.00	4.90	345.95	4.74	347.17
<b>S2</b>	8.76	287.63	8.57	286.71	4.17	332.21	4.07	332.54
<b>O1</b>	10.50	78.38	9.91	77.92	5.01	130.79	4.90	132.56
<b>K1</b>	18.48	84.68	17.73	85.35	10.60	123.85	10.37	123.98
<b>MSF</b>	1.34	316.93	1.32	324.87	4.75	342.00	5.08	344.28
<b>M4</b>	0.04	244.27	0.07	243.76	0.04	300.70	0.05	318.75
<b>S4</b>	0.04	269.54	0.03	216.77	0.04	271.96	0.05	290.84
<b>SK3</b>	0.13	143.71	0.08	79.03	0.43	41.80	0.36	45.40

En la **Figura 54**, se muestra la amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min para enero 2020 en los sitios de la **LVG**.



**Figura 54. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min en enero 2020 en LVG.**

En la **Figura 55** se muestran los resultados del análisis armónico realizado a los datos de marea, una vez filtrados, obtenidos en los sitios del Canal de Navegación San Pedrito (CN-H4), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante enero 2020.



**Figura 55. Análisis armónico de la marea cada 15 minutos en C. Navegación, el Gavión, H1a y H1 (ene., 2020).**

Durante el mes de enero de 2020, se obtuvo la serie de la temperatura del agua en los sitios C. Navegación, Gavión y en los sitios referidos como H1a y H1, con la finalidad de conocer los procesos que generan la variación en dicho sistema.

En la **Figura 56** se muestra un comparativo de la estadística del comportamiento de la temperatura del agua en los sitios de medición. En **Figura 57**, se presenta el comportamiento de la temperatura del agua en los 4 sitios de muestreo durante el mes de enero 2020.

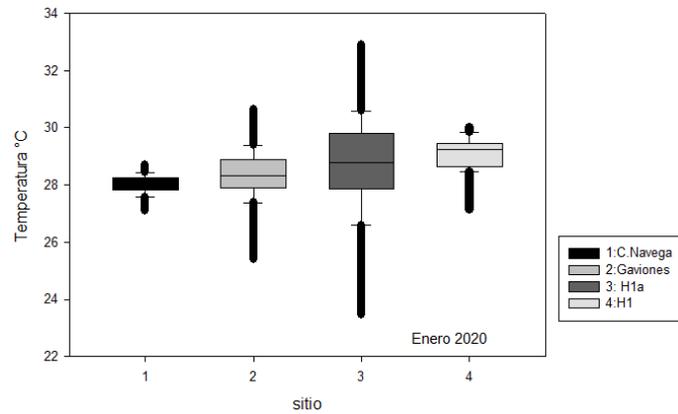


Figura 56. Variación de la temperatura del agua en los 4 sitios de la LVG en enero 2020.

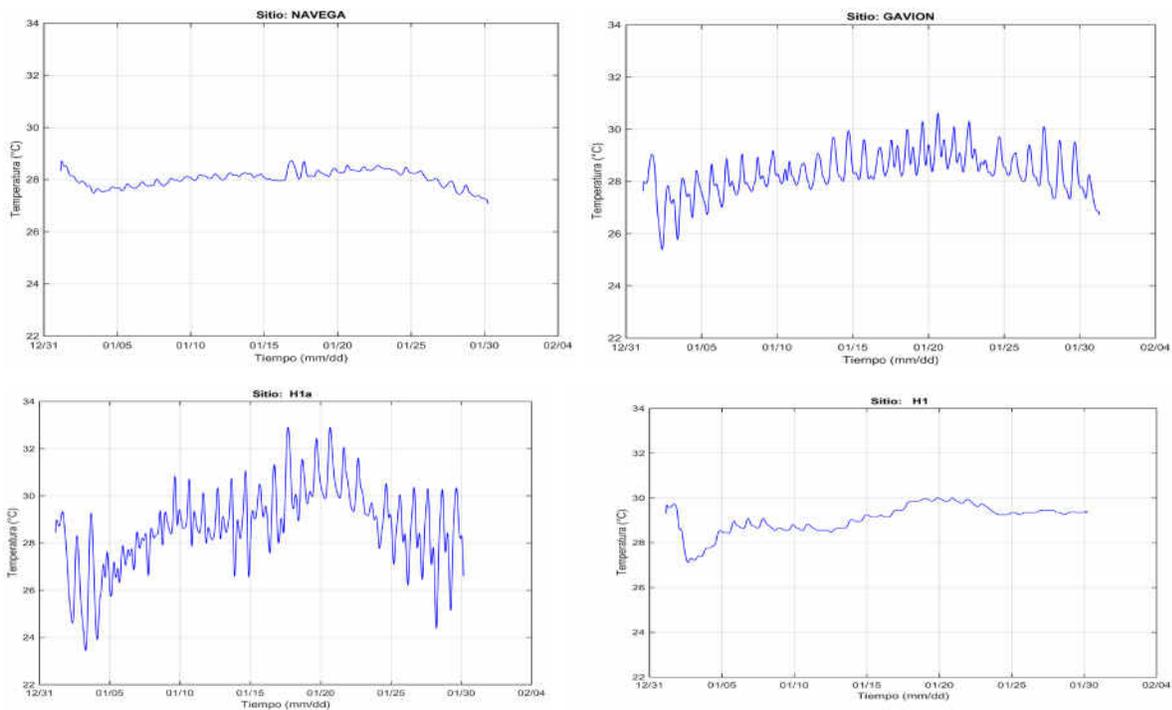
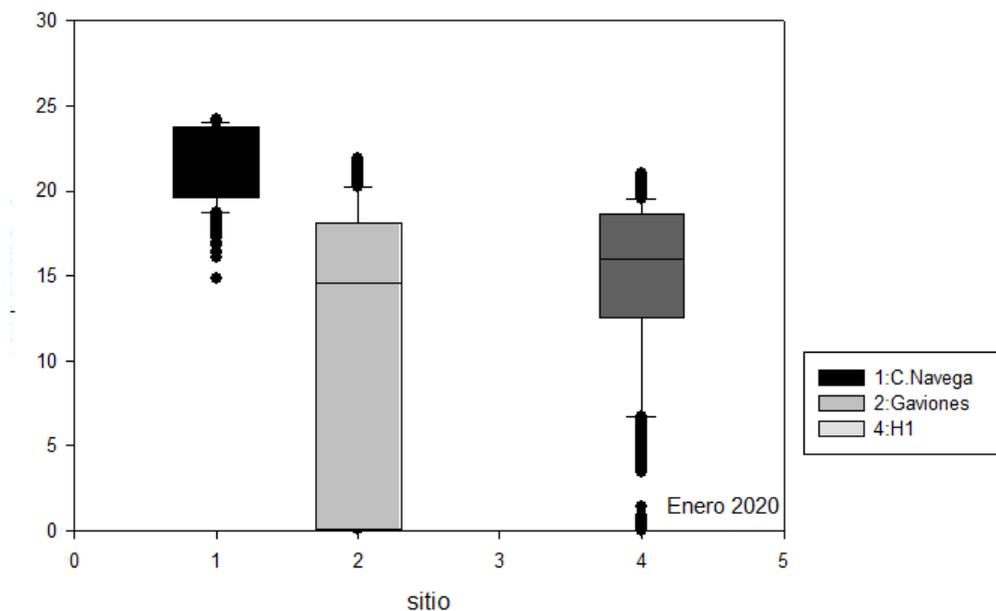


Figura 57. Variación de la temperatura del agua en el sitio Canal de Navegación, el Gavión, H1a y H1 en enero, 2020.

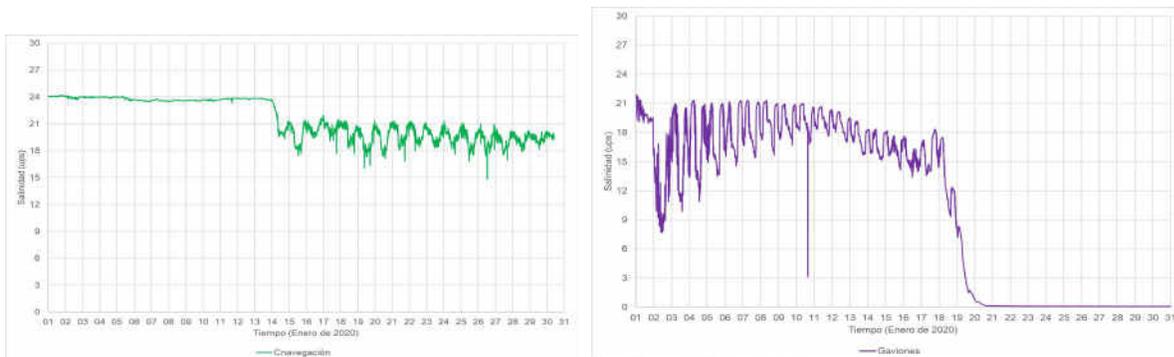
Durante el mes de enero de 2020, se obtuvo la serie de la salinidad del agua en los sitios C. Navegación, Gavión y en el sitio referido como H1, con la finalidad de conocer los procesos que generan la variación en dicho sistema. Es importante señalar que el sensor que se colocó en el sitio H1a no funcionó debido al azolve de los canales. En la **Figura 58** se muestra un comparativo de la

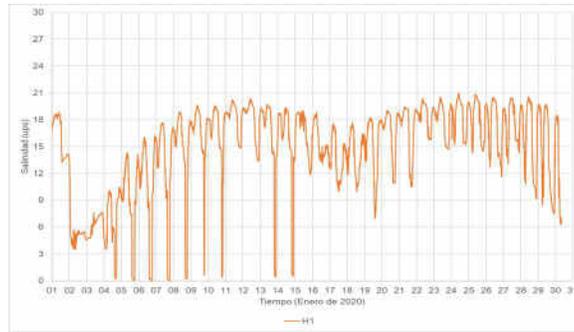
estadística del comportamiento de la salinidad del agua en los sitios de medición. La cara inferior en cada rectángulo representa el primer cuartil, la superior al tercer cuartil, la línea horizontal dentro de la caja corresponde a la moda, las líneas verticales delgadas corresponden al 5% (inferior) y 95% (superior) de los datos y las líneas verticales gruesas corresponden al máximo y al mínimo de temperatura.

En la **Figura 59**, se presenta el comportamiento de la salinidad del agua en cada uno de los 3 sitios de muestreo durante el mes de enero 2020,



**Figura 58. Variación de la salinidad del agua en sitio C. Navegación, Gavión y en H1 (c) durante enero 2020.**



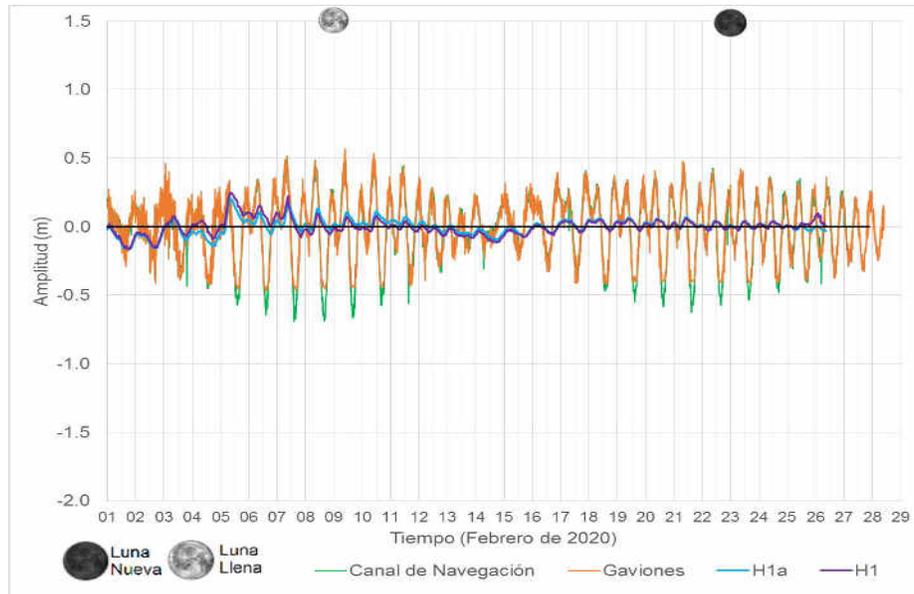


**Figura 59. Variación de la salinidad del agua en el sitio Canal de Navegación, el Gavión y H1, así como los tres sitios, en enero, 2020.**

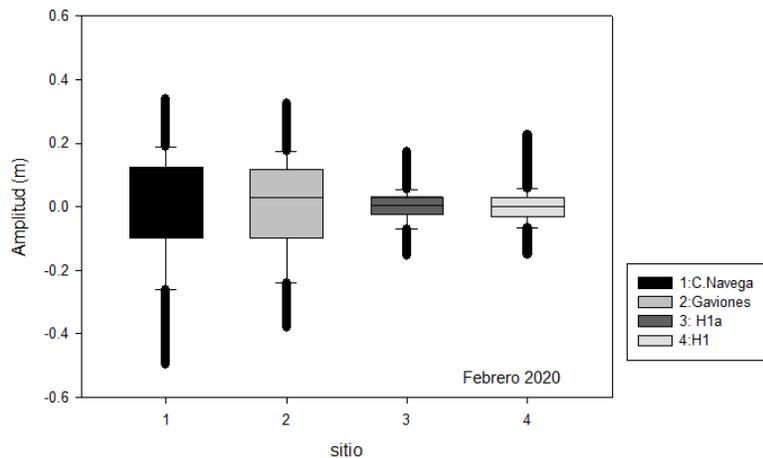
#### **IV.7 Nivel del agua, marea, temperatura y salinidad del agua en febrero 2020.**

En la **Figura 60** se presenta el comportamiento del nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN-H4), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) y H1 del 1 al 28 de febrero de 2020.

En la **Figura 61** se muestra estadística sobre el comportamiento del nivel de agua medido en los sitios de la Laguna del Valle de las Garzas. La cara inferior en cada rectángulo representa el primer cuartil, la superior al tercer cuartil, la línea horizontal dentro de la caja corresponde a la moda, las líneas verticales delgadas corresponden al 5% (inferior) y 95% (superior) de los datos y las líneas verticales gruesas corresponden al máximo (pleamar superior) y al mínimo (bajamar inferior).



**Figura 60. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN), el Gavión (H2) y la parte centro y Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante febrero de 2020.**

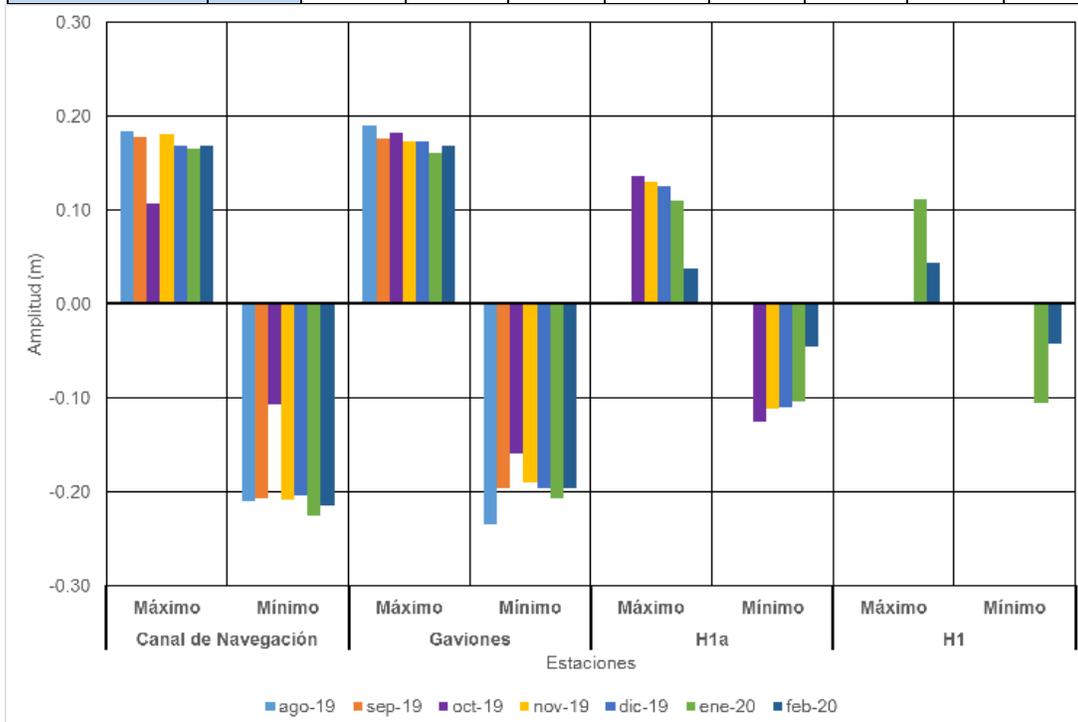


**Figura 61. Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación San Pedrito (CN), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante febrero de 2019.**

En la **Tabla 22**, se muestra un comparativo de los promedios de los valores de nivel de marea máximos y mínimos diarios para cada uno de los sitios de medición, durante el período de agosto a diciembre de 2019 y de enero a febrero 2020. En la **Figura 62**, se muestra la estadística mensual de los valores promedio diarios de niveles de agua de los máximos y mínimos (corresponden al nivel de pleamar y bajamar), en cada sitio de medición, de agosto a diciembre de 2019 y de enero-febrero 2020.

**Tabla 22. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a febrero 2020.**

Sitio	Prom.	ago-19	sep-19	oct-19	nov-19	dic-19	ene-20	feb-20	Prom
Canal Navega.	Máx.	0.18	0.18	0.11	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16
	Mín.	-0.21	-0.21	-0.11	-0.21	-0.20	-0.23	-0.21	-0.19
Gavión	Máx.	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.17	0.18
	Mín.	-0.24	-0.20	-0.16	-0.19	-0.20	-0.21	-0.20	-0.20
H1a	Máx.			0.14	0.13	0.13	0.11	0.04	0.11
	Mín.			-0.13	-0.11	-0.11	-0.10	-0.04	-0.09
H1	Máx.						0.11	0.04	0.08
	Mín.						-0.11	-0.04	-0.08



**Figura 62. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a febrero 2020.**

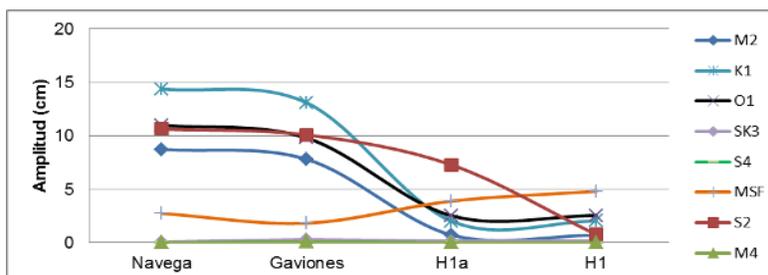
Enseguida se presentan los resultados del análisis armónico de la marea del 1 al 28 de febrero 2020. Los valores indicados en el presente informe están referidos al nivel medio del mar (nmm). A los datos originales les fue sustraído el efecto de la presión atmosférica (PA), a partir de datos de PA obtenidos en la Laguna Valle de las Garzas (**LVG**) con la misma razón de muestreo que los datos de marea (cada 15 minutos).

Los resultados, de amplitud y fase, se muestran en la **Tabla 23**, en donde se observó que el número de componentes armónicos principales fueron ocho. Los datos están referidos al Canal de Navegación (CN-H4), al sitio Gavión (H2) y la parte Norte de la laguna (H1a y H1).

**Tabla 23. Amplitud (cm) y fase (°) de la marea cada 15 min en febrero, 2020.**

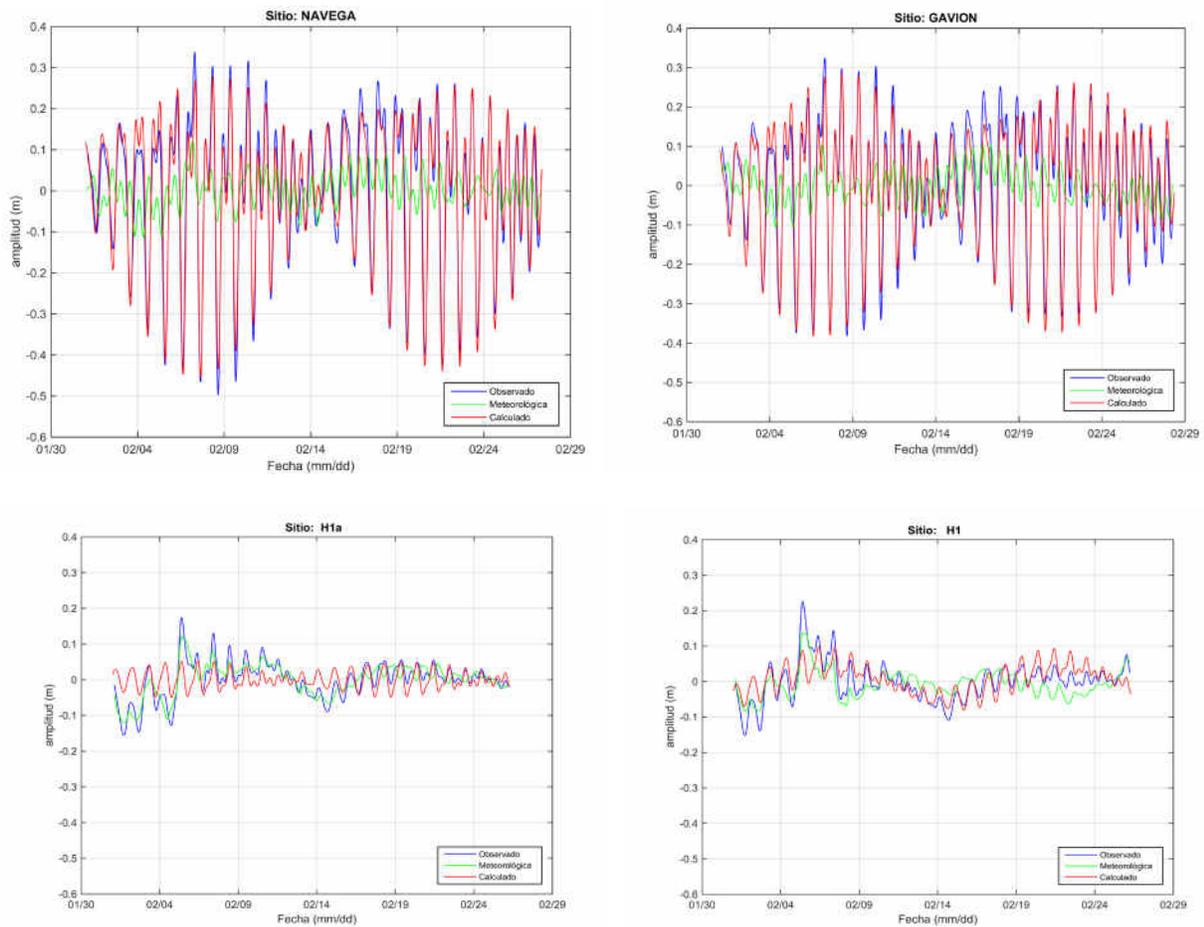
	C. Navegación		Gavión		H1a		H1	
	A	Fase	A	Fase	A	Fase	A	Fase
<b>M<sub>2</sub></b>	8.74	296.80	7.82	296.14	7.30	10.35	0.72	15.12
<b>S<sub>2</sub></b>	10.64	288.87	10.10	287.95	7.29	359.34	0.76	4.02
<b>O<sub>1</sub></b>	11.01	79.04	9.81	81.83	2.53	181.18	2.56	185.29
<b>K<sub>1</sub></b>	14.40	93.26	13.11	92.84	2.02	151.31	2.04	147.24
<b>MSF</b>	2.75	171.42	1.83	203.31	3.90	338.50	4.82	314.61
<b>M<sub>4</sub></b>	0.03	175.14	0.08	247.01	0.01	245.67	0.02	271.04
<b>S<sub>4</sub></b>	0.01	293.98	0.07	201.81	0.01	316.37	0.02	84.40
<b>SK<sub>3</sub></b>	0.06	145.08	0.27	29.63	0.13	82.39	0.14	77.43

En la **Figura 63**, se muestra la amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min para febrero 2020 en los sitios de la **LVG**.



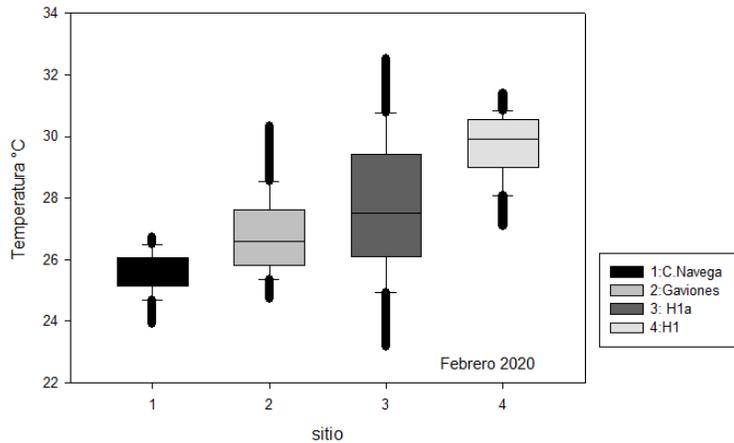
**Figura 63. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min en febrero 2020 en LVG.**

En la **Figura 64** se muestran los resultados del análisis armónico realizado a los datos de marea, una vez filtrados, obtenidos en los sitios del Canal de Navegación San Pedrito (CN-H4), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante febrero 2020.

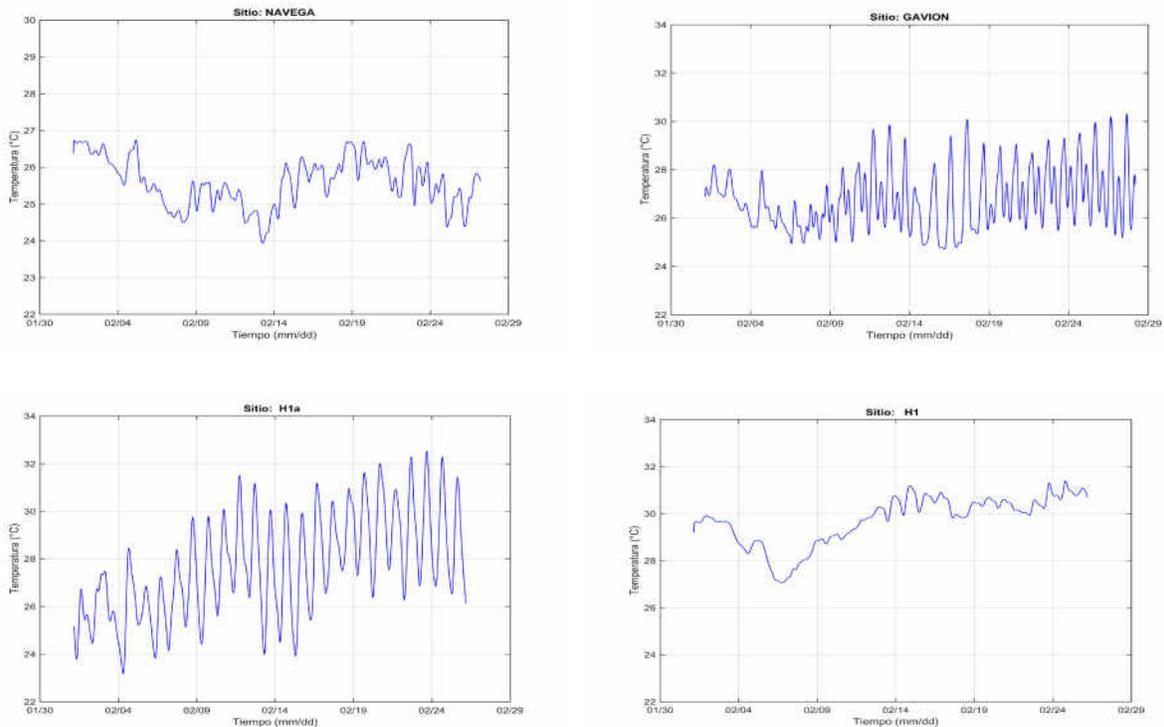


**Figura 64. Análisis armónico de la marea cada 15 minutos en C. Navegación, el Gavión, H1a y H1 (feb., 2020).**

En la **Figura 65** se muestra un comparativo de la estadística del comportamiento de la temperatura del agua en los sitios de medición. La cara inferior en cada rectángulo representa el primer cuartil, la superior al tercer cuartil, la línea horizontal dentro de la caja corresponde a la moda, las líneas verticales delgadas corresponden al 5% (inferior) y 95% (superior) de los datos y las líneas verticales gruesas corresponden al máximo y al mínimo de temperatura. En la **Figura 66**, se presenta el comportamiento de la temperatura del agua en los 4 sitios de muestreo durante el mes de febrero 2020.



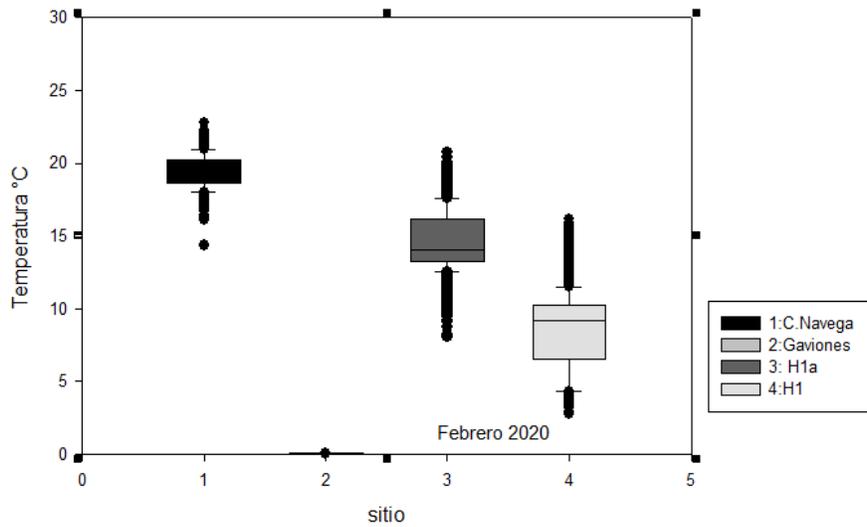
**Figura 65. Variación de la temperatura del agua en los 4 sitios de la LVG en febrero 2020.**



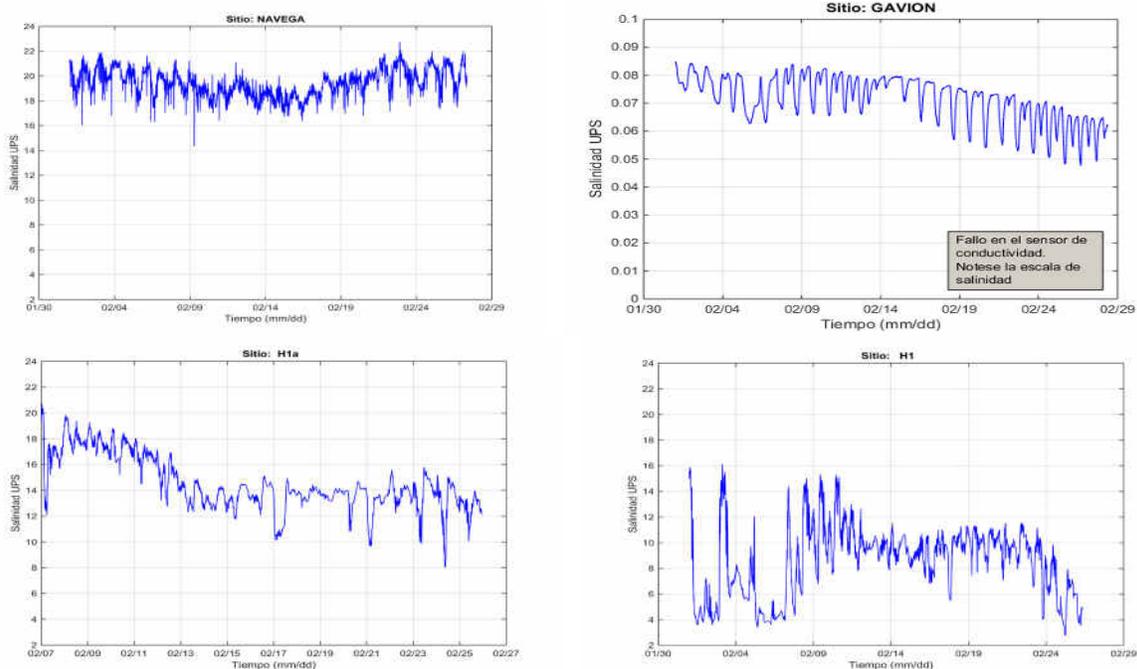
**Figura 66. Variación de la temperatura del agua en el sitio Canal de Navegación, el Gavión, H1a y H1 en febrero, 2020.**

Durante el mes de febrero de 2020, se obtuvo la serie de la salinidad del agua en los sitios C. Navegación, Gavión y en el sitio referido como H1a y H1, es importante señalar que el sensor de conductividad que se colocó en el sitio Gavión no funcionó adecuadamente tuvo defecto de fábrica. Por lo que en febrero no se hace una descripción del comportamiento de la salinidad en este sitio.

En la **Figura 67** se muestra un comparativo de la estadística del comportamiento de la temperatura del agua en los sitios de medición. En la **Figura 68**, se presenta el comportamiento de la salinidad del agua en cada uno de los 3 sitios de muestreo.



**Figura 67. Variación de la salinidad en los sitios C. Navegación, Gavión, H1a y H1 durante febrero 2020.**

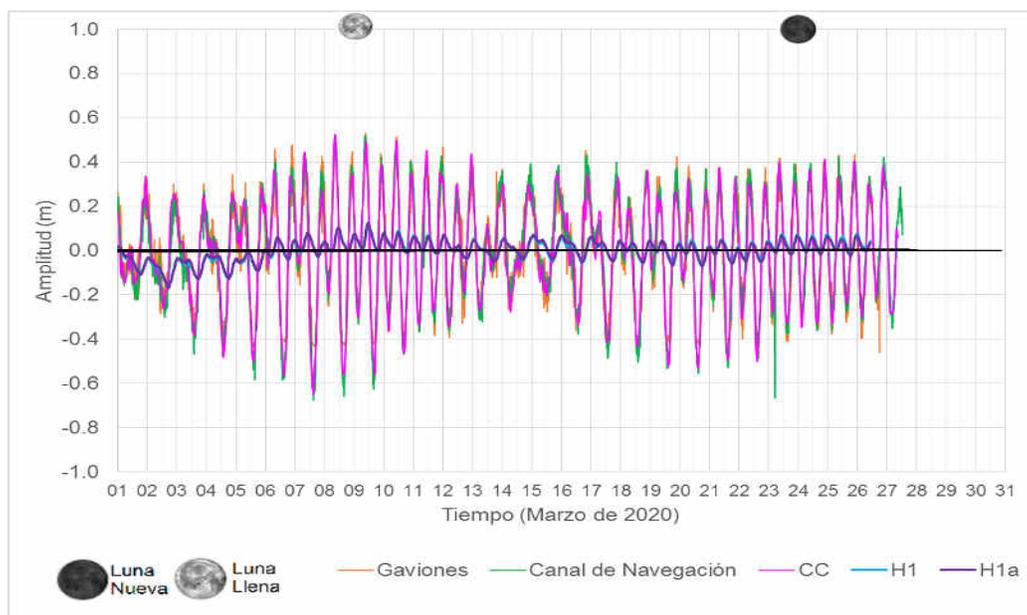


**Figura 68. Variación de la salinidad del agua en el sitio Canal de Navegación, el Gavión, H1a y H1 en febrero, 2020.**

#### IV.8 Nivel del agua, marea, temperatura, salinidad y velocidad de la corriente en marzo 2020.

En la **Figura 69** se presenta el comportamiento del nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN-H4), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) y H1 entre el 1 y 27 de marzo de 2020. Además, se presenta el nivel del agua que midió el ADP1 entre el 1 y 27 de marzo.

En la **Figura 70** se muestra la estadística sobre el comportamiento del nivel de agua medido en los sitios de la Laguna del Valle de las Garzas. En la **Tabla 24**, se muestra un comparativo de los promedios de los valores de nivel de marea máximos y mínimos diarios para cada uno de los sitios de medición, durante el período de agosto a diciembre de 2019 y de enero a marzo 2020. En la **Figura 71**, se muestra la estadística mensual de los valores promedio diarios de niveles de agua de los máximos y mínimos (corresponden al nivel de pleamar y bajamar), en cada sitio de medición, de agosto a diciembre de 2019 y de enero-marzo 2020.



**Figura 69. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN), el Gavión (H2) y la parte centro y Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1), así como Canal de comunicación laguna-puerto interior (CC) durante marzo de 2020.**

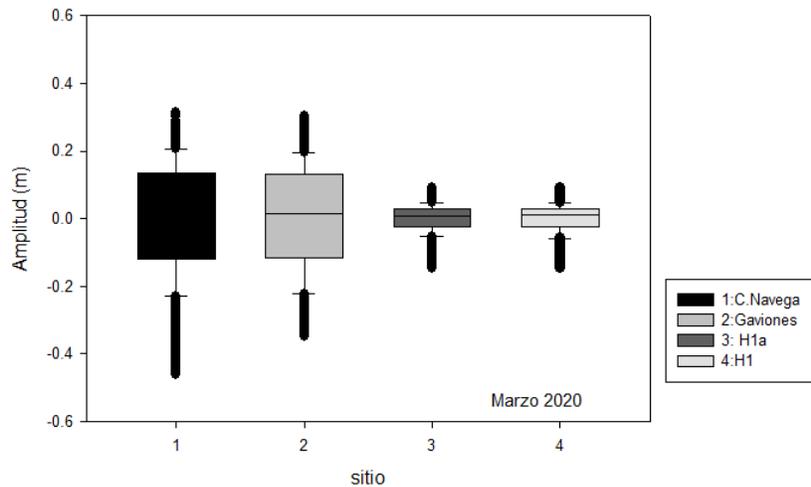
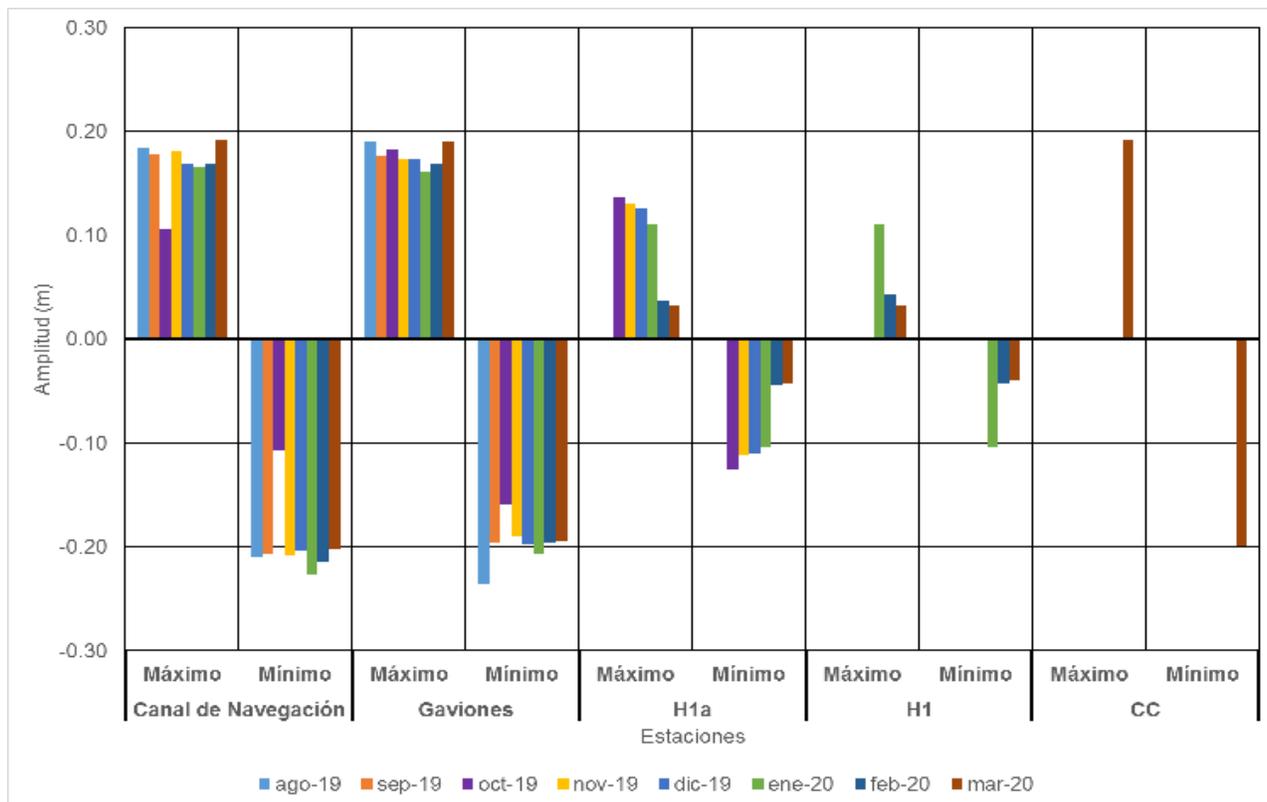


Figura 70. Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación San Pedrito (CN), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante marzo de 2020.

Tabla 24. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a marzo 2020.

Sitio		Ago 2019	Sep 2019	Oct 2019	Nov 2019	Dic 2019	Ene 2020	Feb 2020	mar 2020	Prom.
Canal Nav.	Máx.	0.18	0.18	0.11	0.18	0.17	0.17	0.17	0.20	0.17
	Mín.	-0.21	-0.21	-0.11	-0.21	-0.20	-0.23	-0.21	-0.20	-0.20
Gavión	Máx.	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.17	0.19	0.18
	Mín.	-0.24	-0.20	-0.16	-0.19	-0.20	-0.21	-0.20	-0.19	-0.20
H1a	Máx.			0.14	0.13	0.13	0.11	0.04	0.03	0.09
	Mín.			-0.13	-0.11	-0.11	-0.10	-0.04	-0.04	-0.09
H1	Máx.						0.11	0.04	0.03	0.06
	Mín.						-0.11	-0.04	-0.04	-0.06
CC	Máx.								0.193	0.19
	Mín.								-0.20	-0.20



**Figura 71. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a marzo 2020.**

Enseguida se presentan los resultados del análisis armónico de la marea en la Laguna Valle de las Garzas (**LVG**), en los sitios del Canal de Navegación (CN-H4), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) entre el 1 y el 27 de marzo 2020. Los valores indicados en el presente informe están referidos al nivel medio del mar (nmm).

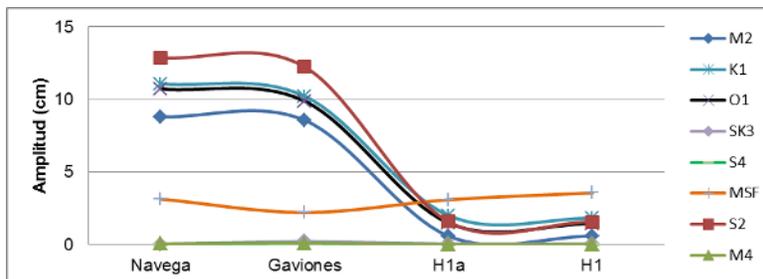
Los resultados, de amplitud y fase, se muestran en la **Tabla 25**, en donde se observó que el número de componentes armónicos principales fueron ocho. Los datos están referidos al Canal de Navegación (CN-H4), al sitio Gavión (H2) y la parte Norte de la laguna (H1a y H1).

**Tabla 25. Amplitud (cm) y fase (grados) de la marea cada 15 min en marzo, 2020.**

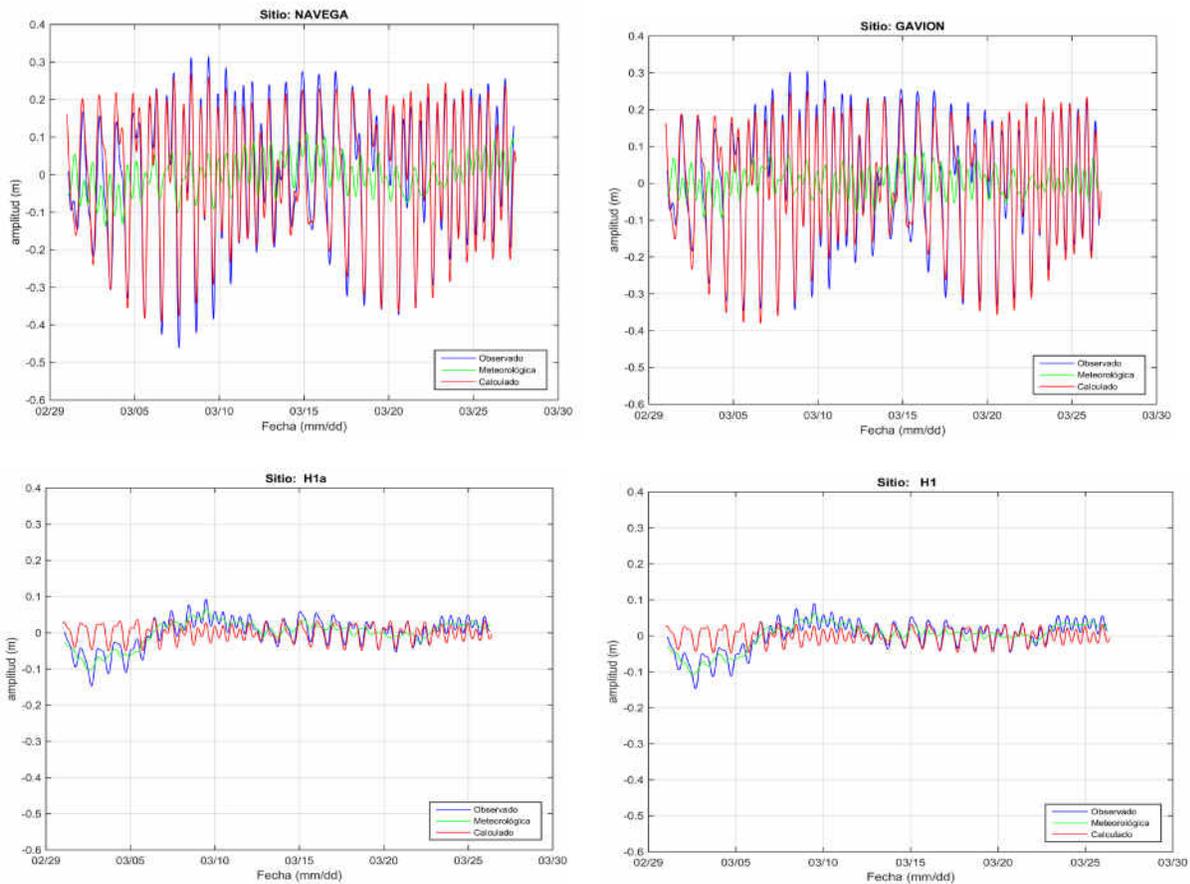
	C. Navegación		Gavión		H1a		H1	
	A	Fase	A	Fase	A	Fase	A	Fase
<b>M<sub>2</sub></b>	8.80	297.24	8.58	297.07	0.60	16.80	0.60	17.02
<b>S<sub>2</sub></b>	12.87	282.97	12.26	284.08	1.59	350.20	1.54	351.45
<b>O<sub>1</sub></b>	10.73	78.80	9.90	81.59	1.50	160.18	1.44	161.33
<b>K<sub>1</sub></b>	11.09	85.58	10.24	84.07	2.02	145.84	1.82	146.14
<b>MSF</b>	3.15	80.77	2.22	78.65	3.10	30.78	3.57	26.45
<b>M<sub>4</sub></b>	0.06	269.20	0.09	295.24	0.02	269.34	0.02	272.81
<b>S<sub>4</sub></b>	0.03	241.34	0.09	177.59	0.02	298.82	0.02	307.83
<b>SK<sub>3</sub></b>	0.05	215.47	0.25	12.30	0.07	71.94	0.07	78.92

En la **Figura 72**, se muestra la amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas, en los sitios de la **LVG**, cada 15 min para marzo 2020.

En la **Figura 73** se muestran los resultados del análisis armónico realizado a los datos de marea, una vez filtrados, obtenidos en los sitios del Canal de Navegación (CN-H4), el Gavión (H2) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante marzo 2020.

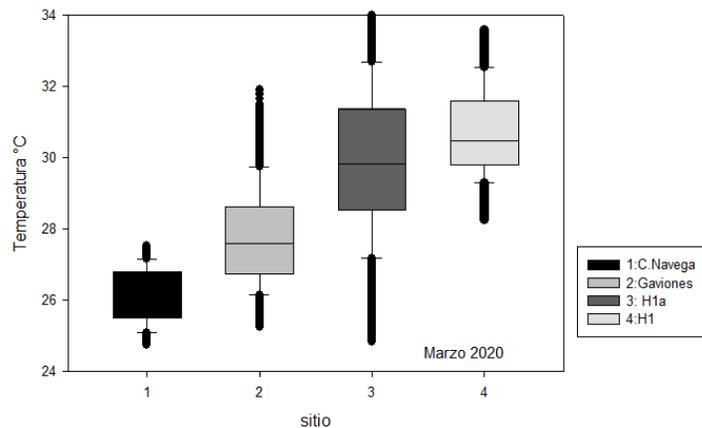


**Figura 72. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min en marzo 2020 en LVG.**

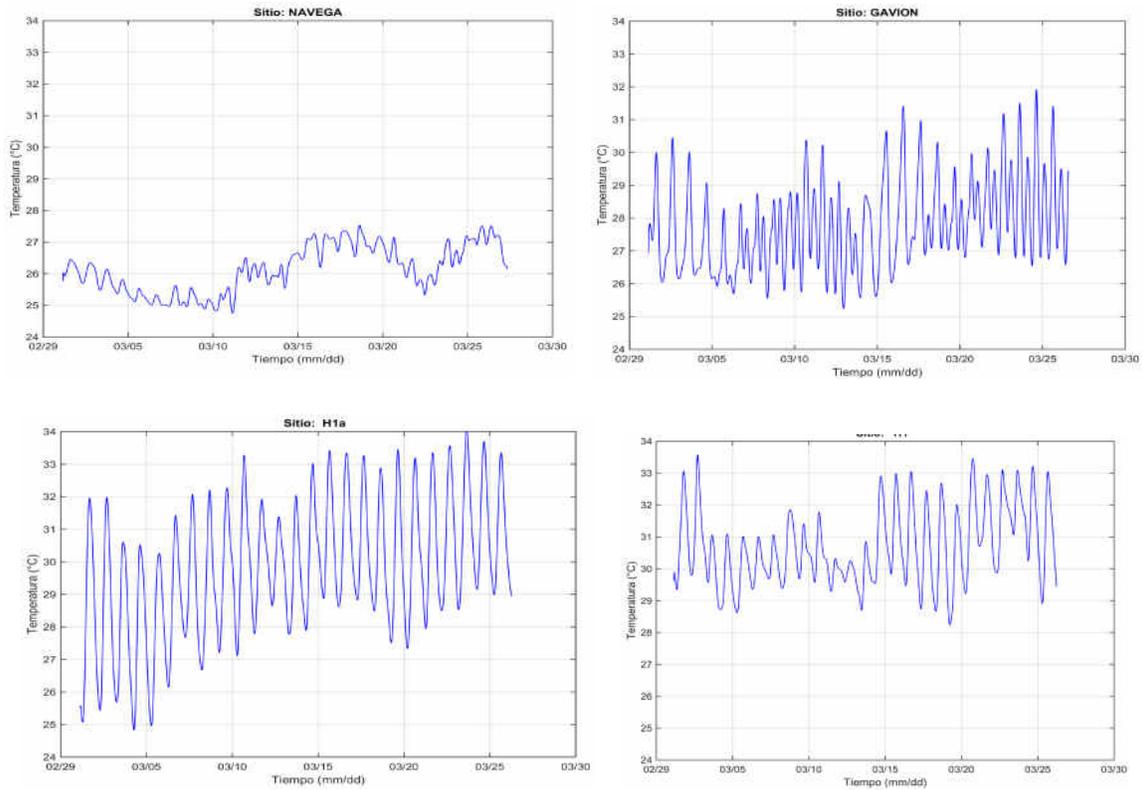


**Figura 73. Análisis armónico de la marea cada 15 minutos en C. Navegación, el Gavión, H1a y H1 (mar., 2020).**

En la **Figura 74** se muestra un comparativo de la estadística del comportamiento de la temperatura del agua en los sitios de medición. En la **Figura 75**, se presenta el comportamiento de la temperatura del agua en los 4 sitios de muestreo en marzo 2020.

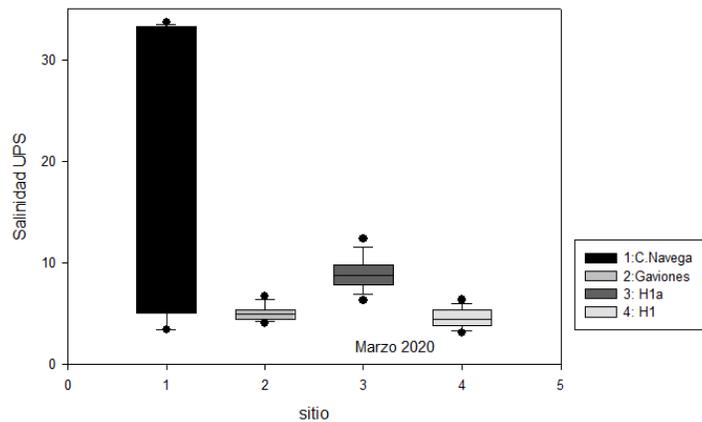


**Figura 74. Variación de la temperatura del agua en los 4 sitios de la LVG en marzo. 2020.**

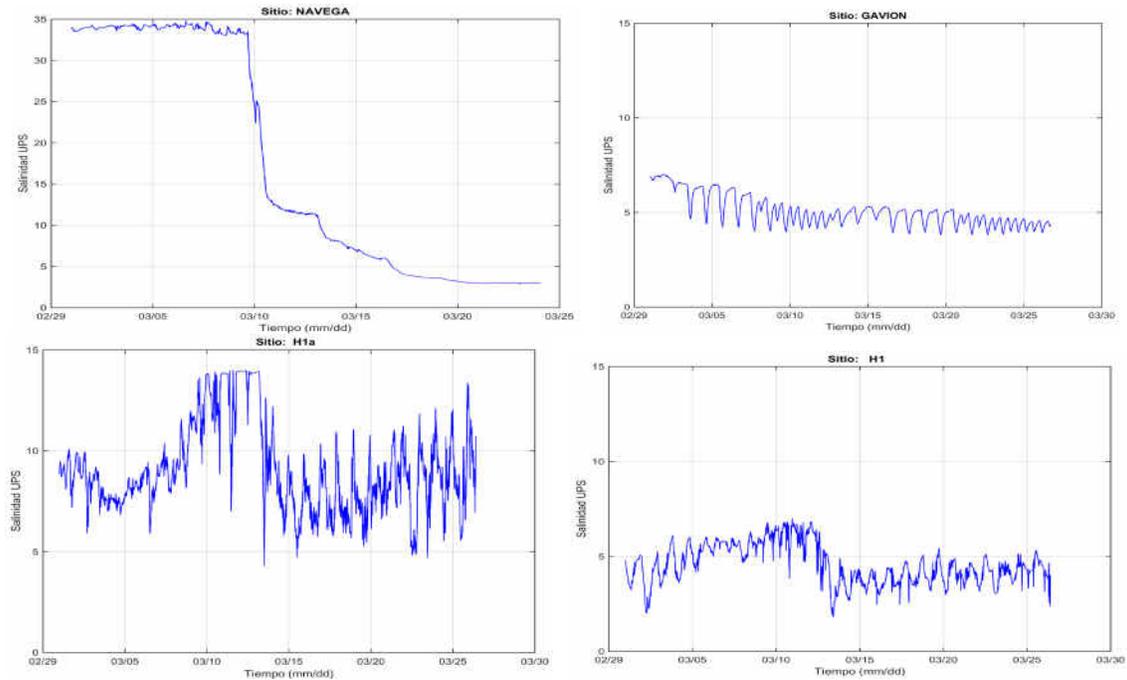


**Figura 75. Variación de la temperatura del agua en el Canal de Navegación, el Gavión, H1a y H1 en marzo, 2020.**

En la **Figura 76** se muestra un comparativo de la salinidad del agua en los sitios de medición. En la **Figura 77**, se presenta el comportamiento de la salinidad del agua en los sitios Canal de Navegación (CN), Gavión, H1a y H1 del mes de marzo de 2020.



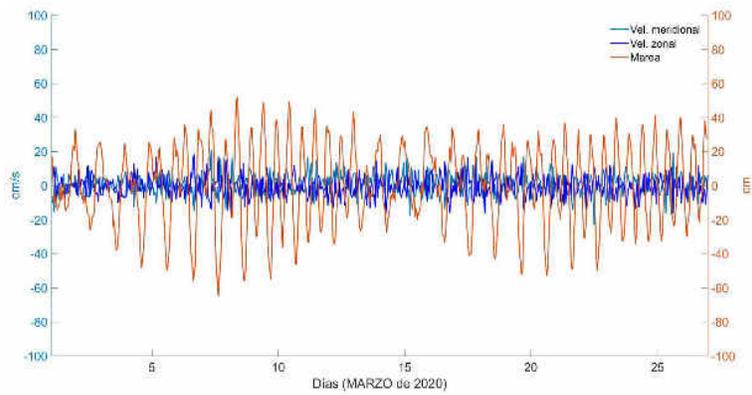
**Figura 76. Variación de la salinidad en los sitios C. Navegación, Gavión, H1a y H1 durante marzo, 2020.**



**Figura 77. Variación de la salinidad del agua en el sitio Canal de Navegación en marzo, 2020.**

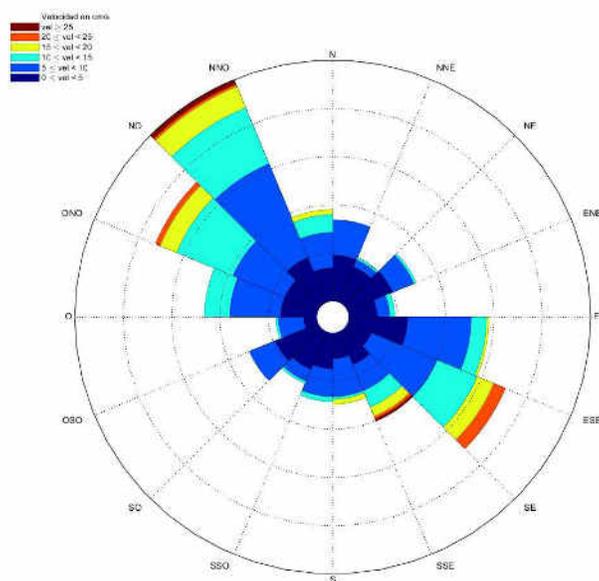
Enseguida se presentan los resultados del comportamiento de la velocidad de la corriente en la sección del canal que une la laguna del Valle de las Garzas y el Puerto Interior de Manzanillo.

En la **Figura 78**, se presenta la serie de tiempo de la velocidad y dirección de la corriente, así como, la elevación de la superficie libre referenciada al nmm debida a la marea y la intensidad de la corriente en su componente zonal y meridional, correspondiente al periodo comprendido entre el 1 y 27 de marzo de 2020.



**Figura 78. Serie de tiempo del mes de marzo 2020 (ADP 1). Se muestra la elevación de la superficie libre referenciada al nmm debida a la marea y la variación de la velocidad en la componente zonal (Este-Oeste) y meridional (Norte-Sur). Convención: Norte y Este con signo positivo.**

En la **Figura 79**, se presenta la rosa de corrientes del mes de marzo de 2020, en el sitio del Canal de Comunicación (CC) entre la laguna y el puerto interior. En la **Tabla 26** se presenta la estadística básica de la corriente en el sitio Canal de Comunicación (CC), durante marzo de 2020.



**Figura 79. Rosa de corrientes. Se muestra intensidad y dirección de las corrientes medidas en el Canal de Comunicación (CC) durante el mes de marzo 2020.**

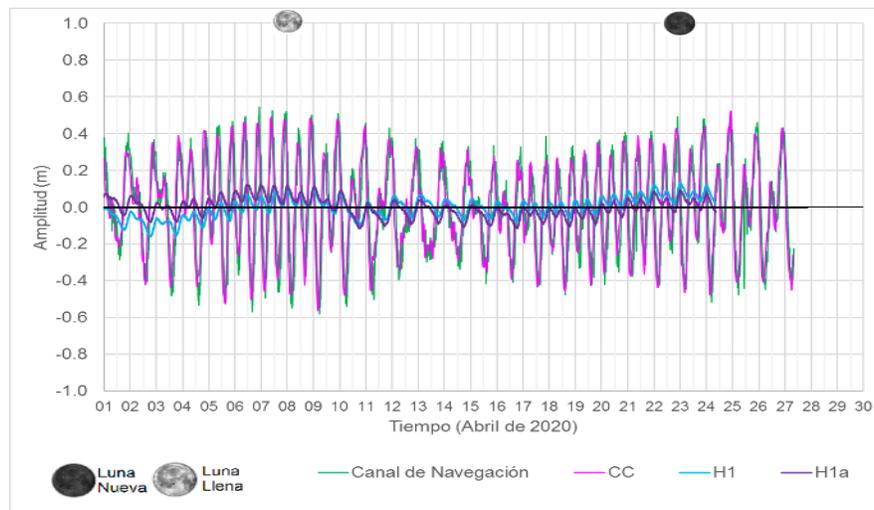
**Tabla 26. Frecuencias cruzadas de la velocidad (cm/s) y dirección (grados) de la corriente en el sitio Canal de Comunicación (CC) en marzo, 2020.**

Sector	(0,5)	[5,10)	[10,15)	[15,20)	[20,25)	[25,30)	TOTAL
[0,22.5)	18	14					32
[22.5,45)	15	3	1				19
[45,67.5)	19	9	1				29
[67.5,90)	11	5	2				18
[90,112.5)	23	25	6	1			55
[112.5,135)	10	28	17	7	5		67
[135,157.5)	14	11	7	4	1	1	38
[157.5,180)	10	15	1	2			28
[180,202.5)	14	11	2				27
[202.5,225)	16	5	1				22
[225,247.5)	18	11					29
[247.5,270)	5	10	1				16
[270,292.5)	14	20	10				44
[292.5,315)	14	22	24	7	2		69
[315,337.5)	19	40	24	9	1	2	95
[337.5,360)	13	14	7	2			36
<b>Total obs.</b>	<b>233</b>	<b>243</b>	<b>104</b>	<b>32</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>624</b>
<b>%</b>	<b>37.34</b>	<b>38.94</b>	<b>16.67</b>	<b>5.13</b>	<b>1.44</b>	<b>0.48</b>	<b>100</b>

Sectores	%	MAX	MIN	MODA	PROM.	DESV. EST.
[0,22.5)	5.13	9.65	1.04	1.04	4.87	2.31
[22.5,45)	3.04	10.34	0.78	0.78	3.68	2.17
[45,67.5)	4.65	10.51	0.42	0.42	4.69	2.68
[67.5,90)	2.88	13.44	0.71	0.71	4.99	3.6
[90,112.5)	8.81	15.8	0.4	0.4	6.03	3.39
[112.5,135)	10.74	23.58	1.14	11.28	10.21	5.12
[135,157.5)	6.09	25.45	1.12	1.12	8.41	6.06
[157.5,180)	4.49	17.98	1.77	1.77	6.58	3.7
[180,202.5)	4.33	11.44	1	3.35	5.1	2.95
[202.5,225)	3.53	12.02	0.67	0.67	4.33	2.88
[225,247.5)	4.65	8.73	0.58	4.68	4.66	2.01
[247.5,270)	2.56	12.4	0.85	0.85	5.92	2.67
[270,292.5)	7.05	13.96	0.9	0.9	6.84	3.73
[292.5,315)	11.06	24.06	1.66	3.18	9.86	4.86
[315,337.5)	15.22	25.65	0.72	2.46	9.12	5.17
[337.5,360)	5.77	18.35	1.22	1.22	7.26	4.31

#### IV.9 Nivel del agua, marea, temperatura, salinidad y velocidad de la corriente en abril 2020.

En la **Figura 80** se presenta el comportamiento del nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN-H4), el Canal de Comunicación (CC) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a) y H1 entre el 1 y 27 de abril de 2020. Además, se presenta el nivel del agua que midió el ADP1 (CC) entre el 1 y 27 de abril. Es importante señalar que los Hobos de nivel de agua y salinidad que se instalaron en el Gavión fueron extraviados o sustraídos, por lo que no se reportan datos, sin embargo, se reportan los del Canal de Comunicación (CC) que es un sitio muy cercano al Gavión.



**Figura 80. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC) y la parte Centro-Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante abril de 2020.**

En la **Figura 81** se muestra la estadística sobre el comportamiento del nivel de agua medido en los sitios de la Laguna del Valle de las Garzas. En la **Tabla 27**, se muestra un comparativo de los promedios de los valores de nivel de marea máximos y mínimos diarios para cada uno de los sitios de medición, durante el período de agosto a diciembre de 2019 y de enero a abril 2020. En la **Figura 82**, se muestra los valores promedio diarios de niveles de agua de los máximos y mínimos, en cada sitio de medición, de agosto a diciembre de 2019 y de enero-abril 2020.

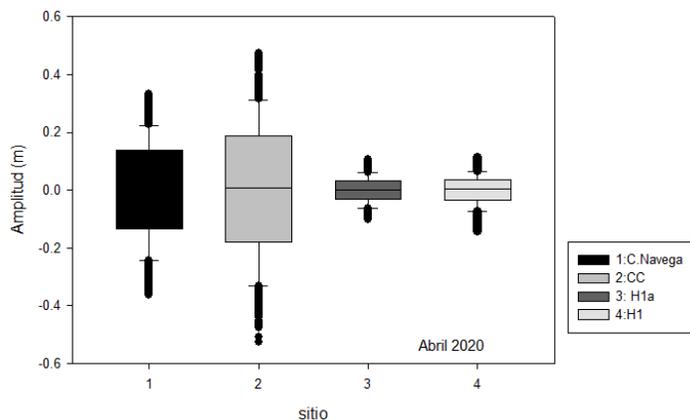


Figura 81. Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) en abril 2020.

Tabla 27. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a abril 2020.

Sitio		Ago 2019	Sep 2019	Oct 2019	Nov 2019	Dic 2019	Ene 2020	Feb 2020	Mar 2020	Abr 2020	Prom.
Canal Nav.	Máx.	0.18	0.18	0.11	0.18	0.17	0.17	0.17	0.20	0.20	0.168
	Mín.	-0.21	-0.21	-0.11	-0.21	-0.20	-0.23	-0.21	-0.20	-0.21	-0.197
Gavión	Máx.	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.17	0.19	SD	0.177
	Mín.	-0.24	-0.20	-0.16	-0.19	-0.20	-0.21	-0.20	-0.19	SD	-0.197
H1a	Máx.			0.14	0.13	0.13	0.11	0.04	0.03	0.04	0.095
	Mín.			-0.13	-0.11	-0.11	-0.10	-0.04	-0.04	-0.04	-0.090
H1	Máx.						0.11	0.04	0.03	0.04	0.062
	Mín.						-0.11	-0.04	-0.04	-0.04	-0.062
CC	Máx.								0.19	0.20	0.193
	Mín.								-0.20	-0.21	-0.199

• SD = Sin Dato

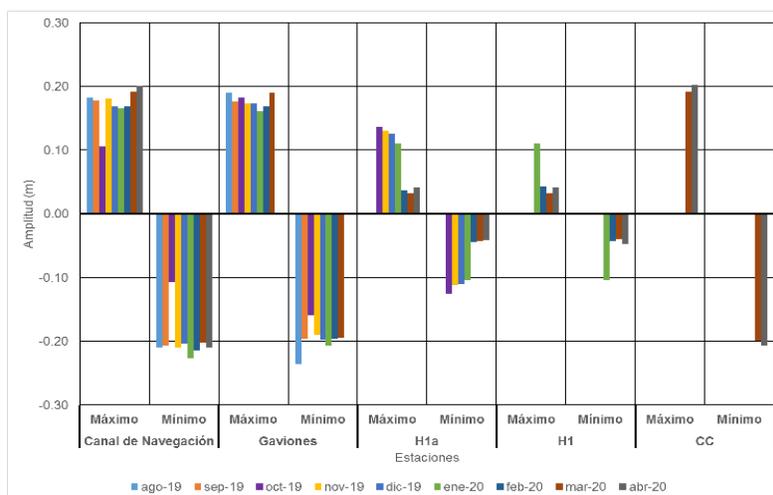


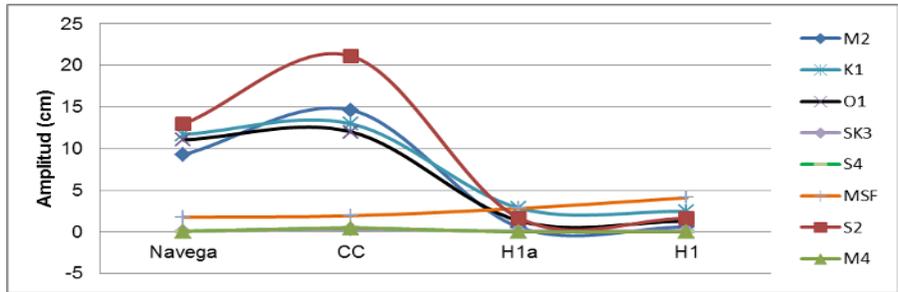
Figura 82. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a abril 2020.

Enseguida se presentan los resultados del análisis armónico de la marea en la Laguna Valle de las Garzas (**LVG**), en los sitios del Canal de Navegación (CN-H4), Canal de Comunicación (CC) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) entre el 1 y el 27 de abril 2020. Recordar que los valores del Canal de Comunicación (CC) son muy similares al sitio Gavión. Los resultados, de amplitud y fase, se muestran en la **Tabla 28**, en donde se observó que el número de componentes armónicos principales fueron ocho.

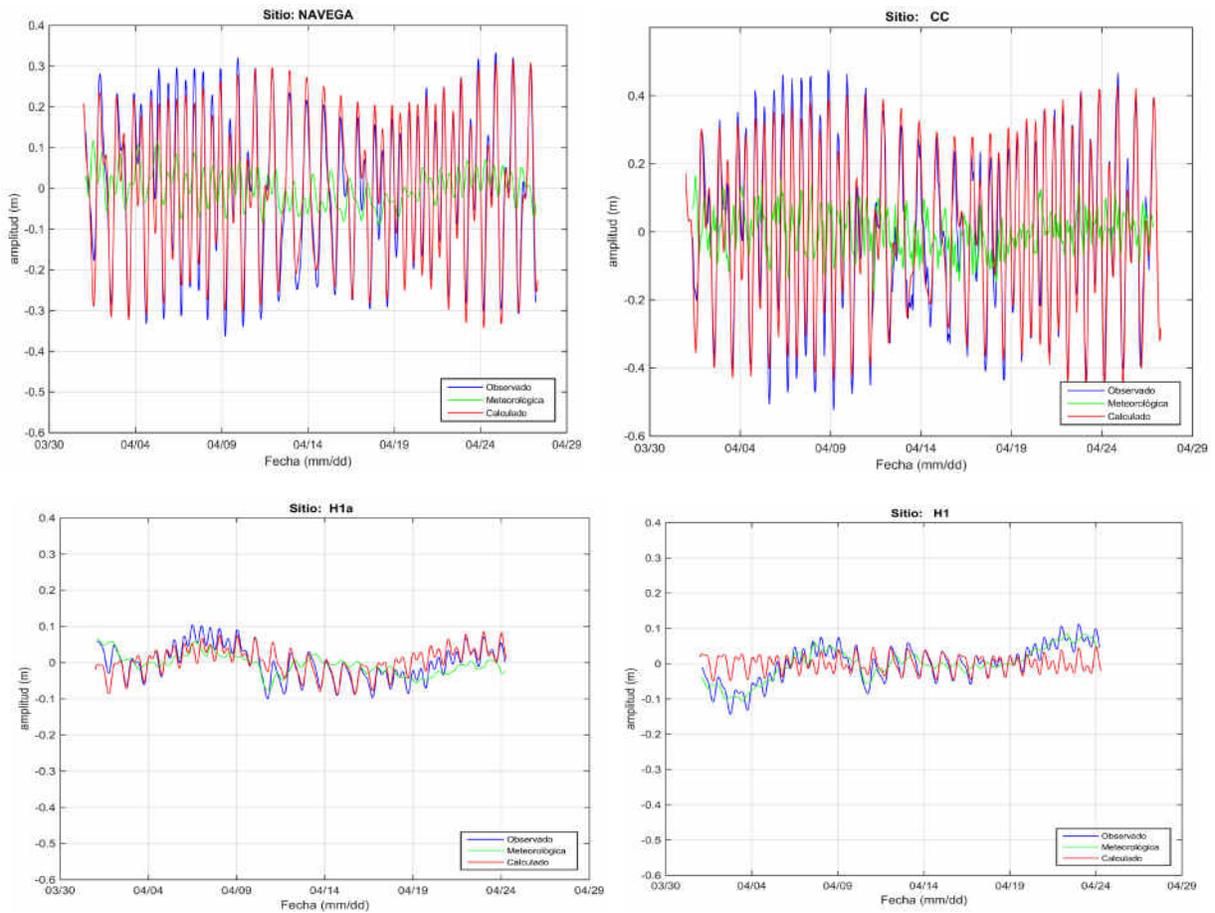
**Tabla 28. Amplitud (cm) y fase (grados) de la marea cada 15 min en abril, 2020.**

	C. Navegación		CC		H1a		H1	
	A	Fase	A	Fase	A	Fase	A	Fase
<b>M<sub>2</sub></b>	9.29	302.25	14.63	295.57	0.57	35.56	0.60	45.18
<b>S<sub>2</sub></b>	12.97	300.10	21.12	290.63	1.67	17.06	1.62	18.42
<b>O<sub>1</sub></b>	11.07	94.32	12.02	83.28	1.34	178.96	1.29	179.67
<b>K<sub>1</sub></b>	11.72	80.36	12.99	64.37	2.87	168.70	2.47	165.28
<b>MSF</b>	1.78	353.63	1.94	0.09	2.83	354.15	4.11	24.22
<b>M<sub>4</sub></b>	0.06	209.60	0.48	253.78	0.02	42.50	0.02	346.65
<b>S<sub>4</sub></b>	0.07	152.59	0.49	48.67	0.01	352.27	0.02	325.26
<b>SK<sub>3</sub></b>	0.04	247.45	0.31	0.24	0.11	127.21	0.11	101.48

En la **Figura 83**, se muestra la amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas, en los sitios de la **LVG**, cada 15 min para abril 2020. En la **Figura 84** se muestran los resultados del análisis armónico realizado a los datos de marea, una vez filtrados, obtenidos en los sitios del Canal de Navegación (CN-H4), Canal de Comunicación (CC) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante abril 2020.



**Figura 83. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min en los sitios de medición en abril 2020 en LVG.**



**Figura 84. Análisis armónico de la marea cada 15 minutos en C. Navegación, el Gavión, H1a y H1 (abril, 2020).**

En la **Figura 85** se muestra el comportamiento de la temperatura del agua en los sitios de medición.

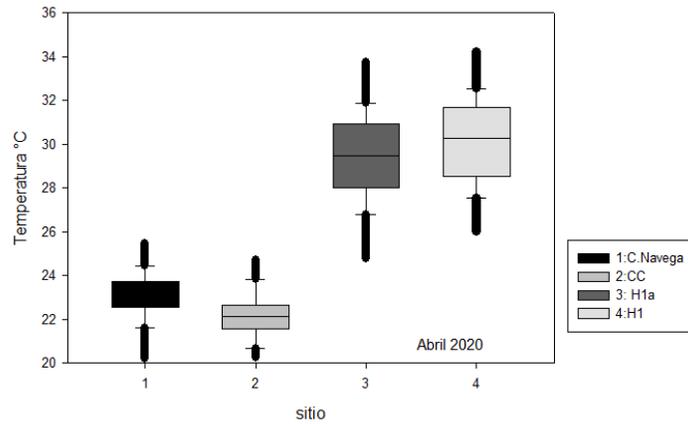


Figura 85. Variación de la temperatura del agua en los 4 sitios de la LVG en abril. 2020.

En la **Figura 86**, se presenta el comportamiento de la temperatura del agua en los 4 sitios de muestreo durante el mes de abril 2020.

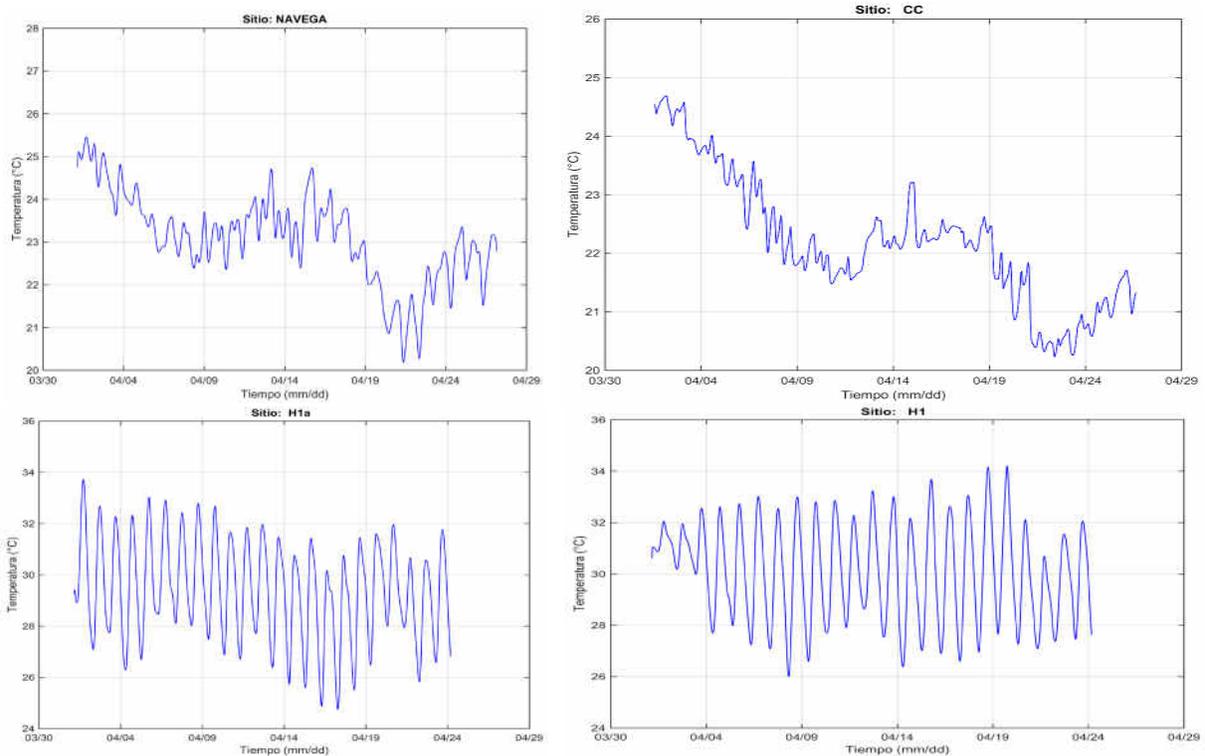
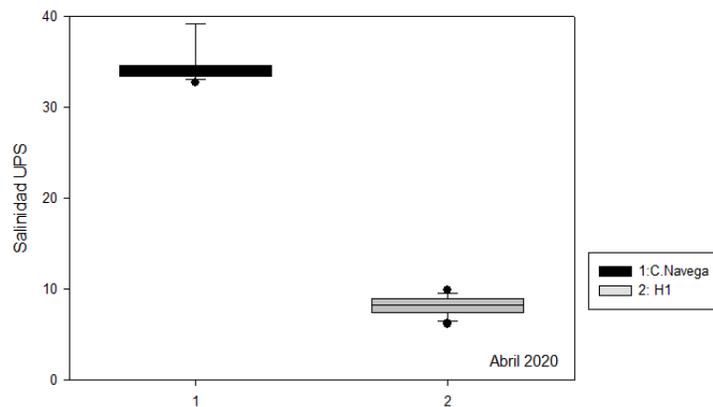
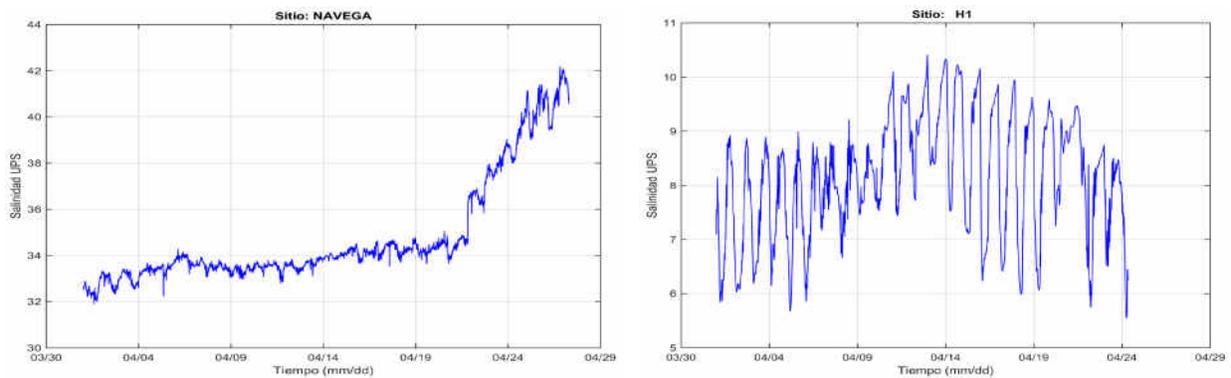


Figura 86. Variación de la temperatura del agua en el Canal de Navegación, el Gavión, H1a y H1 en abril, 2020.

Durante el mes de abril de 2020, se obtuvo la serie de la salinidad del agua en los sitios Canal de Navegación y en el sitio referido como H1, con la finalidad de conocer los procesos que generan la variación en dicho sistema. En este informe no se incluyen resultados de los sitios Gavión y H1a, el primero por extravío o sustracción y el segundo porque falló el sensor de salinidad Hobo. En la **Figura 87** se muestra un comparativo de la estadística del comportamiento de la salinidad del agua en los sitios de medición. En la **Figura 88**, se presenta el comportamiento de la salinidad del agua en los dos sitios de muestreo en abril 2020.

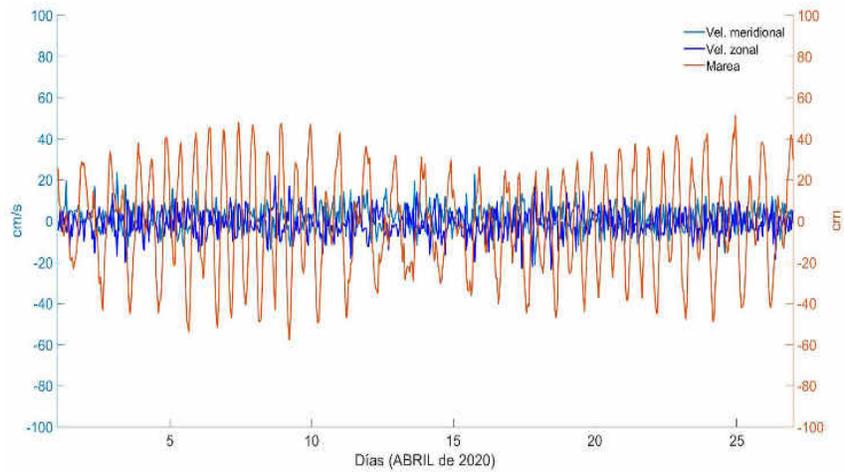


**Figura 87. Variación de la salinidad en los sitios Canal de Navegación y H1 en abril, 2020.**



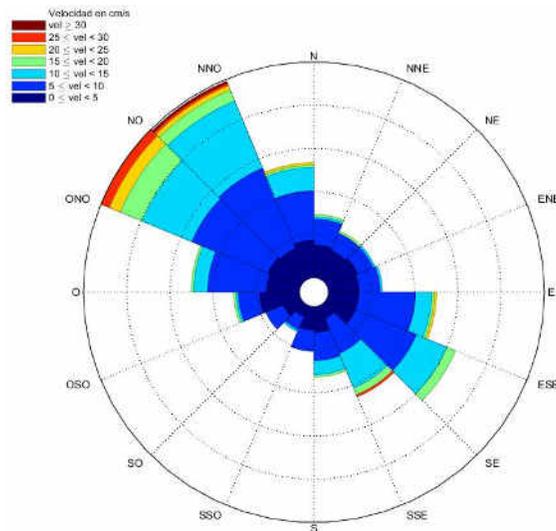
**Figura 88. Variación de la salinidad del agua en el sitio Canal de Navegación y H1 en abril, 2020.**

En la **Figura 89**, se presenta la serie de tiempo de la velocidad y dirección de la corriente, así como, la elevación de la superficie libre (nmm) debida a la marea, se muestra la intensidad de la corriente en sus componentes zonal y meridional, correspondiente entre el 1 y 27 de abril de 2020.



**Figura 89. Serie de tiempo del mes de abril 2020 (ADP 1). Se muestra la elevación de la superficie libre referenciada al nmm debida a la marea y la variación de la velocidad en la componente zonal (Este-Oeste) y meridional (Norte-Sur). Convención: Norte y Este con signo positivo.**

En la **Figura 90**, se presentan los resultados de la rosa de corrientes del mes de abril de 2020, en el sitio del Canal de Comunicación (CC). Se muestra la intensidad y dirección de la corriente. En la **Tabla 29** se presenta la estadística básica de la corriente en el sitio correspondiente al Canal de Comunicación (CC).



**Figura 90. Rosa de corrientes. Se muestra intensidad y dirección de las corrientes medidas en el Canal de Comunicación (CC) durante el mes de abril 2020.**

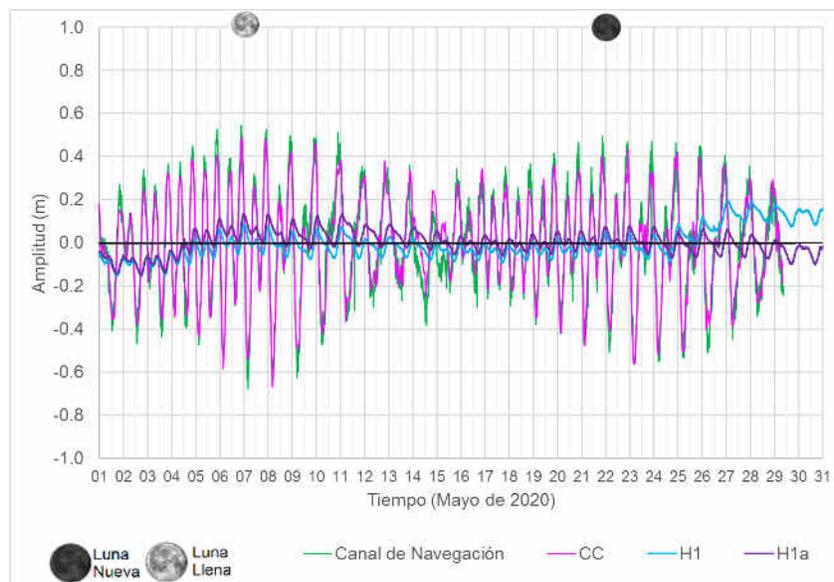
**Tabla 29. Frecuencias cruzadas de la velocidad (cm/s) y dirección (grados) de la corriente en el sitio Canal de Comunicación (CC) en abril, 2020.**

Sector	(0,5)	[5,10)	[10,15)	[15,20)	[20,25)	[25,30)	[30,35)	TOTAL
[0,22.5)	14	11	1	1				27
[22.5,45)	13	8		1				22
[45,67.5)	14	7	1					22
[67.5,90)	13	9	1					23
[90,112.5)	13	24	7	1	1			46
[112.5,135)	13	28	14	4				59
[135,157.5)	6	16	16	3		1		42
[157.5,180)	11	12	6	1				30
[180,202.5)	10	9						19
[202.5,225)	5	6	1					12
[225,247.5)	8	8						16
[247.5,270)	17	9	1	1				28
[270,292.5)	14	25	6	1				46
[292.5,315)	15	35	23	10	5	4		92
[315,337.5)	14	37	31	5	2	1	1	91
[337.5,360)	16	21	10	1	1			49
<b>Total obs.</b>	196	265	118	29	9	6	1	624
<b>%</b>	31.41	42.47	18.91	4.65	1.44	0.96	0.16	100

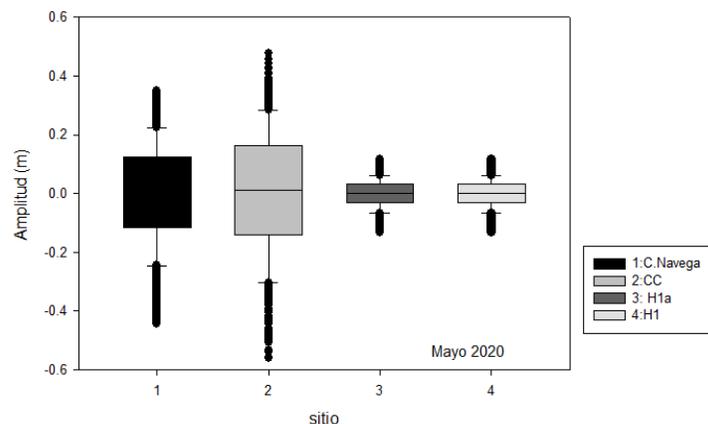
Sectores	%	MAX	MIN	MODA	PROM.	DESV. EST.
[0,22.5)	4.33	16.02	2.31	2.62	5.75	3.18
[22.5,45)	3.53	15.14	1.06	1.8	4.79	3.11
[45,67.5)	3.53	12.32	0.36	0.36	4.61	2.91
[67.5,90)	3.69	11.8	0.32	0.32	5.11	2.58
[90,112.5)	7.37	23.69	1.4	6.3	7.66	4.36
[112.5,135)	9.46	19.97	0.94	5.86	8.17	4.31
[135,157.5)	6.73	27.79	1.08	1.08	9.84	5.18
[157.5,180)	4.81	16.03	1.93	1.93	6.89	3.97
[180,202.5)	3.04	8.23	0.85	6.39	4.45	2.14
[202.5,225)	1.92	10.31	2.41	2.41	5.52	2.51
[225,247.5)	4.65	8.73	0.58	4.68	4.66	2.01
[247.5,270)	2.56	12.4	0.85	0.85	5.92	2.67
[270,292.5)	7.05	13.96	0.9	0.9	6.84	3.73
[292.5,315)	11.06	24.06	1.66	3.18	9.86	4.86
[315,337.5)	15.22	25.65	0.72	2.46	9.12	5.17
[337.5,360)	5.77	18.35	1.22	1.22	7.26	4.31

#### IV.10 Nivel del agua, marea, temperatura, salinidad y velocidad de la corriente en mayo 2020.

En la **Figura 91** se presenta el comportamiento del nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (**CN-H4**), el Canal de Comunicación (**CC**) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (**H1a**) y **H1** entre el 1 y 28 de mayo de 2020. Además, se presenta el nivel del agua que midió el ADP1 (**CC**) entre el 1 y 28 de mayo de 2020. En la **Figura 92** se muestra la estadística del nivel de agua en los sitios de la Laguna del Valle de las Garzas.



**Figura 91. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC) y la parte Centro-Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante mayo de 2020.**



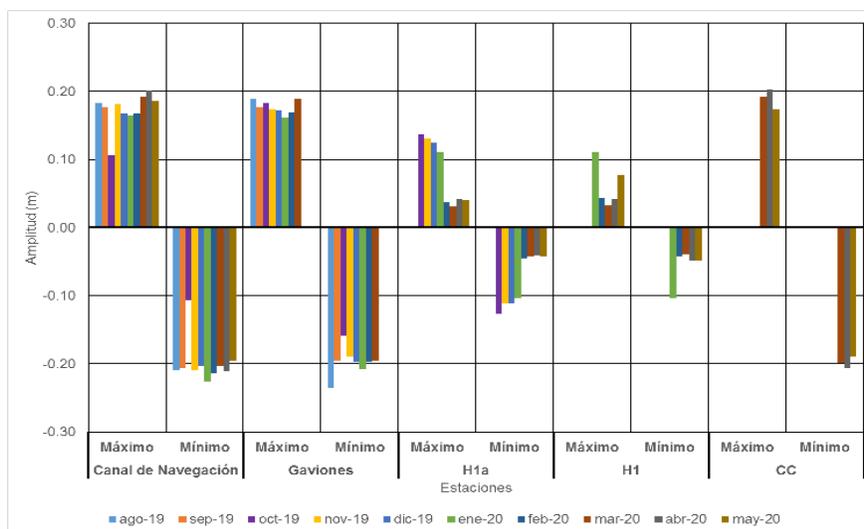
**Figura 92. Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) en mayo 2020.**

En la **Tabla 30**, se muestran los promedios de los valores de nivel de marea máximos y mínimos diarios para cada uno de los sitios de medición, durante el período de agosto a diciembre de 2019 y de enero a mayo 2020.

**Tabla 30. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a mayo 2020.**

Sitio		Ago 2019	Sep 2019	Oct 2019	Nov 2019	Dic 2019	Ene 2020	Feb 2020	Mar 2020	Abr 2020	May 2020	Prom.
Canal Nav.	Máx.	0.18	0.18	0.11	0.18	0.17	0.17	0.17	0.20	0.20	0.19	0.17
	Mín.	-0.21	-0.21	-0.11	-0.21	-0.20	-0.23	-0.21	-0.20	-0.21	-0.20	-0.20
Gavión	Máx.	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.17	0.19	SD	SD	0.18
	Mín.	-0.24	-0.20	-0.16	-0.19	-0.20	-0.21	-0.20	-0.19	SD	SD	-0.20
H1a	Máx.			0.14	0.13	0.13	0.11	0.04	0.03	0.04	0.041	0.10
	Mín.			-0.13	-0.11	-0.11	-0.10	-0.04	-0.04	-0.04	-0.042	-0.10
H1	Máx.						0.11	0.04	0.03	0.04	0.077	0.06
	Mín.						-0.11	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.06
CC	Máx.								0.19	0.20	0.17	0.19
	Mín.								-0.20	-0.21	-0.19	-0.20

En la **Figura 93**, se muestra la estadística mensual de los valores promedio diarios de niveles de agua de los máximos y mínimos (corresponden al nivel de pleamar y bajamar), en cada sitio de medición, de agosto a diciembre de 2019 y de enero-mayo 2020.



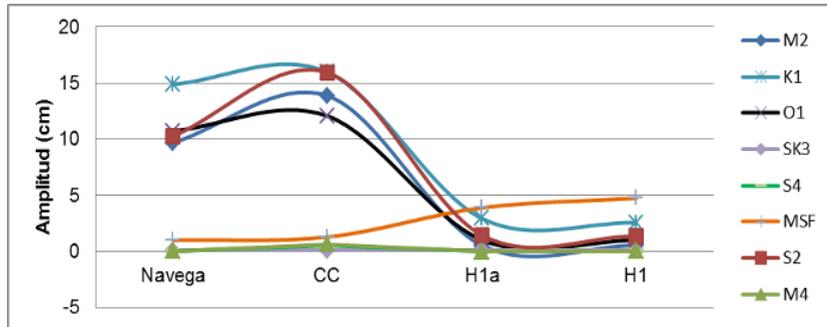
**Figura 93. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a mayo 2020.**

Enseguida se presentan los resultados del análisis armónico de la marea, en los sitios del Canal de Navegación (**CN-H4**), Canal de Comunicación (**CC**) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (**H1a y H1**) entre el 1 y el 28 de mayo 2020. Recordar que los Hobos de nivel del agua y salinidad fueron extraviados o hurtados, por esa razón no se reportan. Sin embargo, los valores del Canal de Comunicación (**CC**) son muy similares al sitio Gavión. Los resultados, de amplitud y fase, se muestran en la **Tabla 31**, en donde se observó que el número de componentes armónicos principales fueron ocho.

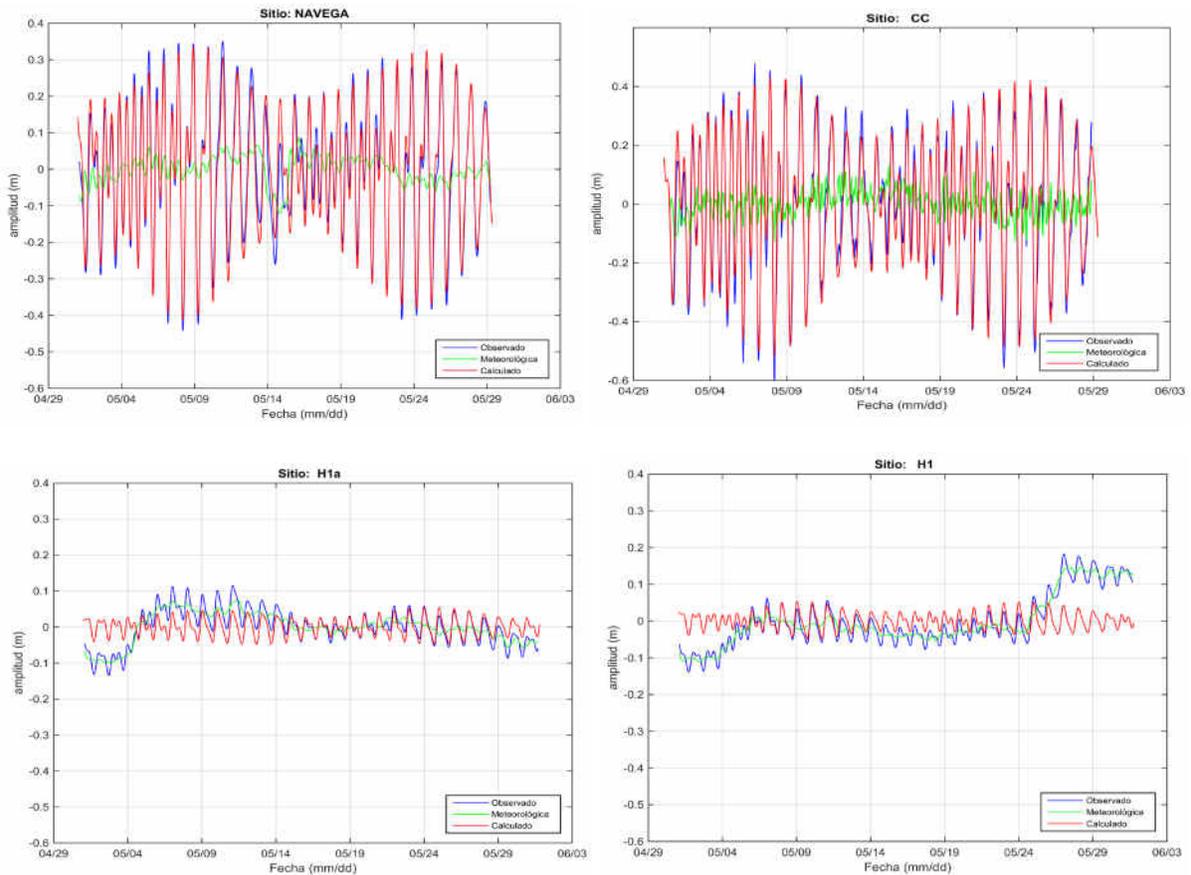
**Tabla 31. Amplitud (cm) y fase (grados) de la marea cada 15 min en mayo, 2020.**

	C. Navegación		CC		H1a		H1	
	A	Fase	A	Fase	A	Fase	A	Fase
<b>M<sub>2</sub></b>	9.68	318.22	13.87	325.43	0.54	31.66	0.54	27.96
<b>S<sub>2</sub></b>	10.27	290.73	15.94	296.52	1.44	358.54	1.36	359.75
<b>O<sub>1</sub></b>	10.72	89.58	12.07	94.49	1.03	195.16	1.00	192.60
<b>K<sub>1</sub></b>	14.89	75.90	15.97	80.31	2.93	185.39	2.56	180.47
<b>MSF</b>	1.00	347.68	1.28	178.31	3.89	42.95	4.74	122.15
<b>M<sub>4</sub></b>	0.05	226.36	0.65	313.97	0.01	335.99	0.04	265.78
<b>S<sub>4</sub></b>	0.02	224.86	0.49	35.73	0.01	271.40	0.03	323.02
<b>SK<sub>3</sub></b>	0.07	315.10	0.10	75.59	0.13	200.94	0.10	207.43

En la **Figura 94**, se muestra la amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas, en los sitios de la **LVG**, cada 15 min para mayo 2020. En la **Figura 95** se muestran los resultados del análisis armónico realizado a los datos de marea, una vez filtrados, obtenidos en los sitios del Canal de Navegación (**CN-H4**), Canal de Comunicación (**CC**) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (**H1a y H1**) durante mayo 2020.

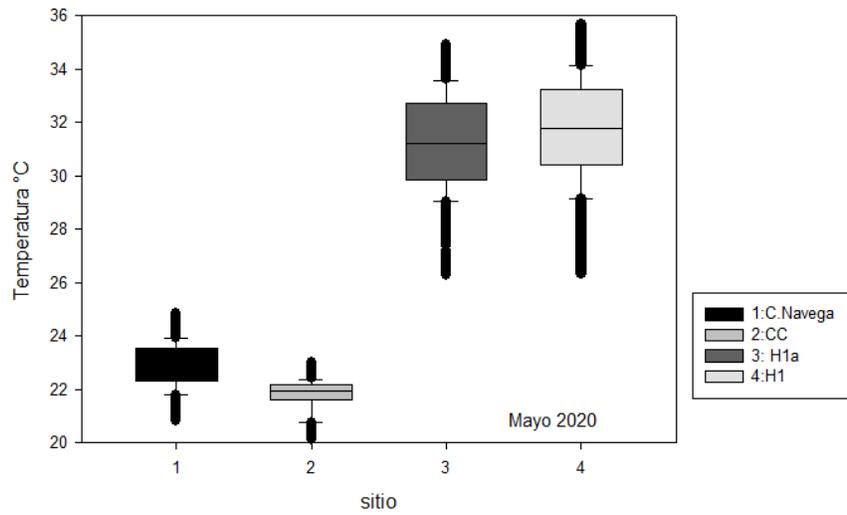


**Figura 94. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min en los sitios de medición en mayo 2020 en LVG.**



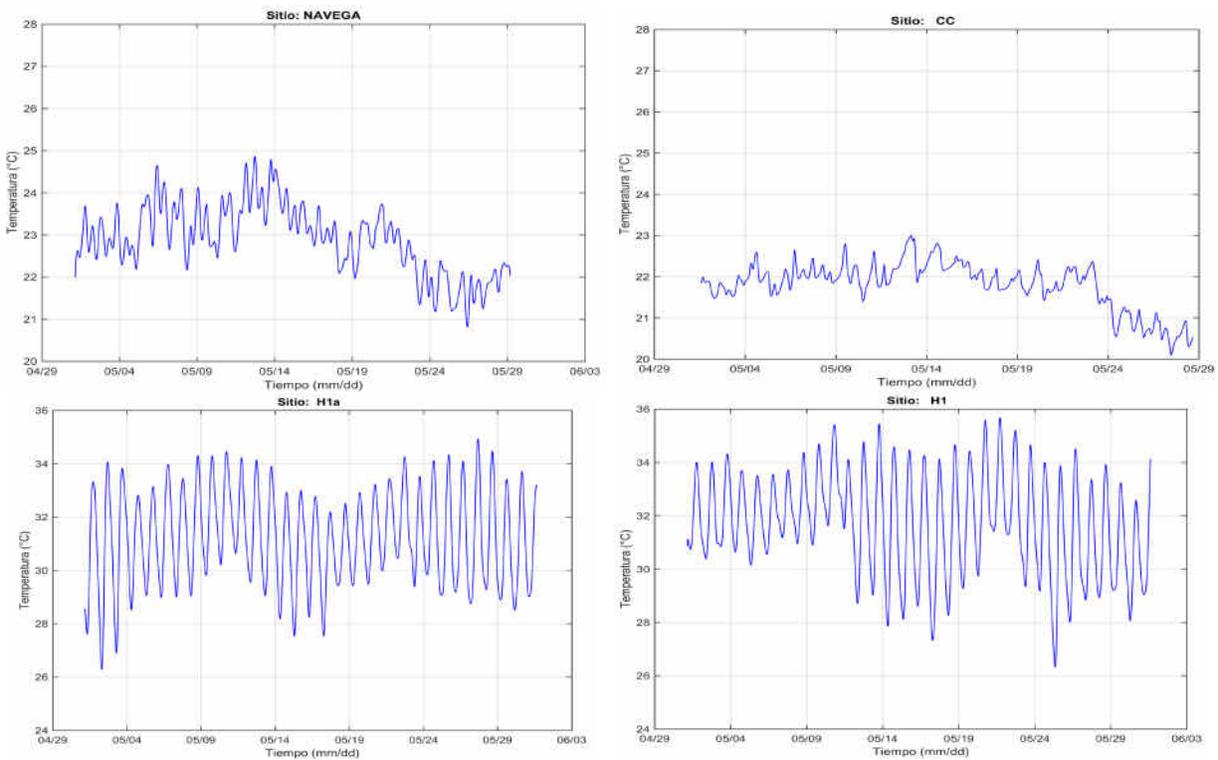
**Figura 95. Análisis armónico de la marea cada 15 minutos en C. Navegación, Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 (mayo, 2020).**

En la **Figura 96** se muestra un comparativo de la estadística del comportamiento de la temperatura del agua en los sitios de medición.



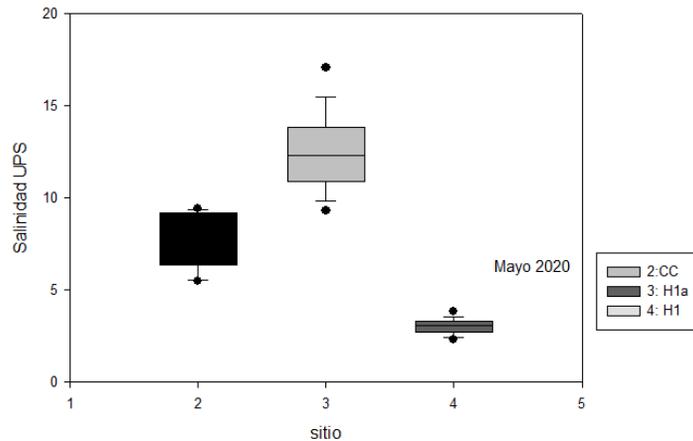
**Figura 96. Variación de la temperatura del agua en los 4 sitios de la LVG en mayo, 2020.**

En la **Figura 97**, se presenta el comportamiento de la temperatura del agua en los 4 sitios de muestreo durante el mes de mayo 2020.



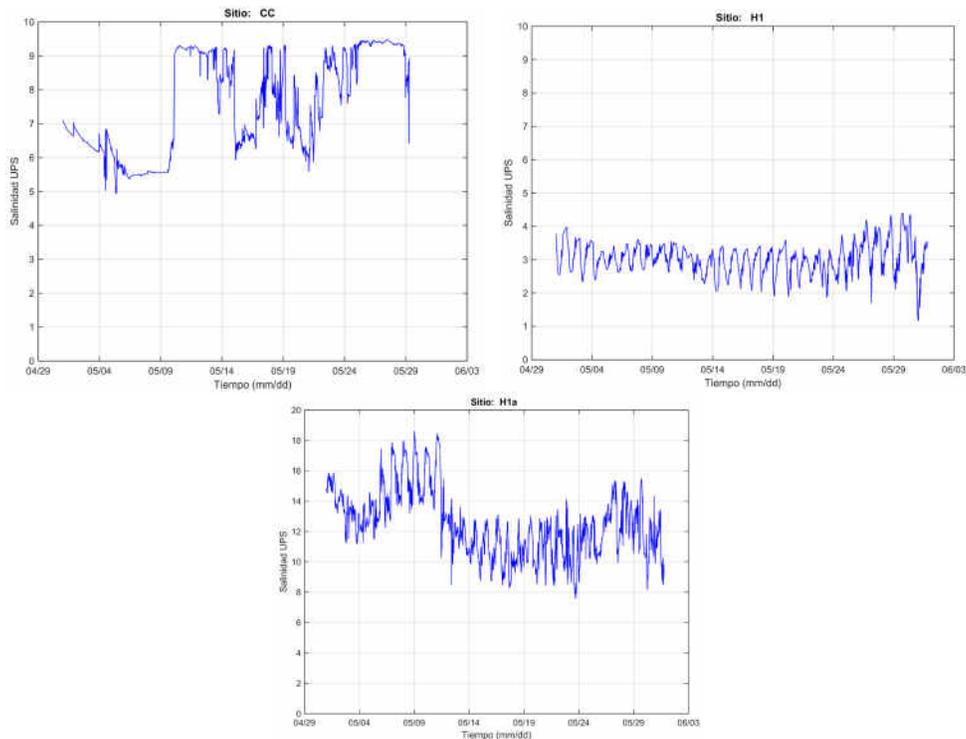
**Figura 97. Variación de la temperatura del agua en el Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 en mayo, 2020.**

En la **Figura 98** se muestra un comparativo de la estadística del comportamiento de la salinidad del agua en los sitios de medición. En este informe de mayo 2020, no se incluyen resultados del Canal de Navegación (**CN**) porque falló el sensor de salinidad Hobo.



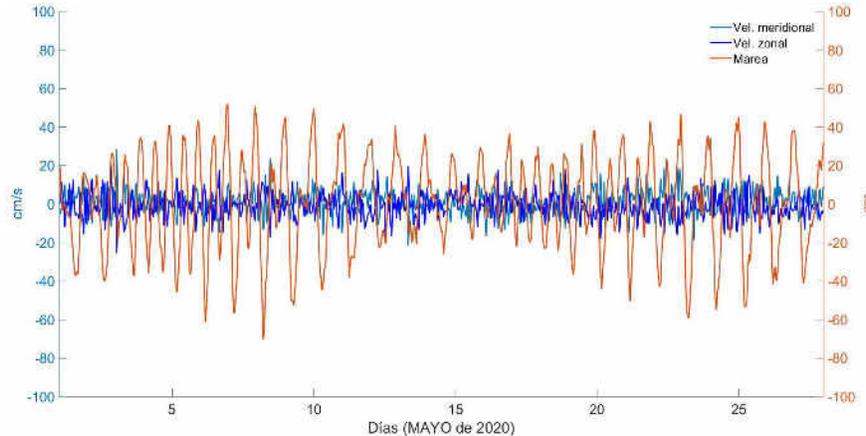
**Figura 98. Variación de la salinidad en los sitios Canal de Navegación y H1 en mayo, 2020.**

En la **Figura 99**, se presentan el comportamiento de la salinidad del agua en los tres sitios de muestreo en mayo 2020.



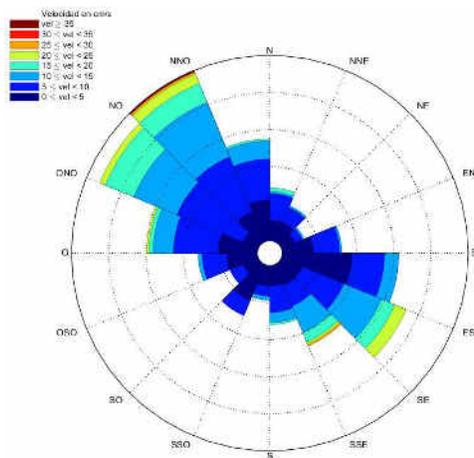
**Figura 99. Variación de la salinidad del agua en el sitio Canal de Comunicación (CC), H1 y H1a en mayo, 2020.**

En la **Figura 100**, se presenta la serie de tiempo de la velocidad y dirección de la corriente, así como, la elevación de la superficie libre referenciada al nmm debida a la marea y las intensidades de la corriente en sus componentes zonal y meridional, correspondiente al periodo comprendido entre el 1 y 27 de mayo de 2020.



**Figura 100. Serie de tiempo del mes de mayo 2020 (ADP-1). Se muestra la elevación de la superficie libre referenciada al nmm debida a la marea y la variación de la velocidad en la componente zonal (Este-Oeste) y meridional (Norte-Sur). Convención: Norte y Este con signo positivo.**

En la **Figura 101**, se presentan los resultados de la rosa de corrientes del mes de mayo de 2020, en el sitio del Canal de Comunicación (CC) entre la laguna y el Puerto Interior de Manzanillo.



**Figura 101. Rosa de corrientes. Se muestra intensidad y dirección de las corrientes medidas en el Canal de Comunicación (CC) durante el mes de mayo 2020.**

En la **Tabla 32** se observa la estadística básica de las corrientes obtenidas en el sitio correspondiente al Canal de Comunicación (**CC**), durante mayo de 2020.

**Tabla 32. Frecuencias cruzadas de la velocidad (cm/s) y dirección (grados) de la corriente en el sitio Canal de Comunicación (CC) en mayo, 2020.**

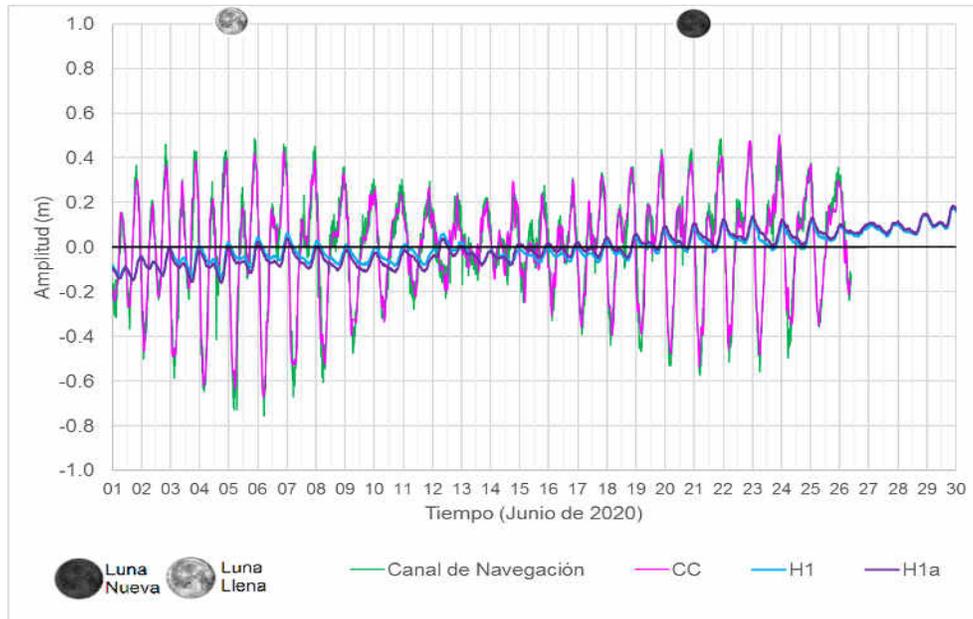
Sector	(0,5)	[5,10)	[10,15)	[15,20)	[20,25)	[25,30)	[30,35)	[35,40)	TOTAL
[0,22.5)	10	13	1	2					26
[22.5,45)	10	8	1						19
[45,67.5)	7	4	1						12
[67.5,90)	15	13	1						29
[90,112.5)	34	16	7						57
[112.5,135)	11	22	20	7	6				66
[135,157.5)	11	11	14	5	1	1			43
[157.5,180)	10	13	5	1					29
[180,202.5)	10	5	2						17
[202.5,225)	19	8							27
[225,247.5)	8	7							15
[247.5,270)	15	12	2						29
[270,292.5)	19	22	10	2	1				54
[292.5,315)	8	35	23	15	3				84
[315,337.5)	16	29	29	10	5	1		1	91
[337.5,360)	20	20	9	1					50
<b>Total obs.</b>	223	238	125	43	16	2		1	648
<b>%</b>	34.41	36.73	19.29	6.64	2.47	0.31		0.15	100

### Continuación Tabla 32....

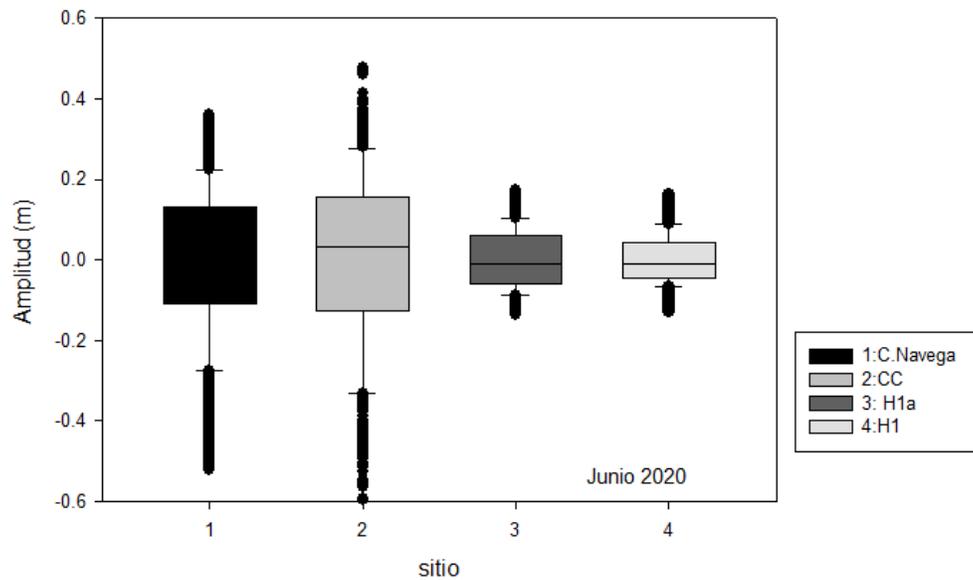
Sectores	%	MAX	MIN	MODA	PROM.	DESV. EST.
[0,22.5)	4.01	15.35	1.2	1.2	6.6	3.73
[22.5,45)	2.93	10.62	0.81	0.81	4.56	2.97
[45,67.5)	1.85	10.02	1.72	1.72	5.4	2.38
[67.5,90)	4.48	11.8	0.71	0.71	5.06	2.7
[90,112.5)	8.8	13.17	0.1	0.3	5.06	3.49
[112.5,135)	10.19	24.18	1	1	10.56	5.77
[135,157.5)	6.64	29.24	1.12	1.84	9.64	5.93
[157.5,180)	4.48	17.9	2.21	2.21	6.88	3.63
[180,202.5)	2.62	12.91	0.92	0.92	5.12	3.74
[202.5,225)	4.17	9.39	0.67	0.67	3.82	2.19
[225,247.5)	2.31	7.85	0.28	0.28	4.25	2.15
[247.5,270)	4.48	12.7	1.93	1.93	5.55	2.66
[270,292.5)	8.33	20.21	1.1	7.15	7.33	4.11
[292.5,315)	12.96	24.08	2.36	5.02	10.42	4.77
[315,337.5)	14.04	38.46	1.7	7.05	10.96	6.36
[337.5,360)	7.72	17.4	0.61	0.61	6.82	3.82

#### IV.11 Nivel del agua, marea, temperatura, salinidad y velocidad de la corriente en junio 2020.

En la **Figura 102** se presenta el comportamiento del nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (**CN-H4**), el Canal de Comunicación (**CC**) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (**H1a**) y **H1** entre el 1 y 30 de junio de 2020. Además, se presenta el nivel del agua que midió el **ADP1 (CC)** entre el 1 y 26 de junio de 2020. En la **Figura 103** se muestra la estadística sobre el comportamiento del nivel de agua medido en los sitios de la Laguna del Valle de las Garzas.



**Figura 102. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC) y la parte Centro-Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante junio de 2020.**



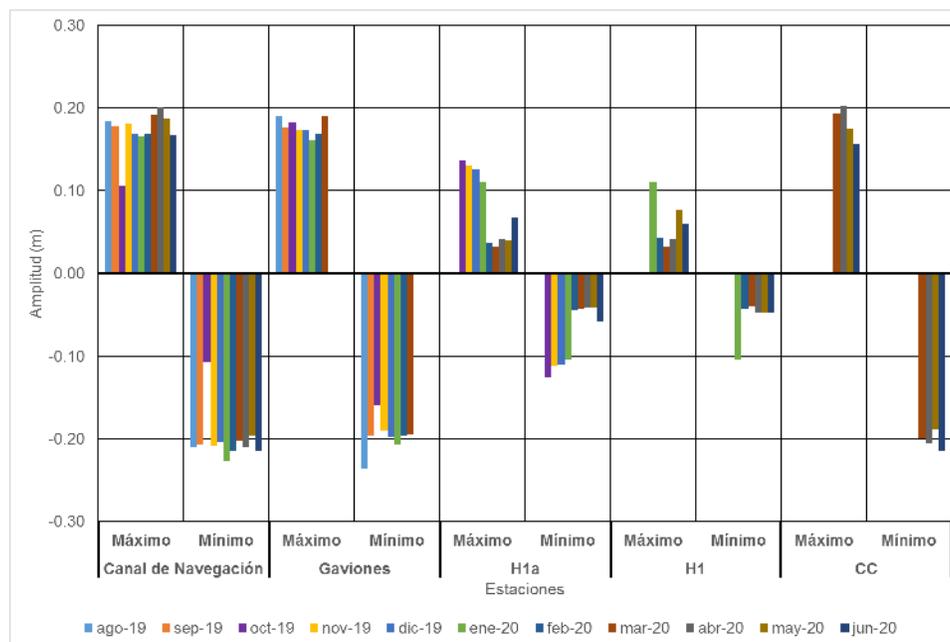
**Figura 103. Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) en junio 2020.**

En la **Tabla 33**, se muestra un comparativo de los promedios de los valores de nivel de marea máximos y mínimos diarios para cada uno de los sitios de medición, durante el período de agosto a diciembre de 2019 y de enero a junio 2020.

**Tabla 33. Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a junio 2020.**

Sitio		Ago 2019	Sep 2019	Oct 2019	Nov 2019	Dic 2019	Ene 2020	Feb 2020	Mar 2020	Abr 2020	May 2020	Jun 2020	Prom.
Canal Nav.	Máx.	0.18	0.18	0.11	0.18	0.17	0.17	0.17	0.20	0.20	0.19	0.167	0.168
	Mín.	-0.21	-0.21	-0.11	-0.21	-0.20	-0.23	-0.21	-0.20	-0.21	-0.20	-0.214	-0.197
Gavión	Máx.	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.17	0.19	SD	SD	SD	0.177
	Mín.	-0.24	-0.20	-0.16	-0.19	-0.20	-0.21	-0.20	-0.19	SD	SD	SD	-0.197
H1a	Máx.			0.14	0.13	0.13	0.11	0.04	0.03	0.04	0.041	0.067	0.095
	Mín.			-0.13	-0.11	-0.11	-0.10	-0.04	-0.04	-0.04	-0.042	-0.058	-0.090
H1	Máx.						0.11	0.04	0.03	0.04	0.077	0.059	0.062
	Mín.						-0.11	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.047	-0.062
CC	Máx.								0.19	0.20	0.17	0.1566	0.193
	Mín.								-0.20	-0.21	-0.19	-0.214	-0.199

En la **Figura 104**, se muestra la estadística mensual de los valores promedio diarios de niveles de agua de los máximos y mínimos (corresponden al nivel de pleamar y bajamar), en cada sitio de medición, de agosto-diciembre 2019 y de enero-junio 2020.



**Figura 104. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a junio 2020.**

Enseguida se presentan los resultados del análisis armónico de la marea, en los sitios del Canal de Navegación (**CN-H4**), Canal de Comunicación (**CC**) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (**H1a y H1**) entre el 1 y el 30 de junio 2020. Recordar que los valores del Canal de Comunicación (**CC**) son muy similares al sitio Gavión. En la **Tabla 34**, se muestran los resultados, de amplitud y fase de la marea para los cuatro sitios medidos.

**Tabla 34. Amplitud (cm) y fase (grados) de la marea cada 15 min en junio, 2020.**

	C. Navegación		CC		H1a		H1	
	A	Fase	A	Fase	A	Fase	A	Fase
<b>M<sub>2</sub></b>	9.19	325.25	13.74	328.36	0.70	32.55	0.67	31.14
<b>S<sub>2</sub></b>	7.30	297.29	11.14	300.04	1.08	347.33	1.06	348.91
<b>O<sub>1</sub></b>	10.90	90.42	11.88	94.37	1.06	208.80	1.03	206.66
<b>K<sub>1</sub></b>	17.70	87.81	19.07	89.70	2.61	198.06	2.56	197.02
<b>MSF</b>	2.67	135.31	2.56	130.42	2.63	149.28	2.83	136.04
<b>M<sub>4</sub></b>	0.03	192.48	0.47	304.85	0.03	113.71	0.03	110.49
<b>S<sub>4</sub></b>	0.03	191.67	0.08	13.10	0.04	247.49	0.04	244.91
<b>SK<sub>3</sub></b>	0.05	244.95	0.26	142.12	0.12	95.60	0.12	96.69

En la **Figura 105**, se muestra la amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas, en los sitios de la **LVG**, cada 15 min para junio 2020.

En la **Figura 106** se muestran los resultados del análisis armónico realizado a los datos de marea, una vez filtrados, obtenidos en los sitios del Canal de Navegación (**CN-H4**),

Canal de Comunicación (CC) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante junio 2020.

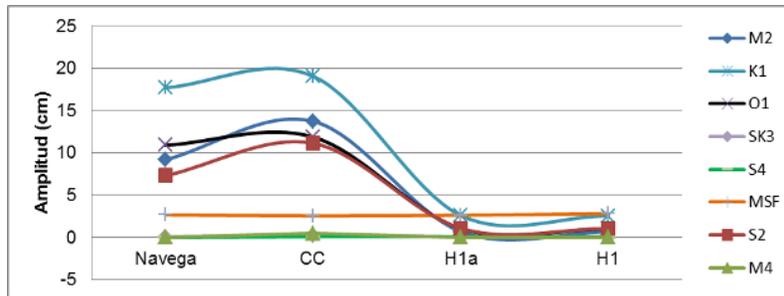


Figura 105. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min en los sitios de medición en LVG en junio 2020.

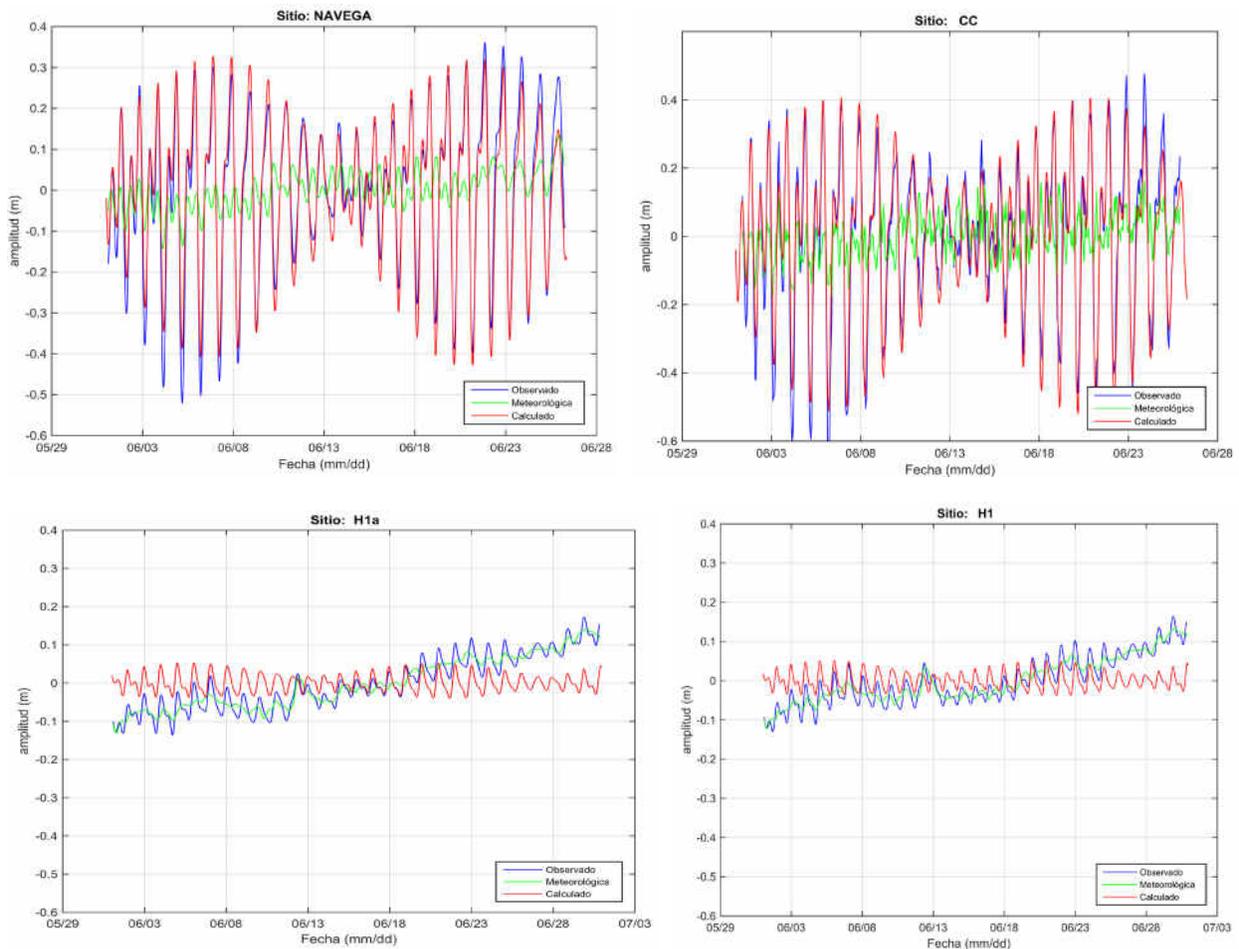


Figura 106. Análisis armónico de la marea cada 15 minutos en C. Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 (junio, 2020).

En la **Figura 107** se muestra un comparativo de la estadística del comportamiento de la temperatura del agua en los sitios de medición. En la **Figura 108**, se presenta el

comportamiento de la temperatura del agua en los 4 sitios de muestreo durante el mes de junio 2020.

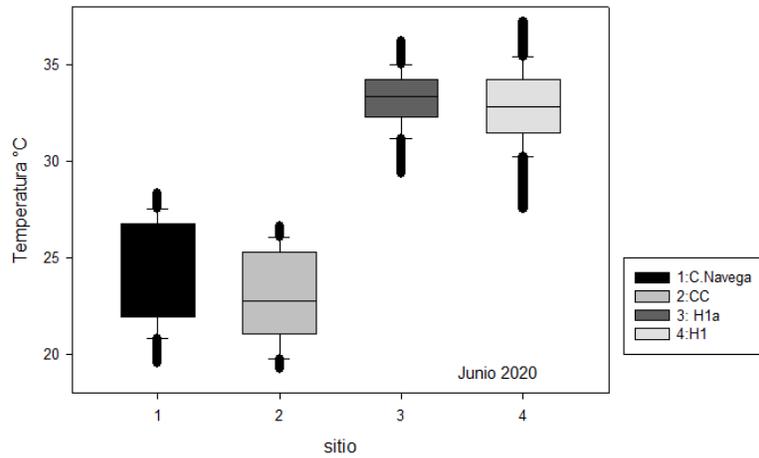


Figura 107. Variación de la temperatura del agua en los 4 sitios de la LVG en junio, 2020.

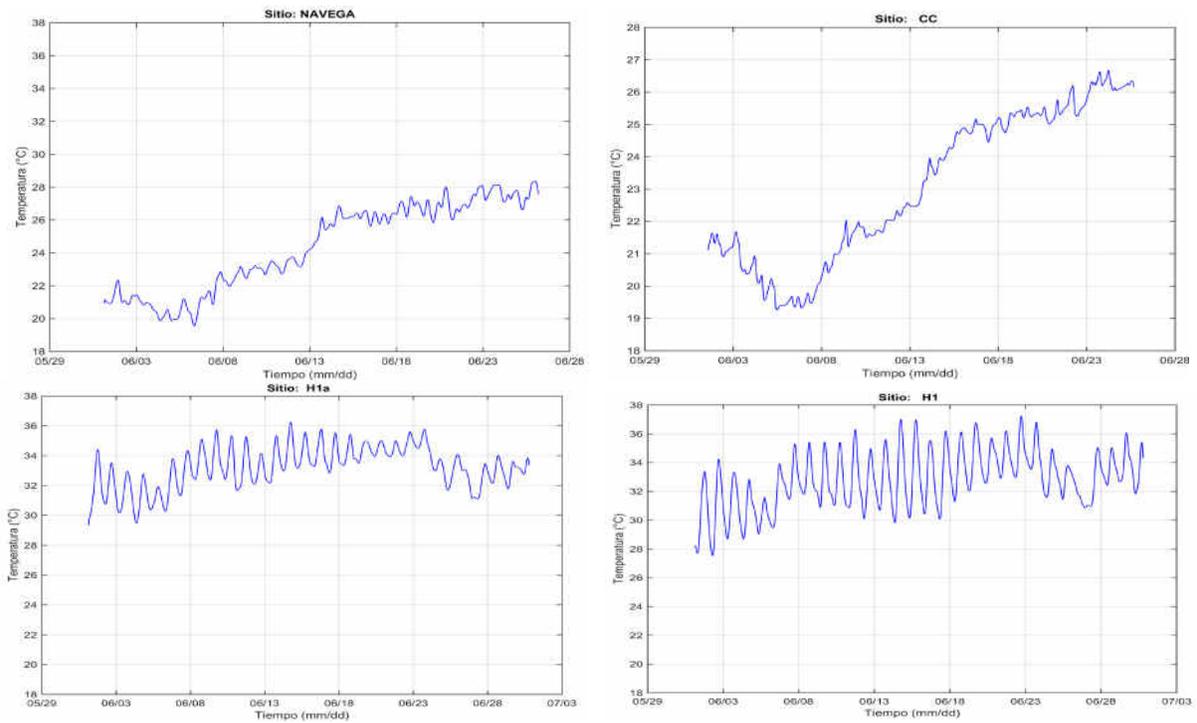
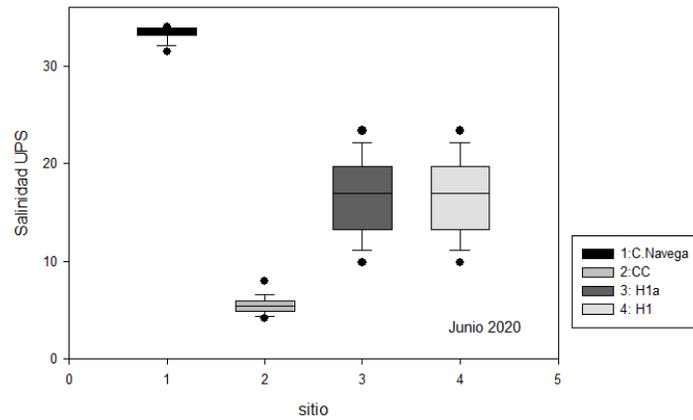


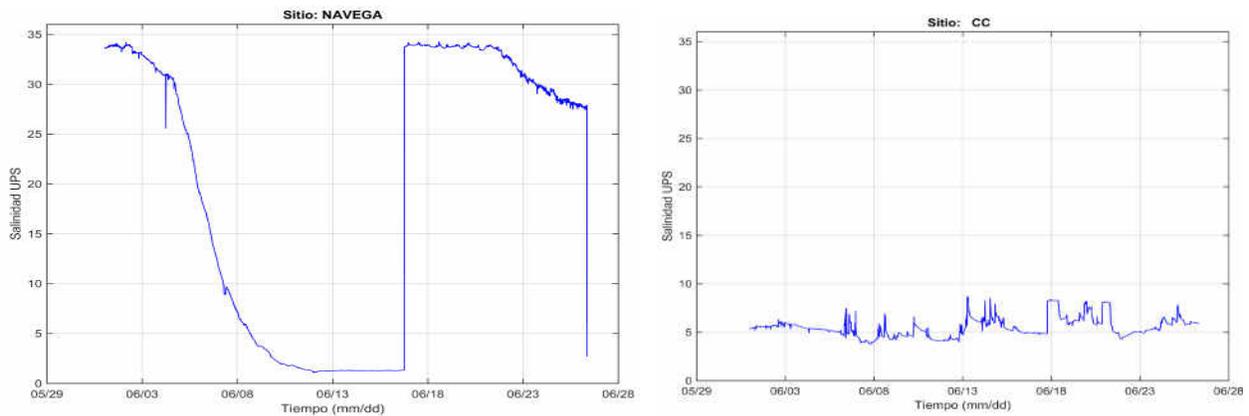
Figura 108. Variación de la temperatura del agua en el Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 en junio, 2020.

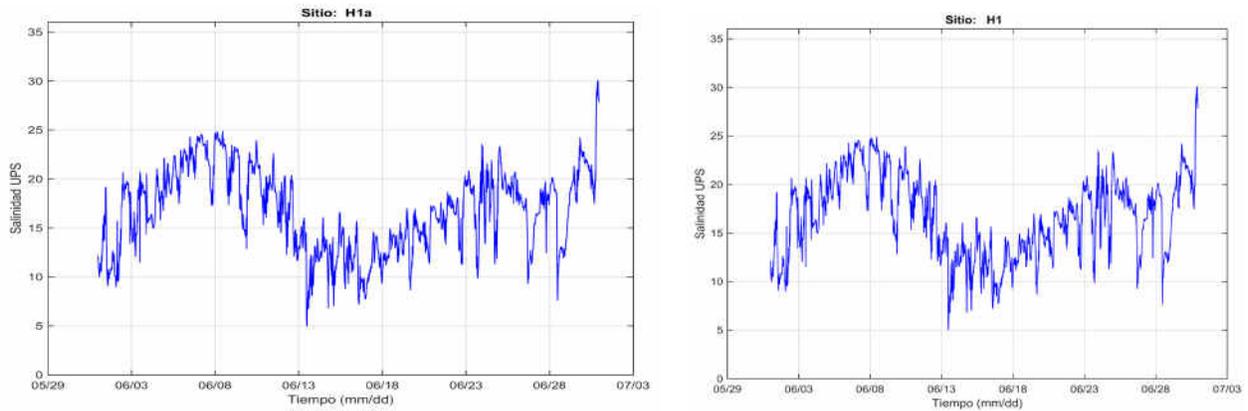
Los resultados de salinidad, corresponden del 1 al 26 de junio de 2020. En la **Figura 109** se muestra un comparativo de la estadística del comportamiento de la salinidad del agua en los sitios de medición.



**Figura 109. Variación de la salinidad en los sitios Canal de Navegación, Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 en junio, 2020.**

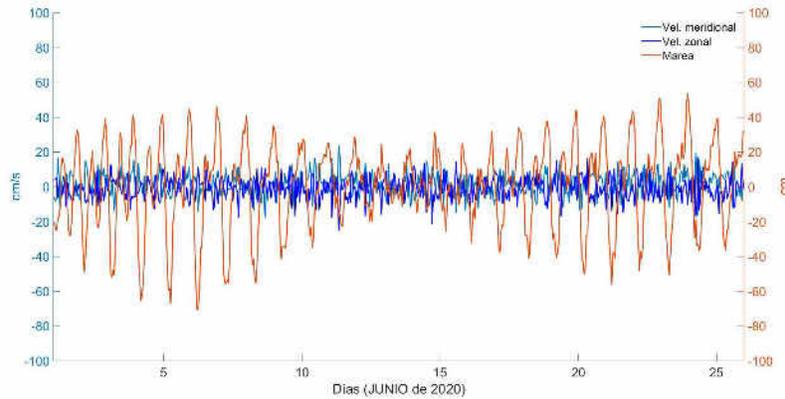
En la **Figura 110**, se presentan el comportamiento de la salinidad del agua en los cuatro sitios de muestreo en junio 2020.





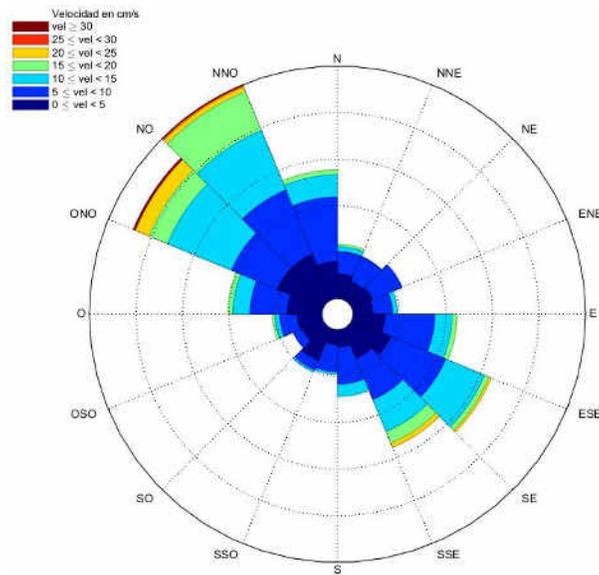
**Figura 110. Variación de la salinidad del agua en el sitio Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 en junio, 2020.**

En la **Figura 111**, se presenta la serie de tiempo con los resultados de la velocidad y dirección de la corriente, así como, la elevación de la superficie libre referenciada al nmm debida a la marea y las intensidades de la corriente en sus componentes zonal y meridional, correspondiente al periodo comprendido entre el 1 y 26 de junio de 2020.



**Figura 111. Serie de tiempo del mes de junio 2020 (ADP-1). Se muestra la elevación de la superficie libre referenciada al nmm debida a la marea y la variación de la velocidad en la componente zonal (Este-Oeste) y meridional (Norte-Sur). Convención: Norte y Este con signo positivo.**

En la **Figura 112**, se presentan los resultados de la rosa de corrientes del mes de junio de 2020, en el sitio del Canal de Comunicación (**CC**) entre la laguna y el puerto interior de Manzanillo.



**Figura 112. Rosa de corrientes. Se muestra intensidad y dirección de las corrientes medidas en el Canal de Comunicación (CC) durante el mes de junio 2020.**

En la **Tabla 35** se observa la estadística básica de las corrientes obtenidas en el sitio correspondiente al Canal de Comunicación (**CC**), durante junio de 2020.

**Tabla 35. Frecuencias cruzadas de la velocidad (cm/s) y dirección (grados) de la corriente en el sitio Canal de Comunicación (CC) en junio, 2020.**

Sector	(0,5)	[5,10)	[10,15)	[15,20)	[20,25)	[25,30)	[30,35)	TOTAL	
[0,22.5)	10	9	2	1				22	
[22.5,45)	8	11						19	
[45,67.5)	9	13						22	
[67.5,90)	8	8	2					18	
[90,112.5)	13	20	7	2				42	
[112.5,135)	17	24	17	2	1			61	
[135,157.5)	13	18	14	5	2			52	
[157.5,180)	7	15	5					27	
[180,202.5)	6	11	1					18	
[202.5,225)	14	4	1					19	
[225,247.5)	9	4						13	
[247.5,270)	10	7	2	1				20	
[270,292.5)	14	15	7	2				38	
[292.5,315)	20	20	28	8	6		1	83	
[315,337.5)	20	28	26	17	2	1		94	1
[337.5,360)	15	26	9	2				52	
<b>Total obs.</b>	193	233	121	40	11	1	1	600	1
<b>%</b>	32.17	38.83	20.17	6.67	1.83	0.17	0.17	100	

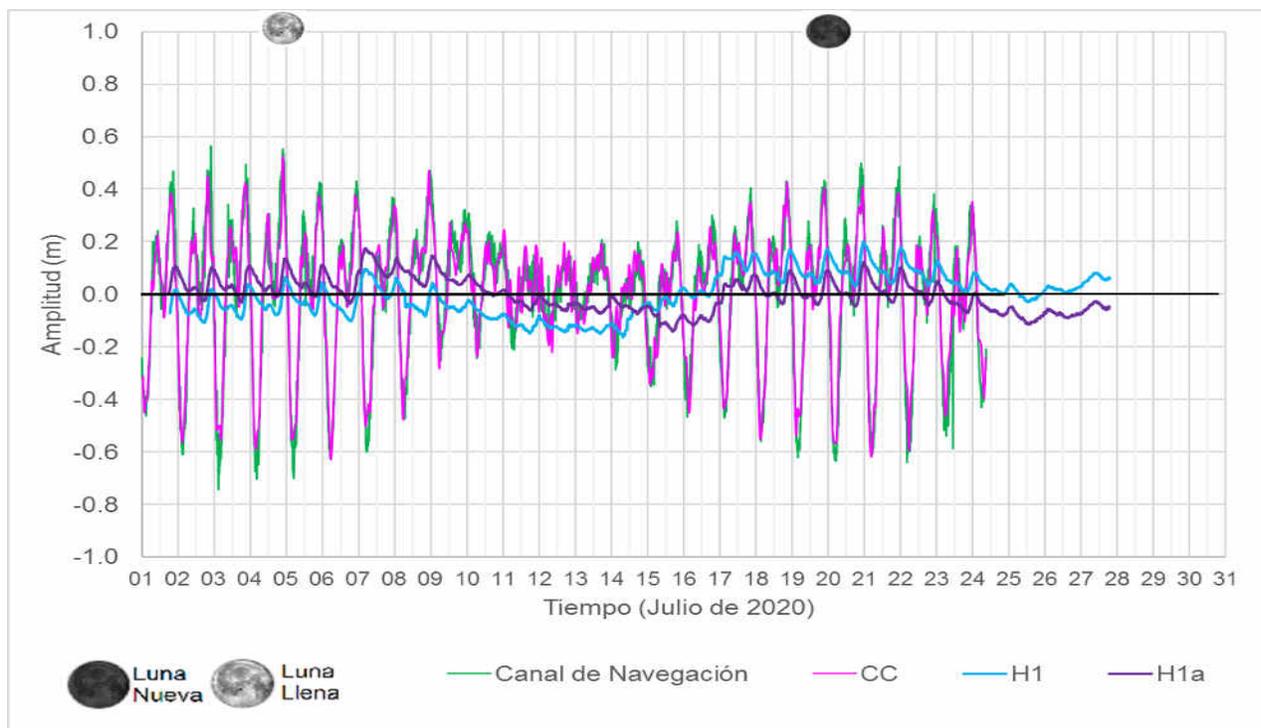
### Continuación Tabla 35....

<b>Sectores</b>	<b>%</b>	<b>MAX</b>	<b>MIN</b>	<b>MODA</b>	<b>PROM.</b>	<b>DESV. EST.</b>
<b>[0,22.5)</b>	3.67	15.31	0.54	0.54	6.11	3.7
<b>[22.5,45)</b>	3.17	9.98	1.84	1.84	5.5	2.52
<b>[45,67.5)</b>	3.67	7.98	0.78	0.78	5.16	2.2
<b>[67.5,90)</b>	3	12.3	1.43	1.43	6.15	3.29
<b>[90,112.5)</b>	7	16.63	0.4	0.4	7.21	3.98
<b>[112.5,135)</b>	10.17	23.84	0.86	2.28	8.22	4.5
<b>[135,157.5)</b>	8.67	20.86	1.84	4.16	9.2	4.93
<b>[157.5,180)</b>	4.5	14.45	1.17	1.17	6.91	3.21
<b>[180,202.5)</b>	3	13.85	1.82	1.82	6.16	3.27
<b>[202.5,225)</b>	3.17	12.18	0.86	0.86	4.22	2.82
<b>[225,247.5)</b>	2.17	6.4	0.94	0.94	3.51	1.62
<b>[247.5,270)</b>	3.33	16.9	1.1	1.1	5.66	3.82
<b>[270,292.5)</b>	6.33	16.66	0.1	0.1	7.33	4.32
<b>[292.5,315)</b>	13.83	34.52	0.76	0.76	10.17	6.23
<b>[315,337.5)</b>	15.67	25.92	1.94	2.83	10	5.36
<b>[337.5,360)</b>	8.67	17.85	1.3	6.89	7.23	3.7

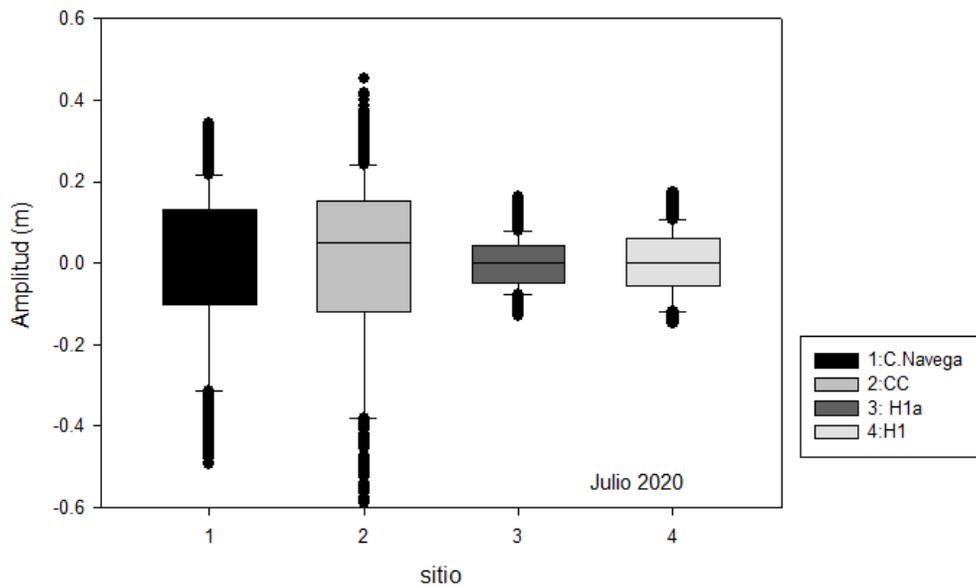
#### IV.12 Nivel del agua en julio 2020.

En la **Figura 113** se presenta el comportamiento del nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (**CN-H4**), el Canal de Comunicación (**CC**) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (**H1a**) y **H1** entre el 1 y 24 de julio de 2020. Además, se presenta el nivel del agua que midió el **ADP1 (CC)** entre el 1 y 24 de julio de 2020.

En la **Figura 114** se muestra la estadística sobre el comportamiento del nivel de agua medido en los sitios de la Laguna del Valle de las Garzas. La cara inferior en cada rectángulo representa el primer cuartil, la superior al tercer cuartil, la línea horizontal dentro de la caja corresponde a la moda, las líneas verticales delgadas corresponden al 5% (inferior) y 95% (superior) de los datos y las líneas verticales gruesas corresponden al máximo (pleamar superior) y al mínimo (bajamar inferior).



**Figura 113. Nivel de agua registrado en los sitios Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC) y la parte Centro-Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) durante julio de 2020.**



**Figura 114.** Diferencia de nivel de agua en los sitios Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) en julio 2020.

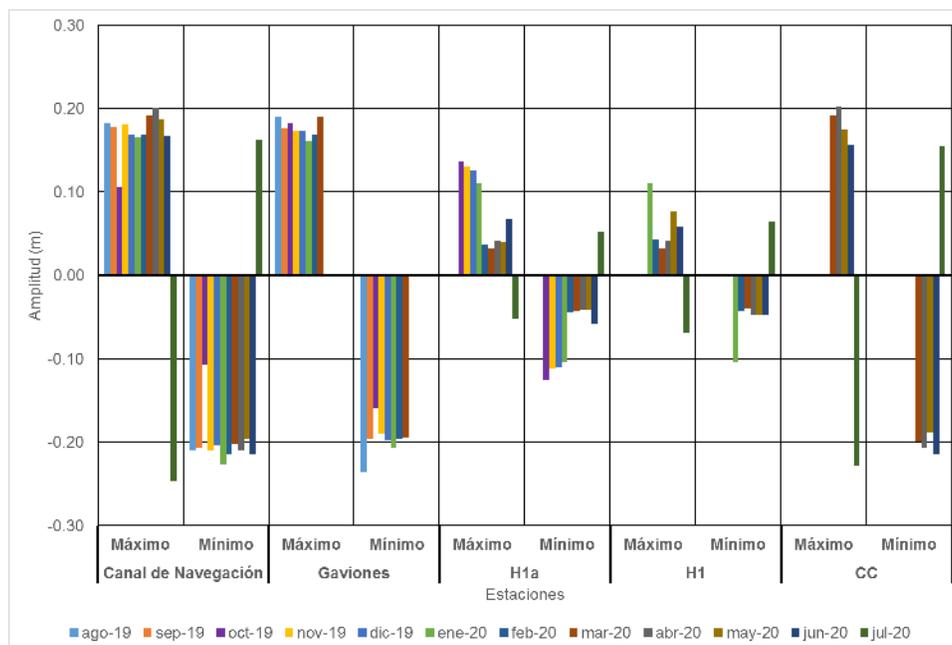
En la **Tabla 36**, se muestra un comparativo de los promedios de los valores de nivel de marea máximos y mínimos diarios para cada uno de los sitios de medición, durante el período de agosto a diciembre de 2019 y de enero a julio 2020.

**Tabla 36.** Valores promedio de nivel de marea máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a julio 2020.

Sitio		Ago 2019	Sep 2019	Oct 2019	Nov 2019	Dic 2019	Ene 2020	Feb 2020	Mar 2020	Abr 2020	May 2020	Jun 2020	Jul 2020	Prom
Canal Nav.	Máx.	0.18	0.18	0.11	0.18	0.17	0.17	0.17	0.20	0.20	0.19	0.17	-0.25	0.17
	Mín.	-0.21	-0.21	-0.11	-0.21	-0.20	-0.23	-0.21	-0.20	-0.21	-0.20	-0.21	0.16	-0.20
Gavión	Máx.	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.17	0.19	<b>SD</b>	<b>SD</b>	<b>SD</b>	<b>SD</b>	0.18
	Mín.	-0.24	-0.20	-0.16	-0.19	-0.20	-0.21	-0.20	-0.19	<b>SD</b>	<b>SD</b>	<b>SD</b>	<b>SD</b>	-0.20
H1a	Máx.			0.14	0.13	0.13	0.11	0.04	0.03	0.04	0.04	0.07	-0.05	0.10
	Mín.			-0.13	-0.11	-0.11	-0.10	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.06	0.05	-0.10
H1	Máx.						0.11	0.04	0.03	0.04	0.08	0.06	-0.07	0.06
	Mín.						-0.11	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	0.06	-0.06
CC	Máx.								0.19	0.20	0.17	0.16	-0.23	0.19
	Mín.								-0.20	-0.21	-0.19	-0.21	0.16	-0.20

SD = Sin Dato

En la **Figura 115**, se muestra la estadística mensual de los valores promedio diarios de niveles de agua de los máximos y mínimos (corresponden al nivel de pleamar y bajamar), en cada sitio de medición, de agosto a diciembre de 2019 y de enero-julio 2020.



**Figura 115. Promedio de valores de nivel de marea de máximos y mínimos diarios por sitio de agosto a diciembre de 2019 y de enero a julio 2020.**

Enseguida se presentan los resultados del análisis armónico de la marea en la Laguna Valle de las Garzas (LVG), en los sitios del Canal de Navegación (CN-H4), Canal de Comunicación (CC) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (H1a y H1) entre el 1 y el 24 de julio 2020. Los valores indicados en el presente informe están referidos al nivel medio del mar (nmm).

Los resultados, de amplitud y fase, se muestran en la **Tabla 37**, en donde se observó que el número de componentes armónicos principales fueron ocho. Los datos están referidos al Canal de Navegación (CN-H4), Canal de Comunicación (CC) y al sitio de la parte Norte de la laguna (H1a y H1).

**Tabla 37. Amplitud (cm) y fase (grados) de la marea cada 15 min en julio, 2020.**

	C. Navegación		CC		H1a		H1	
	A	Fase	A	Fase	A	Fase	A	Fase
<b>M<sub>2</sub></b>	9.72	320.29	13.89	315.09	0.73	253.67	0.68	250.12
<b>S<sub>2</sub></b>	7.57	315.84	11.54	310.89	0.90	238.43	0.89	244.80
<b>O<sub>1</sub></b>	11.01	90.28	11.04	86.68	1.28	318.27	1.49	306.40
<b>K<sub>1</sub></b>	17.79	100.04	18.61	92.13	2.33	322.67	1.95	311.83
<b>MSF</b>	2.61	125.30	2.68	125.41	5.79	359.00	6.09	346.33
<b>M<sub>4</sub></b>	0.03	10.29	0.59	184.25	0.05	336.71	0.05	311.10
<b>S<sub>4</sub></b>	0.03	261.40	0.19	8.18	0.02	37.19	0.04	299.87
<b>SK<sub>3</sub></b>	0.12	207.98	0.42	183.62	0.06	58.96	0.06	60.68

En la **Figura 116**, se muestra la amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas, en los sitios de la **LVG**, cada 15 min para julio 2020.

En la **Figura 117** se muestra los resultados del análisis armónico realizado a los datos de marea, una vez filtrados, obtenidos en los sitios del Canal de Navegación (**CN-H4**), Canal de Comunicación (**CC**) y la parte Norte de la Laguna del Valle de las Garzas (**H1a y H1**) durante julio 2020.

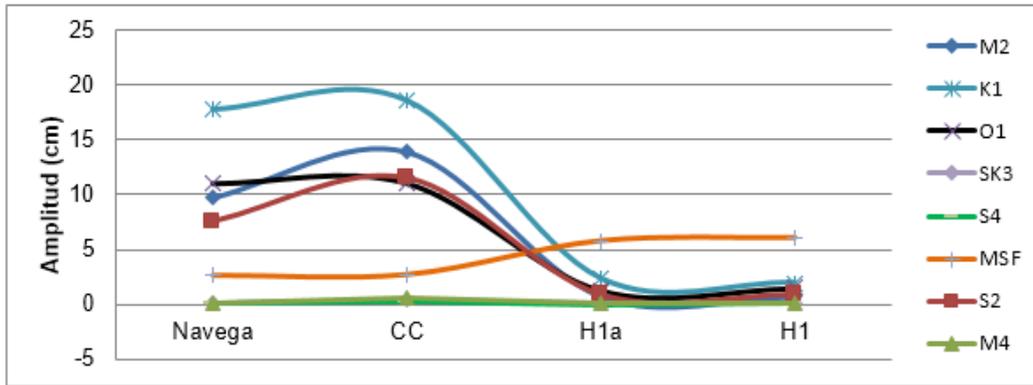


Figura 116. Amplitud de la marea observada de las principales componentes armónicas cada 15 min en los sitios de medición en LVG en julio 2020.

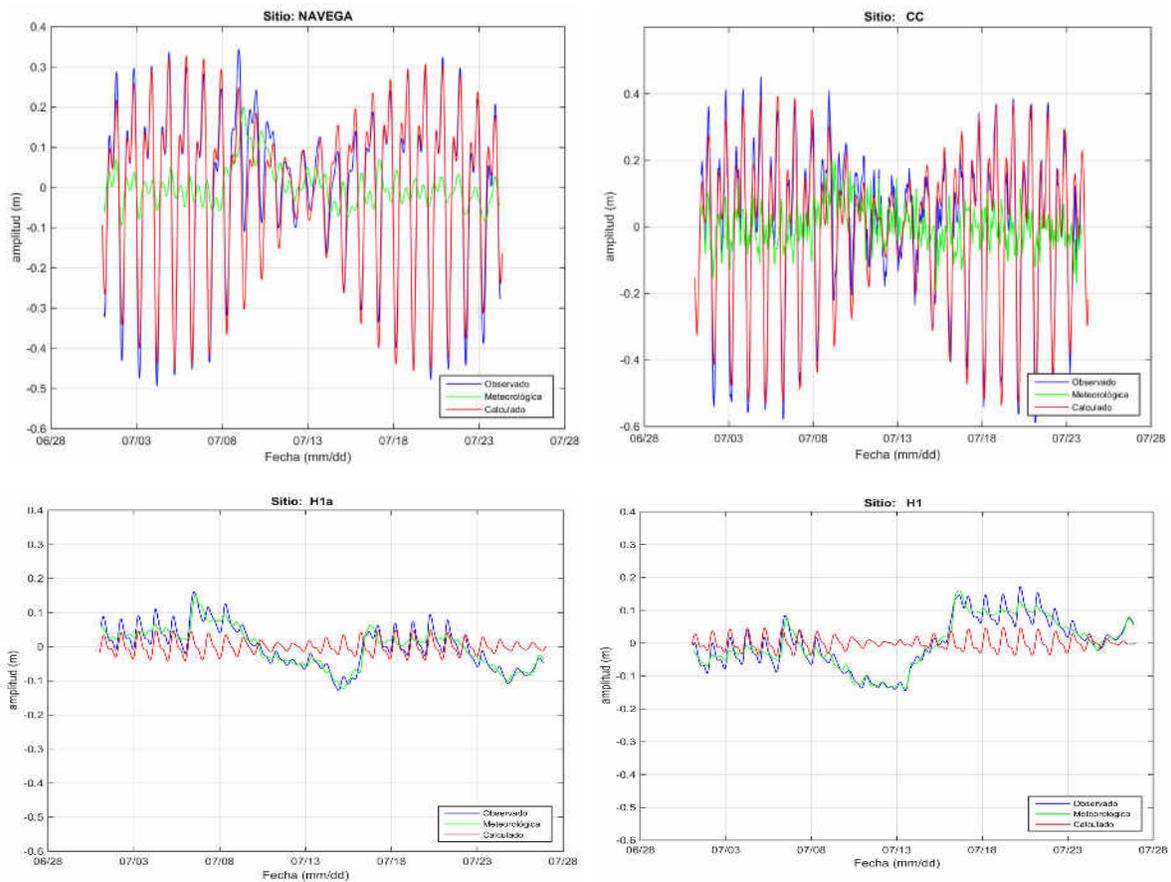
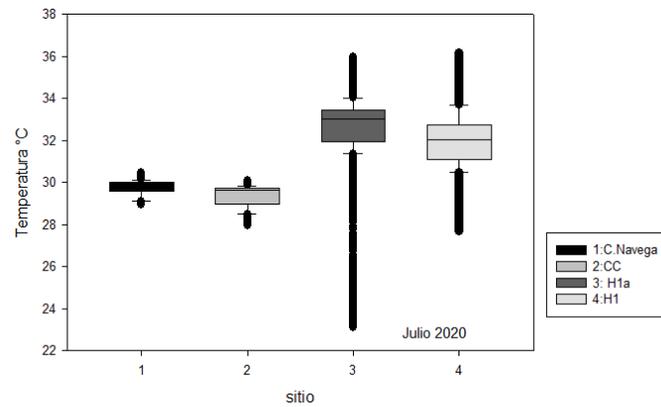


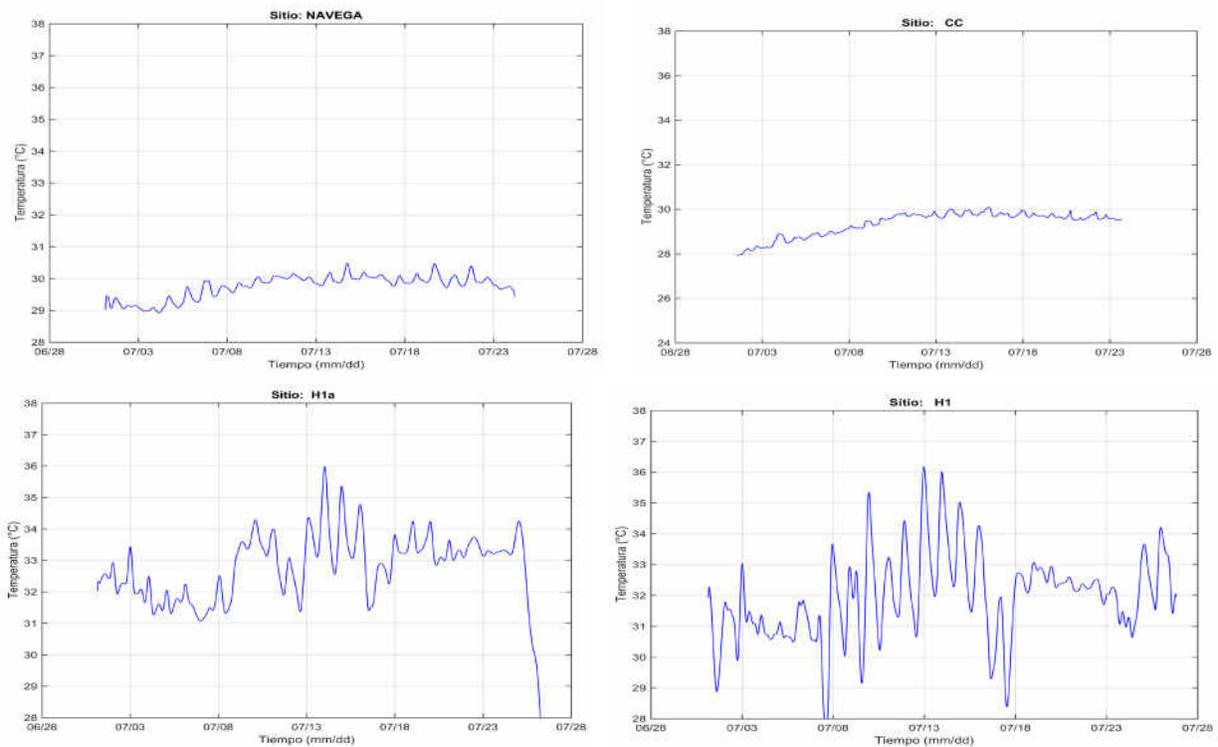
Figura 117. Análisis armónico de la marea cada 15 minutos en C. Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 (julio, 2020).

En la **Figura 118** se muestra un comparativo de la estadística del comportamiento de la temperatura del agua en los sitios de medición, durante julio 2020.



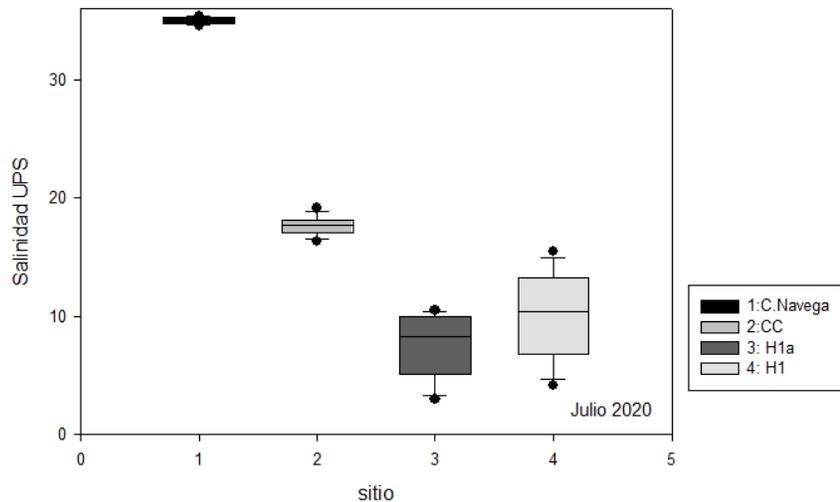
**Figura 118. Variación de la temperatura del agua en los 4 sitios de la LVG en julio, 2020.**

En la **Figura 119**, se presenta el comportamiento de la temperatura del agua en los 4 sitios de muestreo durante el mes de julio 2020.



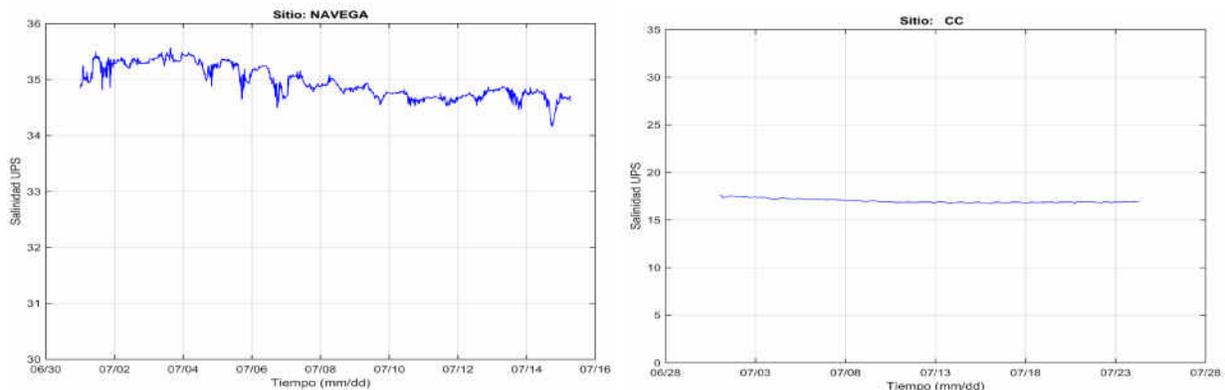
**Figura 119. Variación de la temperatura del agua en el Canal de Navegación (CN), Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 en julio, 2020.**

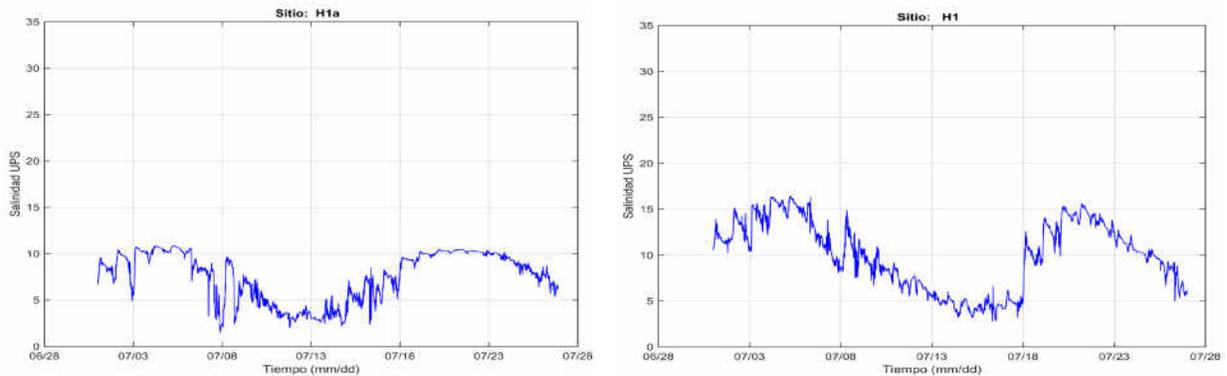
En la **Figura 120** se muestra un comparativo de la estadística del comportamiento de la salinidad del agua en los sitios de medición. Es importante señalar que se tuvo problemas con el sensor de conductividad instalado en el sitio Canal de Navegación (CN), por lo que únicamente se hace referencia a los resultados de las primeras 2 semanas de muestreo.



**Figura 120. Variación de la salinidad en los sitios Canal de Navegación, Canal de Comunicación (CC), H1a y H1 en julio, 2020.**

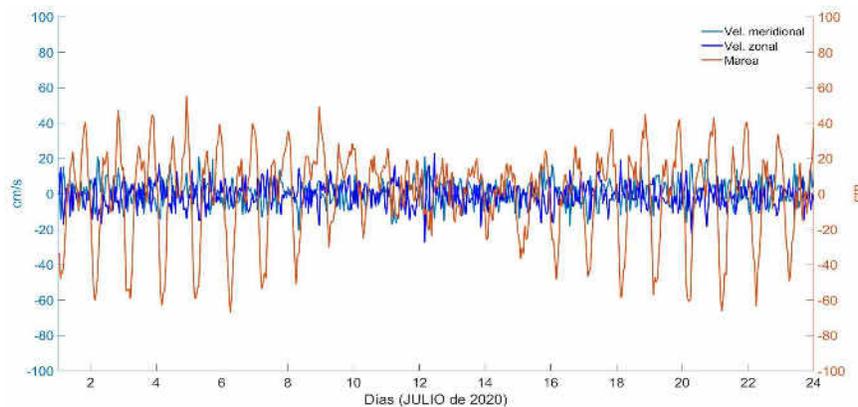
En la **Figura 121**, se presenta el comportamiento de la salinidad del agua en los cuatro sitios de muestreo en julio 2020.





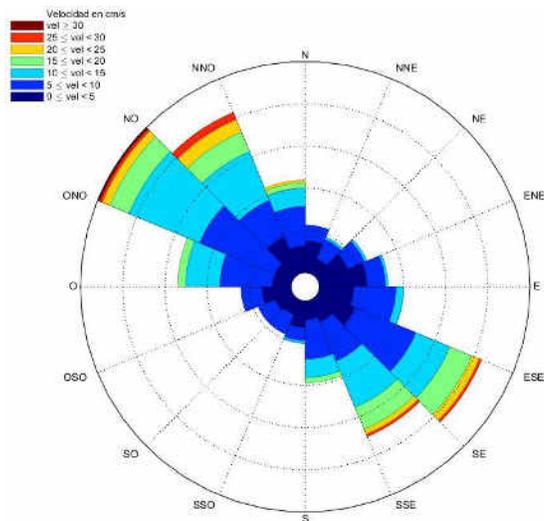
**Figura 121. Variación de la salinidad del agua en el sitio Canal de Navegación (CN), Canal de comunicación (CC), H1a y H1 en julio, 2020.**

En la siguiente **Figura 122**, se presenta la serie de tiempo con los resultados de la velocidad y dirección de la corriente, así como, la elevación de la superficie libre referenciada al nmm debida a la marea, en el sitio mencionado, se muestra la amplitud del nivel de agua y las intensidades de la corriente en sus componentes zonal y meridional, correspondiente al periodo comprendido entre el 1 y 24 de julio de 2020.



**Figura 122. Serie de tiempo del mes de julio 2020 (ADP-1). Se muestra la elevación de la superficie libre referenciada al nmm debida a la marea y la variación de la velocidad en la componente zonal (Este-Oeste) y meridional (Norte-Sur). Convención: Norte y Este con signo positivo.**

En la **Figura 123**, se presentan los resultados de la rosa de corrientes del mes de julio de 2020, en el sitio del Canal de Comunicación (CC) entre la laguna y el puerto interior de Manzanillo. Se muestra la intensidad y dirección de la corriente.



**Figura 123. Rosa de corrientes. Se muestra intensidad y dirección de las corrientes medidas en el Canal de Comunicación (CC) durante el mes de julio 2020.**

En la **Tabla 38** se observa la estadística básica de las corrientes obtenidas en el sitio correspondiente al Canal de Comunicación (CC), durante julio de 2020.

**Tabla 38. Frecuencias cruzadas de la velocidad (cm/s) y dirección (grados) de la corriente en el sitio Canal de Comunicación (CC) en julio, 2020.**

Sector	(0,5)	[5,10)	[10,15)	[15,20)	[20,25)	[25,30)	[30,35)	TOTAL
[0,22.5)	12	6						18
[22.5,45)	6	8	1					15
[45,67.5)	12	7	1					20
[67.5,90)	18	7	1					26
[90,112.5)	13	16	3					32
[112.5,135)	15	25	14	9	3	1		67
[135,157.5)	9	16	19	9	2	1		56
[157.5,180)	7	15	7	2				31
[180,202.5)	10	5	1					16
[202.5,225)	6	8						14

<b>[225,247.5)</b>	7	7						14	
<b>[247.5,270)</b>	11	8						19	
<b>[270,292.5)</b>	7	20	13	3				43	
<b>[292.5,315)</b>	7	31	29	8	3	1	1	80	
<b>[315,337.5)</b>	15	15	20	8	5	3		66	1
<b>[337.5,360)</b>	10	15	7	2	1			35	
<b>Total obs.</b>	165	209	116	41	14	6	1	552	1
<b>%</b>	29.89	37.86	21.01	7.43	2.54	1.09	0.18	100	

### Continuación Tabla 38....

<b>Sectores</b>	<b>%</b>	<b>MAX</b>	<b>MIN</b>	<b>MODA</b>	<b>PROM.</b>	<b>DESV. EST.</b>
<b>[0,22.5)</b>	3.26	9.12	1.08	4.03	4.72	2.35
<b>[22.5,45)</b>	2.72	10.24	1	1	5.51	2.57
<b>[45,67.5)</b>	3.62	10.29	1.12	1.12	4.63	2.8
<b>[67.5,90)</b>	4.71	11.14	1.17	3.4	4.49	2.68
<b>[90,112.5)</b>	5.8	13.78	0.71	0.71	5.48	3.03
<b>[112.5,135)</b>	12.14	27.01	1.28	4.61	9.68	5.73
<b>[135,157.5)</b>	10.14	25.47	0.64	0.64	11.01	5.51
<b>[157.5,180)</b>	5.62	17.11	1.68	1.68	8.26	4.21
<b>[180,202.5)</b>	2.9	10.39	1.39	1.39	4.69	2.46
<b>[202.5,225)</b>	2.54	8.9	0.72	0.72	5.23	2.4
<b>[225,247.5)</b>	2.54	7.6	1.25	1.25	4.39	1.73
<b>[247.5,270)</b>	3.44	9.96	2.47	2.47	5.07	2.07

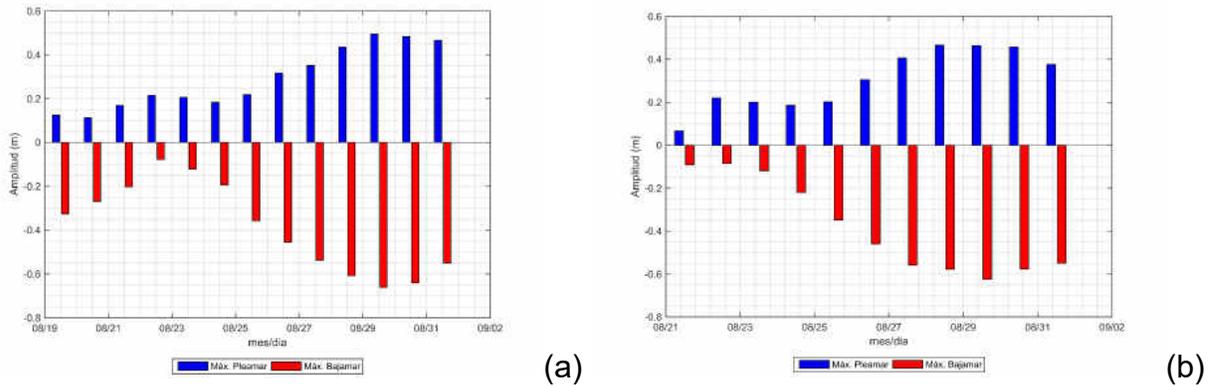
[270,292.5)	7.79	16.01	1.3	1.3	8.6	3.87
[292.5,315)	14.49	34.66	1.72	1.72	10.94	5.63
[315,337.5)	11.96	27.02	0.76	0.76	10.86	6.75
[337.5,360)	6.34	20.68	1.17	1.17	7.87	4.8

## V. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

### V.1 Nivel del agua en agosto de 2019.

La contribución de las componentes armónicas al nivel de marea fue en el Canal de Navegación (CN) la semidiurna  $M_2$  contribuyó con el 48.1%, en promedio, a la amplitud de la marea en la LVG. En el sitio Gavión su aportación fue del 49.5%. En el caso de la componente diurna  $K_1$ , contribuyó con el 51%, en promedio, a la amplitud de marea en el Canal de Navegación (CN). En tanto en el sitio Gavión fue del 50.1% su contribución.

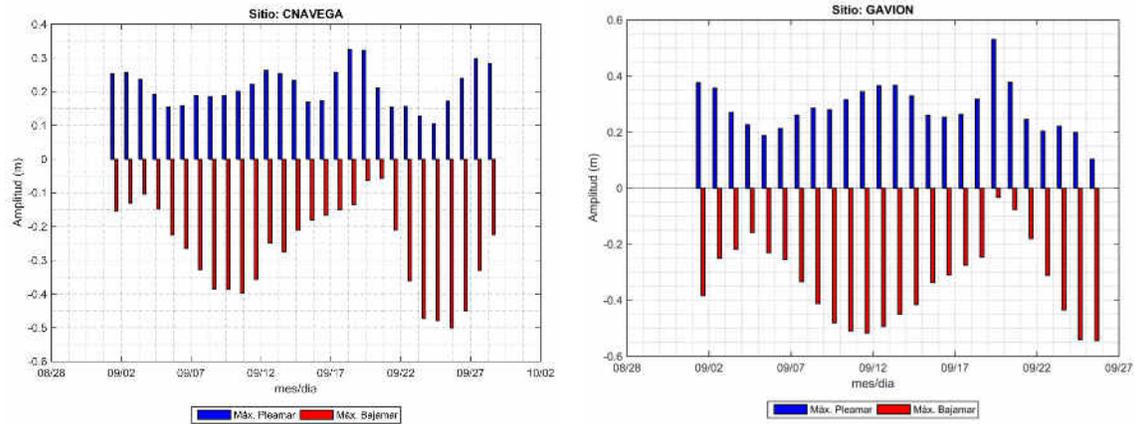
La componente de aguas someras  $M_4$ , tuvo una contribución en el Canal de Navegación (CN) del 0.9% y en Gavión correspondió al 0.4%. Dado el carácter semidiurno de la marea, se presenta la máxima pleamar y máxima bajamar registrada por día. En el sitio CN la mayor pleamar registrada fue de 50 cm y la menor alcanzó 11 cm, con amplitudes promedio de  $29 \pm 14$  cm. En tanto la máxima bajamar fue de -66 cm y mínimo descenso fue de 8 cm, las bajamares diarias oscilaron alrededor de  $-38 \pm 20$  cm. En el sitio Gavión, la mayor pleamar fue de 47 cm y la mínima de 7 cm, la amplitud promedio diaria de la pleamares fue de  $30 \pm 14$  cm. Respecto a las bajamares se observó que el mayor descenso fue de -62 cm y la menor amplitud del nivel fue de -9 cm, con promedio de  $-38 \pm 22$  cm (**Figura 124**).



**Figura 124. Mayor pleamar y bajamar por día en sitio C. Navegación (a) y Gavión (b) durante agosto 2019.**

## V.2 Nivel del agua en septiembre de 2019.

En el sitio Canal de Navegación (CN), la mayor pleamar registrada fue de 32 cm y la menor alcanzó 12 cm, con amplitudes promedio de  $21 \pm 6$  cm. En tanto la amplitud de la máxima bajamar fue de -50 cm y mínimo descenso de 6 cm, las bajamares diarias fluctuaron alrededor de  $-26 \pm 13$  cm. En el sitio Gavión la mayor amplitud de la pleamar fue de 53 cm y la mínima de 10 cm, la amplitud promedio diaria de la pleamar fue de  $29 \pm 9$  cm. Respecto a las bajamares se observó, que la mínima amplitud fue -54 cm y el menor descenso del nivel fue de -3 cm, con promedio de  $-34 \pm 14$  cm. En la segunda quincena de septiembre se desarrollaron dos Depresiones Tropicales, que se desplazaron paralelo a la costa del Pacífico mexicano. La primera fue “Lorena” (18 y 19 de septiembre 2019) y la segunda fue “Narda” (28 y 29 de septiembre 2019), ambas impactaron las costas del Estado de Colima, la primera como Huracán categoría I y la segunda como Tormenta Tropical. Debido a los eventos meteorológicos, a partir de la segunda quincena se registró un incremento en el nivel de agua, el cual se observó claramente en el sitio Gavión de la **(Figura 125)**. Asociado a un aumento en la precipitación y aportes por escorrentías.



**Figura 125. Mayor pleamar y bajamar por día en sitio C. Navegación (a) y Gavión (b) durante septiembre 2019.**

### V.3 Nivel del agua en octubre de 2019.

En Canal de Navegación (CN-H4) la máxima pleamar registrada fue 32 cm y la mínima 14 cm, con amplitud promedio de  $18 \pm 5$  cm. En tanto la máxima bajamar fue -41.3 cm y la mínima amplitud en bajamar fue -4 cm y promedio  $-17.7 \pm 8$  cm. En el sitio Gavión (H2), la mayor pleamar fue 49 cm y la mínima 17 cm, la amplitud promedio de la pleamar fue  $29 \pm 8$  cm. Respecto a las bajamares, el mayor descenso fue de -27 cm y el menor descenso fue -13 cm, con promedio de  $-23 \pm 4$  cm. Para H1a, la mayor y menor pleamar fueron 32 cm y 9 cm, respectivamente, con amplitud promedio  $20 \pm 7$  cm. Para las bajamares la amplitud promedio fue  $17 \pm 8$  cm, con el mayor descenso del nivel de -27 cm y el menor de -4 cm (**Figura 126**). En la segunda quincena de octubre, se presentaron dos sistemas meteorológicos, “Priscila” (20 de octubre) y una zona de baja presión frente a la costa de Michoacán y Colima (30 de octubre). Ambas impactaron la costa del Estado de Colima, la primera como Huracán Categoría I, generando lluvias torrenciales en Nayarit, Jalisco, Colima y Michoacán.

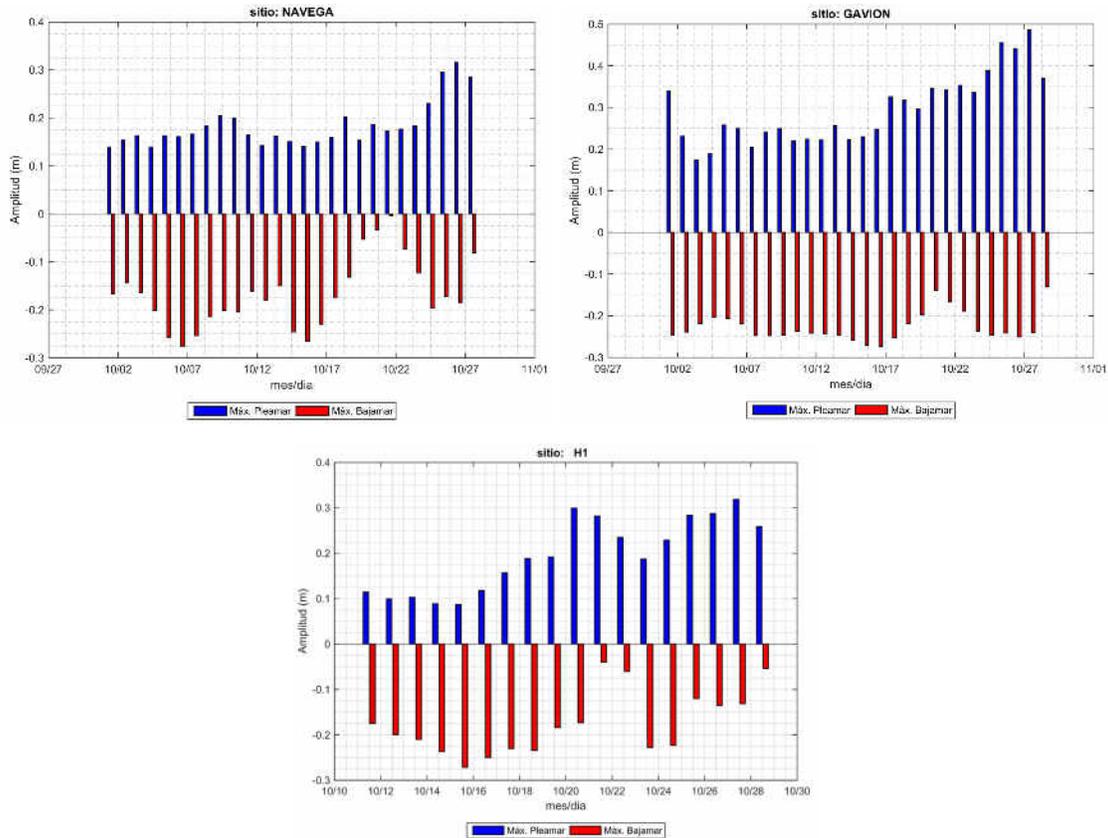


Figura 126. Mayor pleamar y bajamar por día en el sitio C. Navegación (CN), el sitio Gavión y H1a octubre 2019.

#### V.4 Nivel del agua y temperatura en noviembre de 2019.

En el Canal de Navegación (CN-H4), el nivel de amplitud de marea máxima promedio fue  $17.1 \pm 11.1$  cm y la mínima promedio fue  $-19.8 \pm 14.4$  cm. En este sitio se registró una amplitud máxima y mínima del nivel de agua de 48.5 cm y -60.2 cm, respectivamente. En el sitio Gavión (H2), el nivel de amplitud máxima promedio de marea fue  $16.1 \pm 10.2$  cm y la mínima promedio fue  $-17.9 \pm 11.9$  cm. La máxima elevación del nivel de agua fue de 38.8 cm y el nivel más bajo de -49.8 cm. En el sitio H1a el nivel de amplitud máxima promedio fue  $12.5 \pm 7.9$  cm y la mínima promedio fue de  $-10.7 \pm 6.4$  cm. La máxima amplitud del nivel de agua fue 30.4 cm y la mínima amplitud fue -23.7 cm.

Las principales componentes semidiurnas correspondieron a la  $M_2$  y  $S_2$ . En el caso de las diurnas con mayor contribución fueron la  $O_1$  y  $K_1$  y para aguas someras fueron  $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ . La contribución de las componentes semidiurnas ( $M_2$  y  $S_2$ ) a la amplitud

del nivel de marea, en promedio, fue 52.4%. En Gavión (H2) su aportación fue del 53% y en CN (H4) fue de 51.8% y en sitio H1a fue 44.7%. En el caso de las componentes diurnas ( $O_1$  y  $K_1$ ), éstas contribuyeron con el 41.7%, en promedio, a la amplitud de marea. En CN las diurnas representaron el 40.2%, en Gavión contribuyeron con el 43.2% y en H1a fue 44.8%. Las componentes de aguas someras ( $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ ) la contribución fue en CN (H4) del 6.5%, en Gavión (H2) correspondió al 3.2% y en el sitio H1a fue 6.2%.

Con relación a las amplitudes de las componentes semidiurnas de marea, la  $M_2$  presentó una amplitud de 16.4 cm en CN, en Gavión fue 14.5 cm y en H1a 7.8 cm. La componente  $S_2$  en CN presentó una amplitud de 18.9 cm, en Gavión fue de 17.7 cm y en el sitio H1a fue de 10.6 cm.

En el caso de las componentes diurnas, la  $O_1$  presentó una amplitud de 16.9 cm en CN, 11.1 cm en Gavión y 6.4 en H1a. La componente  $K_1$  presentó una amplitud de 14.9 cm en CN, de 15.2 en Gavión y en el sitio H1a fue 12.1 cm.

La contribución de las componentes de agua somera fue que la  $M_{sf}$  con 1.7 cm en CN, 1.7 cm en Gavión y en H1a fue 2 cm. La  $M_4$  con amplitud de 0.13 cm en CN, en Gavión fue 0.26 cm y en H1a fue de 0.56 cm. La  $S_4$  con amplitud de 0.9 cm en CN, 0.12 cm en Gavión y en el sitio H1a 0.61 cm. Finalmente, la componente  $SK_3$  con 0.4 cm de amplitud en CN, 0.23 cm en Gavión y en el sitio H1a fue 1.14 cm.

Respecto a la marea meteorológica se tiene que en CN ésta aportó a la elevación del nivel de agua  $9.4 \pm 6.9$  cm, en promedio, con amplitud máxima de 39.30 cm y mínima de -48.4 cm. En Gavión el incremento promedio del nivel de agua fue de  $3.2 \pm 2.8$  cm, con máxima y mínima de 12.9 cm y -10.7 cm, respectivamente. Por último, en el sitio H1a el aporte fue de  $2.9 \pm 2.2$  cm, en promedio, con amplitud máxima de 12.2 cm y mínima de -11.1 cm.

La temperatura registrada en el sitio Gavión presentó una mínima de 28.6°C y máxima de 32.7°C, con oscilaciones alrededor de los  $30.3 \pm 1$ °C. En el sitio H1a la temperatura mínima fue de 26.3°C y la máxima registrada fue de 35.1°C, con promedio de  $31.1 \pm$

2°C. Al final de la primera quincena del mes de noviembre la temperatura mostró descensos en los sitios de la LVG. Lo cual corresponde con la ocurrencia de precipitación entre los días 13 y 15 del mes, con una acumulación de 14 mm de lluvia.

### **V.5 Nivel del agua, marea y temperatura en diciembre de 2019.**

En el Canal de Navegación (CN-H4), el nivel de marea de amplitud máxima promedio fue  $16.2 \pm 10.8$  cm y la mínima promedio fue  $-19.3 \pm 14.9$  cm. En este sitio se registró una amplitud máxima y mínima del nivel de agua de 51.6 cm y -60.7 cm, respectivamente. En el sitio Gavión (H2), el nivel de amplitud máxima promedio de marea fue  $15.9 \pm 10.9$  cm y la mínima promedio fue  $-18.7 \pm 14.2$  cm. La amplitud máxima del nivel de agua fue de 50.6 cm y la mínima fue -53.2 cm. En el sitio H1a el nivel de amplitud máxima promedio fue  $12.1 \pm 9.3$  cm y la mínima promedio fue  $-10.8 \pm 5.6$  cm. La máxima amplitud del nivel fue 41.9 cm y la mínima amplitud fue -20.5 cm.

Las principales componentes semidiurnas correspondieron a la  $M_2$  y  $S_2$ . En el caso de las diurnas con mayor contribución fueron la  $O_1$  y  $K_1$  y para aguas someras fueron  $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ . La contribución de las componentes semidiurnas ( $M_2$  y  $S_2$ ) a la amplitud del nivel de marea, en promedio, fue 49.9%. En Gavión (H2) su aportación fue del 45.7% y en CN (H4) fue 45.7% y en sitio H1a fue 35.7%. En el caso de las diurnas ( $O_1$  y  $K_1$ ), éstas contribuyeron con 45.2%, en promedio. En CN las diurnas representaron el 40.3%, en Gavión contribuyeron con el 50.1% y en H1a fue 45.0%. Las componentes de aguas someras ( $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ ) la contribución fue en CN (H4) del 4.3%, en Gavión (H2) correspondió el 3.6% y en el sitio H1a fue 15.3%.

Con relación a las amplitudes de las componentes semidiurnas de marea, la  $M_2$  presentó una amplitud de 16.9 cm en CN, en Gavión fue 14.6 cm y en H1a 6.8 cm. La componente  $S_2$  en CN presentó una amplitud de 12.4 cm, en Gavión fue de 13.2 cm y en el sitio H1a fue de 7.6 cm. En el caso de las diurnas, la  $O_1$  presentó una amplitud de

11.1 cm en CN, en Gavión fue 11 cm y en H1a fue 4.8 cm. La componente  $K_1$  presentó una amplitud en CN de 10.6 cm, en Gavión de 19.3 y en el sitio H1a fue 13.4 cm.

La contribución de las componentes de agua somera fue que la  $M_{Sf}$  en CN con 2.37 cm, en Gavión fue 1.68 cm y en H1a fue 5.49 cm. La  $M_4$  en CN con amplitud de 0.04 cm, en Gavión fue 0.5 cm y en H1a fue 0.69 cm. La  $S_4$  en CN con amplitud de 0.1 cm, en Gavión fue 0.27 cm y en el sitio H1a fue 0.13 cm. Finalmente, la componente  $SK_3$  en CN con 0.46 cm de amplitud, en Gavión 0.12 cm y en el sitio H1a fue 1.53 cm.

Respecto a la marea meteorológica se tiene que en CN ésta aportó a la elevación del nivel de agua  $15 \pm 10.6$  cm, en promedio, con amplitud máxima de 48.0 cm y mínima de -51.2 cm. En Gavión el incremento promedio del nivel de agua fue  $3.3 \pm 2.6$  cm, con máxima y mínima de 16.5 cm y -13.0 cm, respectivamente. Por último, en el sitio H1a el aporte fue de  $4.7 \pm 4.0$  cm, en promedio, con amplitud máxima de 20.4 cm y mínima de -14.3 cm.

En diciembre se tuvieron datos de temperatura de dos sitios, Gavión y H1a. El comportamiento de esta variable se fue complementando a medida que fueron incorporados más sensores.

La temperatura registrada en el sitio Gavión presentó una mínima de  $27.1^\circ\text{C}$  y máxima de  $31.8^\circ\text{C}$ , con oscilaciones alrededor de los  $28.7 \pm 0.9^\circ\text{C}$ . En el sitio H1a la temperatura mínima fue de  $23.8^\circ\text{C}$  y la máxima registrada fue de  $33.4^\circ\text{C}$ , con promedio de  $28.7 \pm 1.6^\circ\text{C}$ .

## **V.6 Nivel del agua, marea, temperatura y salinidad del agua en enero de 2020.**

En el Canal de Navegación (CN-H4), el nivel de marea de amplitud máxima promedio fue  $12.5 \pm 8.3$  cm y la mínima promedio fue  $-17.1 \pm 13.1$  cm. En este sitio se registró una amplitud máxima y mínima del nivel de agua de 37.8 cm y -52.2 cm, respectivamente. En el sitio Gavión (H2), el nivel de amplitud máxima promedio de marea fue  $12.2 \pm 7.9$  cm y la mínima promedio fue  $-15.5 \pm 12.3$  cm. La amplitud máxima

del nivel de agua fue de 37.6 cm y la mínima fue -46.8 cm. En el sitio H1a el nivel de amplitud máxima promedio fue  $8.7 \pm 7.1$  cm y la mínima promedio fue  $-8.8 \pm 5.7$  cm. La máxima amplitud del nivel de agua fue 30.3 cm y la mínima amplitud fue -22.5 cm. En el sitio H1 el nivel de amplitud máxima promedio fue  $8.6 \pm 6.9$  cm y la mínima promedio fue de  $-8.8 \pm 6.2$  cm. La máxima amplitud del nivel de agua fue 29.1 cm y la mínima amplitud fue -25.2 cm.

Las principales componentes semidiurnas correspondieron a la  $M_2$  y  $S_2$ . En el caso de las diurnas con mayor contribución fueron la  $O_1$  y  $K_1$  y para aguas someras fueron  $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{Sf}$  y  $SK_3$ . La contribución de las componentes semidiurnas ( $M_2$  y  $S_2$ ) a la amplitud del nivel de marea, en promedio, fue 36.6%. En CN (H4) fue de 41.1%, en Gavión (H2) la aportación fue del 41%, en el sitio H1a fue 32.4% y en el sitio H1 fue 31.9%.

En el caso de las componentes diurnas ( $O_1$  y  $K_1$ ), éstas contribuyeron con el 53.5%, en promedio. En CN las diurnas representaron el 56%, en Gavión contribuyeron con el 56.2%, en H1a fue 51.4% y en el sitio H1 fue del 50.6%.

Las componentes de aguas someras ( $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{Sf}$  y  $SK_3$ ) la contribución fue en CN (H4) del 2.6%, en Gavión (H2) correspondió el 2.7%, en el sitio H1a fue 14.8% y en el sitio H1 fue 16.2%.

Con relación a las amplitudes de las componentes semidiurnas de marea, en CN la  $M_2$  presentó una amplitud de 10.6 cm, en Gavión fue 10.1 cm, en H1a fue 4.9 cm y en el sitio H1 fue 4.7 cm. La componente  $S_2$  en CN presentó una amplitud de 8.7 cm, en Gavión fue de 8.6 cm, en el sitio H1a fue de 4.1 cm y en el sitio H1 fue 4 cm.

En el caso de las componentes diurnas, la  $O_1$  presentó una amplitud en CN de 10.5 cm, en Gavión fue 9.9 cm, en H1a fue 5 cm y en el sitio H1 fue 5 cm. La componente  $K_1$  presentó una amplitud en CN de 18.4 cm, en Gavión de 17.7 cm, en el sitio H1a fue 10 cm y en el sitio H1 fue 10 cm. La contribución de las componentes de agua somera la más importante fue la  $M_{Sf}$  en CN con 1.3 cm, en Gavión fue 1.3 cm, en el sitio H1a fue 4.75 cm y en el sitio H1 fue 5.1 cm. Las demás componentes de agua somera presentaron una amplitud menor a 1 cm.

Respecto a la marea meteorológica se tiene que en CN ésta aportó a la elevación del nivel  $2.9 \pm 1.9$  cm, en promedio, con amplitud máxima 8.1 cm y mínima -10.7 cm. En Gavión el incremento promedio del nivel de agua fue de  $2.6 \pm 1.6$  cm, con máxima y mínima de 6.3 cm y -13.4 cm, respectivamente. En H1a el aporte fue  $4.3 \pm 2.2$  cm, en promedio, con amplitud máxima de 8.5 cm y mínima -11.3 cm. En H1 fue  $4.4 \pm 2.4$  cm en promedio, con amplitud máxima de 9 cm y mínima de -11 cm.

En enero, se tuvieron datos de temperatura del agua en tres sitios de la laguna del Valle de las Garzas. En el sitio Canal de Navegación (CN), la temperatura presentó una mínima de  $27^{\circ}\text{C}$  y máxima de  $28.7^{\circ}\text{C}$ , con oscilaciones alrededor de  $28 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ . En el sitio Gavión, la temperatura mínima fue  $25.3^{\circ}\text{C}$  y la máxima registrada fue  $30.6^{\circ}\text{C}$ , con promedio de  $28.3 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ . En el sitio H1a, la temperatura promedio fue  $28.7 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$ , con máxima y mínima de  $32.9^{\circ}\text{C}$  y  $25.3^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Por último, en el sitio H1, la temperatura mínima fue de  $27.1^{\circ}\text{C}$  con máxima de  $30^{\circ}\text{C}$  y promedio de  $29 \pm 0.6$ .

A continuación, se presentan los resultados de la salinidad del agua en la Laguna del Valle de las Garzas (LVG), la cual está expresada en Unidades Prácticas de Salinidad (UPS). En enero fueron registrados datos de salinidad en tres sitios: C. Navegación, Gavión y H1. Es importante señalar que el sensor que se colocó en el sitio H1a no funcionó debido al azolve de los canales.

En el sitio Canal de Navegación (CN), la salinidad presentó una mínima de 14.86 ups y máxima de 24.16 ups, con oscilaciones alrededor de  $21.51 \pm 2.17$  ups. En el sitio Gavión, la salinidad mínima fue 0.07 ups y la máxima registrada fue 21.84 ups, con promedio de  $10.36 \pm 8.62$ . Por último, en el sitio H1, la mínima salinidad fue 0.01 ups con máxima de 20.95 ups y promedio de  $14.74 \pm 5.01$  ups.

#### **V.7 Nivel del agua, marea, temperatura y salinidad del agua en febrero de 2020.**

En el Canal de Navegación (CN-H4), el nivel de amplitud máxima de marea promedio fue  $12.1 \pm 7.2$  cm y la mínima promedio fue  $-16.1 \pm 12.7$  cm. En este sitio se registró una amplitud máxima y mínima del nivel de agua de 33.8 cm y -52.2 cm,

respectivamente. En el sitio Gavión (H2), el nivel de amplitud máxima promedio de marea fue  $11.4 \pm 6.8$  cm y la mínima promedio fue  $-14.5 \pm 10.4$  cm. La amplitud máxima del nivel de agua fue 32.4 cm y la mínima fue -38.2 cm. En el sitio H1a el nivel de amplitud máxima promedio fue  $3.5 \pm 3.1$  cm y la mínima promedio fue  $-4.2 \pm 4.1$  cm. La máxima amplitud del nivel de agua fue 17.5 cm y la amplitud mínima fue -15.5 cm. En el sitio H1 el nivel de amplitud máxima promedio fue  $3.9 \pm 4.2$  cm y la mínima promedio fue  $-4.1 \pm 3.5$  cm. La máxima amplitud del nivel de agua fue 22.6 cm y la mínima amplitud fue -15.3 cm.

Las principales componentes semidiurnas correspondieron a la  $M_2$  y  $S_2$ . En el caso de las diurnas con mayor contribución fueron la  $O_1$  y  $K_1$  y para aguas someras fueron  $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ . La contribución de las componentes semidiurnas ( $M_2$  y  $S_2$ ) a la amplitud del nivel de marea, en promedio, fue 35.97%. En CN (H4) fue de 41.6%, en Gavión (H2) la aportación fue del 40.7%, en el sitio H1a fue 48.3% y en el sitio H1 fue 13.4%.

En el caso de las diurnas ( $O_1$  y  $K_1$ ), éstas contribuyeron con el 43.8%, en promedio, a la amplitud de marea. En CN las diurnas representaron el 53.3%, en Gavión contribuyeron con 53.2%, en H1a fue 41.5% y en sitio H1 fue 27.4%. Las componentes de aguas someras ( $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ ) la contribución fue en CN (H4) del 5.8%, en Gavión (H2) correspondió el 4.4%, en el sitio H1a fue 43.7% y en el sitio H1 fue 23.5%.

Las amplitudes de las componentes semidiurnas de marea, en CN la  $M_2$  presentó una amplitud de 8.7 cm, en Gavión fue 7.8 cm, en H1a fue 7.3 cm y en el sitio H1 fue 0.73 cm. La  $S_2$  en CN presentó una amplitud de 10.6 cm, en Gavión fue de 10.1 cm, en el sitio H1a fue 7.2 cm y en H1 fue 0.7 cm. En el caso de las diurnas, la  $O_1$  presentó una amplitud en CN de 11 cm, en Gavión fue 9.8 cm, en H1a fue 2.5 cm y en el sitio H1 fue 2.5 cm. La componente  $K_1$  presentó una amplitud en CN de 14.4 cm, en Gavión de 13.1 cm, en el sitio H1a fue 2.02 cm y en el sitio H1 fue 2.04 cm.

La contribución de las componentes de agua somera la más importante fue la  $M_{sf}$  en CN con 2.7 cm, en Gavión fue 1.8 cm, en el sitio H1a fue 4.8 cm y en el sitio H1 fue 3.9

cm. La contribución de la M<sub>4</sub> fue prácticamente nula al igual que la S<sub>4</sub>, así como, las demás componentes de agua somera presentaron una amplitud menor a 0.1 cm.

Respecto a la marea meteorológica se tiene que en CN ésta aportó a la elevación del nivel de agua  $3.7 \pm 2.8$  cm, en promedio, con amplitud máxima de 11.1 cm y mínima de -11.7 cm. En Gavión el incremento promedio fue  $3.5 \pm 2.6$  cm, con máxima y mínima de 10.6 cm y -10.7 cm, respectivamente. En H1a el aporte fue  $2.9 \pm 2.3$  cm, en promedio, con amplitud máxima de 13.8 cm y mínima -12.1 cm. En H1 fue  $2.8 \pm 2.9$  cm en promedio, con amplitud máxima de 12.2 cm y mínima -8.5 cm.

En febrero, se tuvieron datos de temperatura del agua en tres sitios de la laguna del Valle de las Garzas. En el sitio Canal de Navegación (CN), la temperatura presentó una mínima de 23.9°C y máxima de 26.7°C, con promedio de  $25.5 \pm 0.6$ °C. En el sitio Gavión, la temperatura mínima fue 24.7°C y la máxima registrada fue 30.3°C, con promedio de  $26.7 \pm 1.2$ °C. En el sitio H1a, la temperatura mínima fue 23.2°C, la máxima fue 32.5°C, la temperatura promedio fue  $27.7 \pm 2.1$ °C. Por último, en el sitio H1, la temperatura mínima fue 27.0°C con máxima 31.4°C y con promedio de  $29.7 \pm 1.1$  °C.

Durante febrero fueron registrados datos de salinidad en C. Navegación (CN), Gavión, H1a y H1. Es importante señalar que el sensor que se colocó en el sitio Gavión no funcionó adecuadamente debido a una falla de fábrica. Por lo que en este informe no se hizo una descripción del comportamiento de la salinidad en este sitio.

En el sitio Canal de Navegación (CN), la salinidad presentó una mínima de 14.34 ups y máxima de 22.77 ups, con oscilaciones alrededor de los  $19.43 \pm 1.10$  ups. En el sitio Gavión, el HOBO no funcionó adecuadamente debido a una falla de fábrica. En el sitio H1a, la mínima salinidad fue de 2.77 ups con máxima de 20.75 ups y promedio de  $14.51 \pm 2.05$  ups. Por último, en el sitio H1, la salinidad mínima fue de 2.74 ups con máxima de 16.15 ups y promedio de  $8.56 \pm 2.76$ .

## V.8 Nivel del agua, marea, temperatura, salinidad y velocidad de la corriente en marzo de 2020.

En el Canal de Navegación (CN-H4), el nivel de marea de amplitud máxima promedio fue  $12.9 \pm 7.5$  cm y la mínima promedio fue  $-14.9 \pm 10.6$  cm. En este sitio se registró una amplitud máxima y mínima del nivel de agua de 31.4 cm y de -46.1 cm, respectivamente. En Gavión (H2), el nivel de amplitud máxima promedio fue  $12.3 \pm 7.2$  cm y la mínima promedio fue  $-13.9 \pm 9.3$  cm. La amplitud máxima del nivel de agua fue de 30.4 cm y la mínima fue -34.9 cm. En el sitio H1a el nivel de amplitud máxima promedio fue  $2.7 \pm 1.8$  cm y la mínima promedio fue  $-3.9 \pm 3.2$  cm. La máxima amplitud del nivel de agua fue 9.3 cm y la amplitud mínima fue -14.7 cm. En el sitio H1 el nivel de amplitud máxima promedio fue  $2.8 \pm 1.4$  cm y la mínima promedio fue  $-4.2 \pm 3.3$  cm. La máxima amplitud del nivel de agua fue 9.1 cm y la mínima amplitud fue -14.6 cm.

Las principales componentes semidiurnas fueron la  $M_2$  y  $S_2$ . En el caso de las diurnas con mayor contribución fueron la  $O_1$  y  $K_1$  y para aguas someras fueron  $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ . La contribución de las semidiurnas a la amplitud del nivel de marea, en promedio, fue 35.6%. En CN (H4) fue 46.3%, en Gavión (H2) la aportación fue del 47.8%, en el sitio H1a fue 24.6% y en H1 fue 23.9%. En el caso de las diurnas, éstas contribuyeron con el 42%, en promedio. En CN las diurnas representaron el 46.6%, en Gavión contribuyeron con el 46.2%, en H1a fue 39.5% y en el sitio H1 fue del 35.9%. Las componentes de aguas someras ( $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ ) la contribución fue en CN (H4) del 6.9%, en Gavión (H2) correspondió el 5.3%, en el sitio H1a fue 35% y en el sitio H1 fue de 39.3%.

Con relación a las amplitudes de las semidiurnas de marea, en CN la  $M_2$  presentó una amplitud de 8.8 cm, en Gavión fue 8.6 cm, en H1a fue 0.6 cm y en el sitio H1 fue 0.6 cm. La componente  $S_2$  en CN presentó una amplitud de 12.9 cm, en Gavión fue de 12.3 cm, en el sitio H1a fue de 1.6 cm y en el sitio H1 fue 1.5 cm. La diurna  $O_1$  presentó una amplitud en CN de 10.7 cm, en Gavión fue 9.9 cm, en H1a fue 1.5 cm y en el sitio H1 fue 1.4 cm. La componente  $K_1$  presentó una amplitud en CN de 11.1 cm, en Gavión de 10.2 cm, en el sitio H1a fue 2 cm y en el sitio H1 fue 1.8 cm.

La contribución de las componentes de agua somera la más importante fue la  $M_{sf}$  en CN con 3.2 cm, en Gavión fue 2.2 cm, en el sitio H1a fue 3.1 cm y en H1 fue 3.6 cm. La  $M_4$  fue prácticamente nula al igual que la  $S_4$ , así como, las demás componentes de agua somera presentaron una amplitud menor a 0.1 cm.

Respecto a la marea meteorológica se tiene que en CN ésta aportó a la elevación del nivel de agua en promedio  $4.0 \pm 2.6$  cm, con amplitud máxima de 10.90 cm y mínima de -13.7 cm. En Gavión el incremento promedio fue  $3.3 \pm 2.1$  cm, con máxima y mínima de 8.3 cm y -10.1 cm, respectivamente. En H1a el aporte fue  $2.1 \pm 1.3$  cm, en promedio, con amplitud máxima de 6.5 cm y mínima -10.2 cm. En H1 el promedio fue  $2.1 \pm 1.4$  cm en promedio, con amplitud máxima de 6.2 cm y mínima -10.7 cm.

En el sitio Canal de Navegación (CN), la temperatura del agua presentó una mínima de  $24.7^{\circ}\text{C}$  y máxima de  $27.5^{\circ}\text{C}$ , con promedio de  $26.1 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$ . En el sitio Gavión, la temperatura mínima fue  $25.2^{\circ}\text{C}$  y la máxima fue  $31.9^{\circ}\text{C}$ , con promedio de  $27.7 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$ . En el sitio H1a, la temperatura mínima fue  $24.8^{\circ}\text{C}$ , la máxima fue de  $34.1^{\circ}\text{C}$ , la temperatura promedio fue  $29.8 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$ . En el sitio H1, la temperatura mínima fue  $28.2^{\circ}\text{C}$  con máxima de  $33.6^{\circ}\text{C}$  y con promedio de  $30.7 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$ .

En Canal de Navegación (CN), la salinidad del agua presentó una mínima de 3.2 ups y máxima de 34.05 ups, con promedio de  $17.70 \pm 12.68$  ups. En el Gavión, la salinidad presentó una mínima de 3.8 ups y máxima de 7.03 ups, con promedio de  $5.07 \pm 0.80$  ups. En el sitio H1a, la salinidad mínima fue 4.62 ups con máxima de 13.62 ups y promedio de  $8.90 \pm 1.72$  ups. Por último, en el sitio H1, la salinidad mínima fue de 1.83 ups con máxima de 6.99 ups y promedio de  $4.57 \pm 1.02$  ups.

De acuerdo a la estadística básica de la corriente obtenida en el sitio correspondiente al Canal de Comunicación (CC), el comportamiento, en marzo, fue el siguiente:

- En el intervalo N-NNE se presentaron un total de 32 registros de velocidad, lo que representó el 5.13% del total de observaciones. El promedio fue de 4.87 cm/s, con una desviación estándar de 2.31 cm/s.

- En el intervalo NNE-NE se presentaron un total de 19 registros de velocidad, lo que represento el 3.04% del total de observaciones. El promedio fue de 3.68 cm/s, con una desviación estándar de 2.17 cm/s.
- En el intervalo NE-ENE se presentaron un total de 29 registros de velocidad, lo que represento el 4.65% del total de observaciones. El promedio fue de 4.69 cm/s, con una desviación estándar de 2.68 cm/s.
- En el intervalo ENE-E se presentaron un total de 18 registros de velocidad, lo que represento el 2.88% del total de observaciones. El promedio fue de 4.99 cm/s, con una desviación estándar de 3.6 cm/s.
- En el intervalo E-ESE se presentaron un total de 55 registros de velocidad, lo que represento el 8.81% del total de observaciones. El promedio fue de 6.03 cm/s, con una desviación estándar de 3.39 cm/s.
- En el intervalo ESE-SE se presentaron un total de 67 registros de velocidad, lo que represento el 10.74% del total de observaciones. El promedio fue de 10.21 cm/s, con una desviación estándar de 5.12 cm/s.
- En el intervalo SE-SSE se presentaron un total de 38 registros de velocidad, lo que represento el 6.09% del total de observaciones. El promedio fue de 8.41 cm/s, con una desviación estándar de 6.06 cm/s.
- En el intervalo SSE-S se presentaron un total de 28 registros de velocidad, lo que represento el 4.49% del total de observaciones. El promedio fue de 6.58 cm/s, con una desviación estándar de 3.7 cm/s.
- En el intervalo S-SSO se presentaron un total de 27 registros de velocidad, lo que represento el 4.33% del total de observaciones. El promedio fue de 5.1 cm/s, con una desviación estándar de 2.95 cm/s.
- En el intervalo SSO-SO se presentaron un total de 22 registros de velocidad, lo que represento el 3.53% del total de observaciones. El promedio fue de 4.33 cm/s, con una desviación estándar de 2.88 cm/s.

- En el intervalo SO-OSO se presentaron un total de 29 registros de velocidad, lo que representó el 4.65% del total de observaciones. El promedio fue de 4.66 cm/s, con una desviación estándar de 2.01 cm/s.
- En el intervalo OSO-O se presentaron un total de 16 registros de velocidad, lo que representó el 2.56% del total de observaciones. El promedio fue de 5.92 cm/s, con una desviación estándar de 2.67 cm/s.
- En el intervalo O-ONO se presentaron un total de 44 registros de velocidad, lo que representó el 7.05% del total de observaciones. El promedio fue de 6.84 cm/s, con una desviación estándar de 3.73 cm/s.
- En el intervalo ONO-NO se presentaron un total de 69 registros de velocidad, lo que representó el 11.06% del total de observaciones. El promedio fue de 9.86 cm/s, con una desviación estándar de 4.86 cm/s.
- En el intervalo NO-NNO se presentaron un total de 95 registros de velocidad, lo que representó el 15.22% del total de observaciones. El promedio fue de 9.12 cm/s, con una desviación estándar de 5.17 cm/s. La velocidad máxima se presentó en este sector, con una magnitud de 25.65 cm/s.
- En el intervalo NNO-N se presentaron un total de 36 registros de velocidad, lo que representó el 5.77% del total de observaciones. El promedio fue de 7.26 cm/s, con una desviación estándar de 4.31 cm/s.

### **V.9 Nivel del agua, marea, temperatura, salinidad y velocidad de la corriente en abril de 2020.**

En el Canal de Navegación (CN-H4), el nivel de amplitud máxima de marea promedio fue  $13.7 \pm 8.6$  cm y la mínima promedio fue  $-14.8 \pm 9.7$  cm. En este sitio se registró una amplitud máxima y mínima del nivel de agua de 33.3 cm y de -36.4 cm, respectivamente. En el sitio Canal de Comunicación (CC), el nivel de amplitud máxima promedio fue  $19.2 \pm 12.7$  cm y la mínima promedio fue  $-20.3 \pm 13.3$  cm. La amplitud máxima del nivel de agua fue 47.5 cm y la mínima fue -52.4 cm. En el sitio H1a, el nivel

de marea presentó una amplitud máxima promedio de  $3.8 \pm 2.6$  cm y la mínima promedio fue  $-3.8 \pm 2.6$  cm. La máxima amplitud del nivel de agua fue 10.5 cm y la amplitud mínima fue -10.1 cm. En el sitio H1 el nivel de amplitud máxima promedio fue  $3.7 \pm 2.6$  cm y la mínima promedio fue  $-4.5 \pm 3.4$  cm. La máxima amplitud del nivel de agua fue 11.2 cm y la mínima amplitud fue -14.3 cm.

Las principales componentes semidiurnas fueron la  $M_2$  y  $S_2$ . En el caso de las diurnas con mayor contribución fueron la  $O_1$  y  $K_1$  y para aguas someras fueron  $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ . La contribución de las componentes semidiurnas a la amplitud del nivel de marea, en promedio, fue 37.2%. En Canal de Navegación (CN) fue 47.4%, en el Canal de Comunicación (CC) la aportación fue 55.9%, en el sitio H1a fue 23.8% y en el sitio H1 fue 21.7%. En el caso de las componentes diurnas, éstas contribuyeron con el 42.2%, en promedio. En CN las diurnas representaron el 48.5%, en CC contribuyeron con el 39.1%, en H1a fue 39.5% y en el sitio H1a fue 44.7% y en H1a fue 36.7%. Las componentes de aguas someras ( $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ ) la contribución en el CN fue del 3.9%, en CC correspondió el 3.8%, en el sitio H1a fue 30.3% y en H1 fue de 40.3%.

En CN la  $M_2$  presentó una amplitud de 9.2 cm, en CC fue 14.63 cm, en H1a fue 0.5 cm y en el sitio H1 fue 0.6 cm. La  $S_2$  en CN presentó una amplitud de 12.9 cm, en CC fue 21.1 cm, en el sitio H1a fue 1.6 cm y en H1 fue 1.6 cm. En el caso de las diurnas, la  $O_1$  presentó una amplitud en CN de 11.7 cm, en CC fue 12 cm, en H1a fue 1.3 cm y en el sitio H1 fue 1.2 cm. La componente  $K_1$  presentó una amplitud en CN de 11.7 cm, en CC de 12.9 cm, en el sitio H1a fue 2.8 cm y en el sitio H1 fue 2.4 cm.

La contribución de las componentes de agua somera la más importante fue la  $M_{sf}$  en CN con 2.8 cm, en CC fue 1.9 cm, en H1a fue 2.8 cm y en H1 fue 4.1 cm. La contribución de la  $M_4$  fue prácticamente nula al igual que la  $S_4$ .

Respecto a la marea meteorológica se tiene que en CN ésta aportó a la elevación del nivel de agua en promedio  $3.4 \pm 2.5$  cm, con una amplitud máxima de 11.7 cm y mínima -8.9 cm. En el sitio CC el incremento promedio fue  $5.1 \pm 3.5$  cm, con máxima y mínima de 16.5 cm y -17.9 cm, respectivamente. En H1a el aporte fue  $2.2 \pm 1.8$  cm, en

promedio, con amplitud máxima 6.4 cm y mínima -7.6 cm. En el sitio H1 el promedio fue de  $3.5 \pm 2.4$  cm en promedio, con amplitud máxima 8.5 cm y mínima de -10.6 cm.

En el sitio Canal de Navegación (CN), la temperatura del agua presentó una mínima de 20.1°C y máxima de 25.4°C, con promedio de  $23.1 \pm 1$ °C. En el sitio Canal de Comunicación (CC), la temperatura mínima fue 20.2°C y la máxima registrada fue de 24.6°C, con promedio  $22.2 \pm 1.1$ °C. En el sitio H1a, la temperatura mínima fue 24.7°C, la máxima fue 33.7°C, la temperatura promedio fue  $29.4 \pm 1.9$ °C. Por último, en el sitio H1, la temperatura mínima fue 25.9°C con máxima 34.2°C y con promedio  $30.1 \pm 1.8$ °C.

En abril fueron registrados datos de salinidad en Canal de Navegación y H1. No se incluyen resultados de los sitios Gavión y H1a, por las razones expuestas anteriormente. En Canal de Navegación (CN), la salinidad presentó una mínima de 31.8 ups y máxima de 42.2 ups, con promedio de  $34.8 \pm 2.4$  ups. Por último, en el sitio H1, la salinidad mínima fue de 5.5 ups con máxima de 10.4 ups y promedio de  $8.1 \pm 1.1$  ups.

De acuerdo a la estadística básica de la corriente obtenida en el sitio correspondiente al Canal de Comunicación (CC), el comportamiento, en abril, fue el siguiente:

- ✓ En el intervalo N-NNE se presentaron un total de 27 registros de velocidad, lo que representó el 4.33% del total de observaciones. El promedio fue de 5.75 cm/s, con una desviación estándar de 3.18 cm/s.
- ✓ En el intervalo NNE-NE se presentaron un total de 22 registros de velocidad, lo que representó el 3.53% del total de observaciones. El promedio fue de 4.79 cm/s, con una desviación estándar de 3.11 cm/s.
- ✓ En el intervalo NE-ENE se presentaron un total de 22 registros de velocidad, lo que representó el 3.53% del total de observaciones. El promedio fue de 4.61 cm/s, con una desviación estándar de 2.91 cm/s.
- ✓ En el intervalo ENE-E se presentaron un total de 23 registros de velocidad, lo que representó el 3.69% del total de observaciones. El promedio fue de 5.11 cm/s, con una desviación estándar de 2.58 cm/s.

- ✓ En el intervalo E-ESE se presentaron un total de 46 registros de velocidad, lo que representó el 7.37% del total de observaciones. El promedio fue de 7.66 cm/s, con una desviación estándar de 4.36 cm/s.
- ✓ En el intervalo ESE-SE se presentaron un total de 59 registros de velocidad, lo que representó el 9.46% del total de observaciones. El promedio fue de 8.17 cm/s, con una desviación estándar de 4.31 cm/s.
- ✓ En el intervalo SE-SSE se presentaron un total de 42 registros de velocidad, lo que representó el 6.73% del total de observaciones. El promedio fue de 9.84 cm/s, con una desviación estándar de 5.18 cm/s.
- ✓ En el intervalo SSE-S se presentaron un total de 30 registros de velocidad, lo que representó el 4.81% del total de observaciones. El promedio fue de 6.89 cm/s, con una desviación estándar de 3.97 cm/s.
- ✓ En el intervalo S-SSO se presentaron un total de 19 registros de velocidad, lo que representó el 3.04% del total de observaciones. El promedio fue de 4.45 cm/s, con una desviación estándar de 2.14 cm/s.
- ✓ En el intervalo SSO-SO se presentaron un total de 12 registros de velocidad, lo que representó el 1.92% del total de observaciones. El promedio fue de 5.52 cm/s, con una desviación estándar de 2.51 cm/s.
- ✓ En el intervalo SO-OSO se presentaron un total de 16 registros de velocidad, lo que representó el 2.56% del total de observaciones. El promedio fue de 4.84 cm/s, con una desviación estándar de 2.62 cm/s.
- ✓ En el intervalo OSO-O se presentaron un total de 28 registros de velocidad, lo que representó el 4.49% del total de observaciones. El promedio fue de 4.95 cm/s, con una desviación estándar de 3.1 cm/s.
- ✓ En el intervalo O-ONO se presentaron un total de 46 registros de velocidad, lo que representó el 7.37% del total de observaciones. El promedio fue de 7.18 cm/s, con una desviación estándar de 3.52 cm/s.

- ✓ En el intervalo ONO-NO se presentaron un total de 92 registros de velocidad, lo que representó el 14.74% del total de observaciones. El promedio fue de 10.53 cm/s, con una desviación estándar de 6.16 cm/s.
- ✓ En el intervalo NO-NNO se presentaron un total de 91 registros de velocidad, lo que representó el 14.58% del total de observaciones. El promedio fue de 9.97 cm/s, con una desviación estándar de 5.35 cm/s. La velocidad máxima se presentó en este sector, con una magnitud de 30.49 cm/s.
- ✓ En el intervalo NNO-N se presentaron un total de 49 registros de velocidad, lo que representó el 7.85% del total de observaciones. El promedio fue de 7.42 cm/s, con una desviación estándar de 4.29 cm/s.

Con los datos del ADP y un levantamiento topográfico de la sección donde se encuentra el Gavión, se estimó un cálculo del gasto que pasa por esta sección.

Se estimó el gasto horario correspondientes del 1 al 27 de abril de 2020. El gasto neto que cruzó por esta sección fue de  $1.10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , lo que indicó que existió un flujo neto hacia el Norte, sin embargo, se debe tener en cuenta que el cálculo se realizó con mediciones tomadas en un solo punto y con datos obtenidos de manera horaria. Un sistema en balance se identifica con un gasto neto igual a cero.

#### **V.10 Nivel del agua, marea, temperatura, salinidad y velocidad de la corriente en mayo de 2020.**

En el Canal de Navegación (CN-H4), el nivel de amplitud de marea máxima promedio fue  $13.1 \pm 9.1 \text{ cm}$  y la mínima promedio fue  $-15.1 \pm 10.8 \text{ cm}$ . En este sitio se registró una amplitud máxima y mínima del nivel de agua de 35.10 cm y -44.2 cm, respectivamente. En el sitio Canal de Comunicación (CC), respecto a la marea, el nivel de amplitud máxima promedio fue  $16.8 \pm 11.4 \text{ cm}$  y la mínima promedio fue  $-18.5 \pm 13.9$

cm. La amplitud máxima del nivel de agua fue 47.8 cm y la mínima fue -64.4 cm. En el sitio H1a, el nivel de marea presentó una amplitud máxima promedio de  $3.6 \pm 2.8$  cm y la mínima promedio fue  $-4.1 \pm 3.3$  cm. La máxima amplitud del nivel de agua fue 11.5 cm y la amplitud mínima fue -13.5 cm. En el sitio H1 el nivel de amplitud máxima promedio fue  $7.5 \pm 5.7$  cm y la mínima promedio fue  $-4.4 \pm 3.1$  cm. La máxima amplitud del nivel de agua fue 18.3 cm y la mínima amplitud fue -13.9 cm.

Las principales componentes semidiurnas fueron la  $M_2$  y  $S_2$ . En el caso de las diurnas con mayor contribución fueron la  $O_1$  y  $K_1$  y para aguas someras fueron  $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ . La contribución de las semidiurnas a la amplitud del nivel de marea, en promedio, fue 32.6%. En Canal de Navegación (CN) fue 42.7%, en el Canal de Comunicación (CC) la aportación fue 49.4%, en H1a fue 19.8% y en H1 fue 18.3%. En el caso de las diurnas, éstas contribuyeron con el 32.6%, en promedio. En CN las diurnas representaron el 54.8%, en CC contribuyeron con el 46.4%, en H1a fue 39.7% y en el sitio H1 fue del 34.3%. Las componentes de aguas someras ( $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ ) la contribución en el CN fue del 2.2%, en CC correspondió el 3.2%, en el sitio H1a fue 39.1% y en H1 fue de 46.1%.

Con relación a las amplitudes de las componentes semidiurnas de marea, en CN la  $M_2$  presentó una amplitud de 9.7 cm, en CC fue 13.9 cm, en H1a fue 0.5 cm y en H1 fue 0.5 cm. La  $S_2$  en CN presentó una amplitud de 10.3 cm, en CC fue de 15.9 cm, en H1a fue de 1.4 cm y en H1 fue 1.4 cm. En el caso de la diurna  $O_1$  presentó una amplitud en CN de 10.7 cm, en CC fue 12.1 cm, en H1a fue 1.0 cm y en el sitio H1 fue 1.0 cm.

La componente  $K_1$  presentó una amplitud en CN de 12.1 cm, en CC de 15.9 cm, en el sitio H1a fue 2.9 cm y en el sitio H1 fue 2.6 cm.

La contribución de las componentes de agua somera la más importante fue la  $M_{sf}$  en CN con 1.0 cm, en CC fue 1.3 cm, en el sitio H1a fue 3.8 cm y en el sitio H1 fue 2.7 cm. La contribución de la  $M_4$  fue prácticamente nula al igual que la  $S_4$ , así como, las demás componentes de agua somera presentaron una amplitud menor a 0.1 cm.

Respecto a la marea meteorológica se tiene que en CN ésta aportó a la elevación del nivel de agua en promedio  $2.7 \pm 1.7$  cm, con una amplitud máxima de 8.7 cm y mínima de -12.2 cm. En el sitio CC el incremento promedio fue de  $3.5 \pm 2.7$  cm, con máxima y mínima de 13.2 cm y -12.9 cm, respectivamente. En H1a el aporte fue de  $3.2 \pm 2$  cm, en promedio, con amplitud máxima de 7.0 cm y mínima de -9.9 cm. En H1 el promedio fue  $8.3 \pm 5.6$  cm en promedio, con amplitud máxima de 14.7 cm y mínima de -11.2 cm.

En el sitio Canal de Navegación (CN), la temperatura del agua presentó una mínima de  $20.8^{\circ}\text{C}$  y máxima de  $24.8^{\circ}\text{C}$ , con promedio  $22.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ . En el sitio Canal de Comunicación (CC), la temperatura mínima fue  $20.1^{\circ}\text{C}$  y la máxima registrada fue de  $23.1^{\circ}\text{C}$ , con promedio de  $21.8 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . En el sitio H1a, la temperatura mínima fue  $26.3^{\circ}\text{C}$ , la máxima fue  $34.9^{\circ}\text{C}$ , la temperatura promedio fue  $31.2 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ . Por último, en el sitio H1, la temperatura mínima fue de  $26.3^{\circ}\text{C}$  con máxima de  $35.7^{\circ}\text{C}$  y con promedio de  $31.7 \pm 1.9^{\circ}\text{C}$ .

En el sitio Canal de Comunicación (CC), la salinidad presentó una mínima de 4.9 ups y máxima de 9.8 ups, con promedio de  $7.6 \pm 1.4$  ups. Por último, en el sitio H1a, la salinidad mínima fue 7.5 ups con máxima 18.6 ups y promedio de  $12.5 \pm 2.2$  ups. Por último, en el sitio H1, la salinidad mínima fue de 4.4 ups con máxima de 1.2 ups y promedio de  $3.1 \pm 0.5$  ups.

De acuerdo a la estadística básica de la corriente obtenida en el sitio correspondiente al Canal de Comunicación (**CC**), el comportamiento, en mayo, fue el siguiente:

- ❖ En el intervalo N-NNE se presentaron un total de 26 registros de velocidad, lo que representó el 4.01% del total de observaciones. El promedio fue de 6.6 cm/s, con una desviación estándar de 3.73 cm/s.
- ❖ En el intervalo NNE-NE se presentaron un total de 19 registros de velocidad, lo que representó el 2.93% del total de observaciones. El promedio fue de 4.56 cm/s, con una desviación estándar de 2.97 cm/s.

- ❖ En el intervalo NE-ENE se presentaron un total de 12 registros de velocidad, lo que representó el 1.85% del total de observaciones. El promedio fue de 5.4 cm/s, con una desviación estándar de 2.38 cm/s.
- ❖ En el intervalo ENE-E se presentaron un total de 29 registros de velocidad, lo que representó el 4.48% del total de observaciones. El promedio fue de 5.06 cm/s, con una desviación estándar de 2.7 cm/s.
- ❖ En el intervalo E-ESE se presentaron un total de 57 registros de velocidad, lo que representó el 8.8% del total de observaciones. El promedio fue de 5.06 cm/s, con una desviación estándar de 3.49 cm/s.
- ❖ En el intervalo ESE-SE se presentaron un total de 66 registros de velocidad, lo que representó el 10.19% del total de observaciones. El promedio fue de 10.56 cm/s, con una desviación estándar de 5.77 cm/s.
- ❖ En el intervalo SE-SSE se presentaron un total de 43 registros de velocidad, lo que representó el 6.64% del total de observaciones. El promedio fue de 9.64 cm/s, con una desviación estándar de 5.93 cm/s.
- ❖ En el intervalo SSE-S se presentaron un total de 29 registros de velocidad, lo que representó el 4.48% del total de observaciones. El promedio fue de 6.88 cm/s, con una desviación estándar de 3.63 cm/s.
- ❖ En el intervalo S-SSO se presentaron un total de 17 registros de velocidad, lo que representó el 2.62% del total de observaciones. El promedio fue de 5.12 cm/s, con una desviación estándar de 3.74 cm/s.
- ❖ En el intervalo SSO-SO se presentaron un total de 27 registros de velocidad, lo que representó el 4.17% del total de observaciones. El promedio fue de 3.82 cm/s, con una desviación estándar de 2.19 cm/s.
- ❖ En el intervalo SO-OSO se presentaron un total de 15 registros de velocidad, lo que representó el 2.31% del total de observaciones. El promedio fue de 4.25 cm/s, con una desviación estándar de 2.15 cm/s.

- ❖ En el intervalo OSO-O se presentaron un total de 29 registros de velocidad, lo que representó el 4.48% del total de observaciones. El promedio fue de 5.55 cm/s, con una desviación estándar de 2.66 cm/s.
- ❖ En el intervalo O-ONO se presentaron un total de 54 registros de velocidad, lo que representó el 8.33% del total de observaciones. El promedio fue de 7.33 cm/s, con una desviación estándar de 4.11 cm/s.
- ❖ En el intervalo ONO-NO se presentaron un total de 84 registros de velocidad, lo que representó el 12.96% del total de observaciones. El promedio fue de 10.42 cm/s, con una desviación estándar de 4.77 cm/s.
- ❖ En el intervalo NO-NNO se presentaron un total de 91 registros de velocidad, lo que representó el 14.04% del total de observaciones. El promedio fue de 10.96 cm/s, con una desviación estándar de 6.36 cm/s. La velocidad máxima se presentó en este sector, con una magnitud de 38.46 cm/s.
- ❖ En el intervalo NNO-N se presentaron un total de 50 registros de velocidad, lo que representó el 7.72% del total de observaciones. El promedio fue de 6.82 cm/s, con una desviación estándar de 3.82 cm/s.

Con los datos del ADP y un levantamiento topográfico de la sección donde se encuentra el Gavión, se estimó un cálculo del gasto que pasa por esta sección. Se estimó el gasto horario correspondientes del 1 al 28 de mayo de 2020. El gasto neto que cruzó por esta sección fue  $1.01 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , lo que indicó que existió un flujo neto hacia el Norte, sin embargo, se debe tener en cuenta que el cálculo se realizó con mediciones tomadas en un solo punto y con datos obtenidos de manera horaria. Un sistema en balance se identifica con un gasto neto igual a cero.

### **V.11 Nivel del agua, marea, temperatura, salinidad y velocidad de la corriente en junio de 2020.**

En el Canal de Navegación (CN-H4), el nivel de marea de amplitud máxima promedio fue  $12.9 \pm 8.6$  cm y la mínima promedio fue  $-16.8 \pm 13.1$  cm. En este sitio se registró una amplitud máxima y mínima del nivel de agua de 36.10 cm y -52.1 cm, respectivamente. En el sitio Canal de Comunicación (CC), respecto a la marea, el nivel de amplitud máxima promedio fue  $15.5 \pm 10.9$  cm y la mínima promedio fue  $-20.2 \pm 15.7$  cm. La amplitud máxima del nivel de agua fue 47.6 cm y la mínima fue -65.9 cm. En el sitio H1a, el nivel de marea presentó una amplitud máxima promedio de  $6.6 \pm 4.1$  cm y la mínima promedio fue  $-5.6 \pm 3.4$  cm. La máxima amplitud del nivel de agua fue 17.2 cm y la amplitud mínima fue -13.6 cm. En el sitio H1 el nivel de amplitud máxima promedio fue  $5.7 \pm 3.9$  cm y la mínima promedio fue  $-4.5 \pm 2.8$  cm. La máxima amplitud del nivel de agua fue 16.4 cm y la mínima amplitud fue -12.9 cm.

Las principales componentes semidiurnas correspondieron a la  $M_2$  y  $S_2$ . En el caso de las diurnas con mayor contribución fueron la  $O_1$  y  $K_1$  y para aguas someras fueron  $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ . La contribución de las componentes semidiurnas ( $M_2$  y  $S_2$ ) a la amplitud del nivel de marea, en promedio, fue 29.6%. En Canal de Navegación (CN) fue de 34.4%, en el Canal de Comunicación (CC) la aportación fue del 42%, en el sitio H1a fue 21.5% y en el sitio H1 fue de 20.7%. En el caso de las componentes diurnas ( $O_1$  y  $K_1$ ), éstas contribuyeron con el 49.8%, en promedio, a la amplitud de marea en LVG. En CN las diurnas representaron el 59.7%, en CC contribuyeron con el 52.3%, en H1a fue 44.4% y en el sitio H1 fue del 43%. Las componentes de aguas someras ( $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{sf}$  y  $SK_3$ ) la contribución fue más significativa en los sitios H1a y H1.

Con relación a las amplitudes de las componentes semidiurnas de marea, en CN la  $M_2$  presentó una amplitud de 9.2 cm, en CC fue 13.7 cm, en H1a fue 0.7 cm y en el sitio H1 fue 0.6 cm. La componente  $S_2$  en CN presentó una amplitud de 7.3 cm, en CC fue de 11.1 cm, en el sitio H1a fue de 1.1 cm y en el sitio H1 fue 1.1 cm.

En el caso de la diurna  $O_1$  presentó una amplitud en CN de 10.9 cm, en CC fue 11.8 cm, en H1a fue 1.1 cm y en H1 fue 1.1 cm. La componente  $K_1$  presentó una amplitud en CN de 17.7 cm, en CC de 19.1 cm, en H1a fue 2.6 cm y en el sitio H1 fue 2.5 cm.

La contribución de las componentes de agua somera la más importante fue la  $M_{sf}$  en CN con 2.6 cm, en CC fue 2.5 cm, en el sitio H1a fue 2.6 cm y en el sitio H1 fue 2.8 cm. La contribución de la  $M_4$  fue prácticamente nula al igual que la  $S_4$ , así como, las demás componentes de agua somera presentaron una amplitud menor a 0.1 cm.

Respecto a la marea meteorológica. en CN ésta aportó a la elevación del nivel de agua en promedio  $3.6 \pm 2.7$  cm, con una amplitud máxima de 13.5 cm y mínima de -14.2 cm. En el sitio CC el incremento promedio fue de  $4.9 \pm 3.7$  cm, con máxima y mínima de 16.3 cm y -18.1 cm, respectivamente. En H1a el aporte, en promedio fue de  $6.9 \pm 3.3$  cm, con amplitud máxima de 14.1 cm y mínima de -13.1 cm. En H1 el promedio fue  $5.8 \pm 3.4$  cm en promedio, con amplitud máxima de 13.4 cm y mínima de -12.2 cm.

En el sitio Canal de Navegación (CN), la temperatura del agua presentó una mínima de 19.5 °C y máxima de 28.3°C, con promedio de  $24.4 \pm 2.6$ °C. En el sitio Canal de Comunicación (CC), la temperatura mínima fue de 19.2°C y la máxima registrada fue de 26.6°C, con promedio de  $23.1 \pm 2.3$ °C. En el sitio H1a, la temperatura mínima fue 29.3°C, la máxima fue de 36.2°C, la temperatura promedio fue de  $33.2 \pm 1.3$ °C. Por último, en el sitio H1, la temperatura mínima fue de 27.5°C con máxima de 37.2°C y con promedio de  $32.8 \pm 2.1$ °C.

En el caso de Canal de Navegación (CN) la salinidad del agua máxima fue de 34.2 ups, con oscilaciones entre 33 ups y 34 ups. En el Canal de Comunicación (CC), la salinidad presentó una máxima de 8.7 ups y mínima de 3.7 ups, con promedio de  $5.5 \pm 0.9$  ups. Por último, en el sitio H1a, la salinidad máxima fue de 30.1 ups con mínima de 4.9 ups y promedio de  $16.7 \pm 4.2$  ups. Por último, en el sitio H1, la salinidad máxima fue de 30.1 ups con mínima de 4.9 ups y promedio de  $16.7 \pm 4.2$  ups. El comportamiento fue muy similar al sitio H1a

De acuerdo a la estadística básica de la corriente obtenida en el sitio correspondiente al Canal de Comunicación **(CC)**, el comportamiento, en junio, fue el siguiente:

- ✓ En el intervalo N-NNE se presentaron un total de 22 registros de velocidad, lo que represento el 3.67% del total de observaciones. El promedio fue de 6.11 cm/s, con una desviación estándar de 3.7 cm/s.
- ✓ En el intervalo NNE-NE se presentaron un total de 19 registros de velocidad, lo que represento el 3.17% del total de observaciones. El promedio fue de 5.5 cm/s, con una desviación estándar de 2.52 cm/s.
- ✓ En el intervalo NE-ENE se presentaron un total de 22 registros de velocidad, lo que represento el 3.67% del total de observaciones. El promedio fue de 5.16 cm/s, con una desviación estándar de 2.2 cm/s.
- ✓ En el intervalo ENE-E se presentaron un total de 18 registros de velocidad, lo que represento el 3% del total de observaciones. El promedio fue de 6.15 cm/s, con una desviación estándar de 3.29 cm/s.
- ✓ En el intervalo E-ESE se presentaron un total de 42 registros de velocidad, lo que represento el 7% del total de observaciones. El promedio fue de 7.21 cm/s, con una desviación estándar de 3.98 cm/s.
- ✓ En el intervalo ESE-SE se presentaron un total de 61 registros de velocidad, lo que represento el 10.17% del total de observaciones. El promedio fue de 8.22 cm/s, con una desviación estándar de 4.5 cm/s.
- ✓ En el intervalo SE-SSE se presentaron un total de 52 registros de velocidad, lo que represento el 8.67% del total de observaciones. El promedio fue de 9.2 cm/s, con una desviación estándar de 4.93 cm/s.
- ✓ En el intervalo SSE-S se presentaron un total de 27 registros de velocidad, lo que represento el 4.5% del total de observaciones. El promedio fue de 6.91 cm/s, con una desviación estándar de 3.21 cm/s.

- ✓ En el intervalo S-SSO se presentaron un total de 18 registros de velocidad, lo que represento el 3% del total de observaciones. El promedio fue de 6.16 cm/s, con una desviación estándar de 3.27 cm/s.
- ✓ En el intervalo SSO-SO se presentaron un total de 19 registros de velocidad, lo que represento el 3.17% del total de observaciones. El promedio fue de 4.22 cm/s, con una desviación estándar de 2.82 cm/s.
- ✓ En el intervalo SO-OSO se presentaron un total de 13 registros de velocidad, lo que represento el 2.17% del total de observaciones. El promedio fue de 3.51 cm/s, con una desviación estándar de 1.62 cm/s.
- ✓ En el intervalo OSO-O se presentaron un total de 20 registros de velocidad, lo que represento el 3.33% del total de observaciones. El promedio fue de 5.66 cm/s, con una desviación estándar de 3.82 cm/s.
- ✓ En el intervalo O-ONO se presentaron un total de 38 registros de velocidad, lo que represento el 6.33% del total de observaciones. El promedio fue de 7.33 cm/s, con una desviación estándar de 4.32 cm/s.
- ✓ En el intervalo ONO-NO se presentaron un total de 83 registros de velocidad, lo que represento el 13.83% del total de observaciones. El promedio fue de 10.17 cm/s, con una desviación estándar de 6.23 cm/s. La velocidad máxima se presentó en este sector, con una magnitud de 34.52 cm/s.
- ✓ En el intervalo NO-NNO se presentaron un total de 94 registros de velocidad, lo que represento el 15.67% del total de observaciones. El promedio fue de 10 cm/s, con una desviación estándar de 5.36 cm/s.
- ✓ En el intervalo NNO-N se presentaron un total de 52 registros de velocidad, lo que represento el 8.67% del total de observaciones. El promedio fue de 7.23 cm/s, con una desviación estándar de 3.7 cm/s.

Con los datos del ADP y un levantamiento topográfico de la sección donde se encuentra el gavión, se estimó un cálculo del gasto que pasa por esta sección. Se

estimó el gasto horario correspondientes del 1 al 26 de junio de 2020. El gasto neto que cruzó por esta sección fue de  $1.06 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , lo que indicó que existió un flujo neto hacia el Norte, sin embargo, se debe tener en cuenta que el cálculo se realizó con mediciones tomadas en un solo punto y con datos obtenidos de manera horaria. Un sistema en balance se identifica con un gasto neto igual a cero.

### **V.12 Nivel del agua en julio de 2020.**

En el Canal de Navegación (CN-H4), el nivel de amplitud de marea máxima promedio fue  $12.7 \pm 7.9 \text{ cm}$  y la mínima promedio fue  $-20.2 \pm 14.2 \text{ cm}$ . En este sitio se registró una amplitud máxima y mínima del nivel de agua de  $34.40 \text{ cm}$  y  $-49.30 \text{ cm}$ , respectivamente. En el sitio Canal de Comunicación (CC), el nivel de amplitud máxima promedio fue  $14.7 \pm 10.1 \text{ cm}$  y la mínima promedio fue  $-22.5 \pm 17.3 \text{ cm}$ . La amplitud máxima del nivel de agua fue de  $45.1 \text{ cm}$  y la mínima fue  $-58.8 \text{ cm}$ . En el sitio H1a, el nivel de marea presentó una amplitud máxima promedio  $4.9 \pm 3.5 \text{ cm}$  y la mínima promedio fue de  $-5.1 \pm 3.1 \text{ cm}$ . La máxima amplitud del nivel de agua fue  $16.1 \text{ cm}$  y la amplitud mínima fue  $-12.8 \text{ cm}$ . En el sitio H1 el nivel de amplitud máxima promedio fue  $6.3 \pm 4.4 \text{ cm}$  y la mínima promedio fue  $-6.5 \pm 4.2 \text{ cm}$ . La máxima amplitud del nivel de agua fue  $17.3 \text{ cm}$  y la mínima amplitud fue  $-14.5 \text{ cm}$ .

Las principales componentes semidiurnas fueron la  $M_2$  y  $S_2$  y las diurnas fueron la  $O_1$  y  $K_1$  y para aguas someras fueron  $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_{S1}$  y  $SK_3$ . La contribución de las componentes semidiurnas a la amplitud del nivel de marea, en promedio, fue 26.7%. En Canal de Navegación (CN) fue de 35.4%, en el Canal de Comunicación (CC) la aportación fue del 43.1%, en el sitio H1a fue 14.6% y en el sitio H1 fue de 14%.

En el caso de las componentes diurnas, éstas contribuyeron con el 43.1%, en promedio, a la amplitud de marea en LVG. En CN las diurnas representaron el 58.9%, en CC contribuyeron con el 50.3%, en H1a fue 32.3% y en el sitio H1 fue del 30.6%.

Las componentes de aguas someras tienen la contribución siguiente: En CN es 5.4%, en CC corresponde a 5.5%, en el sitio H1a es 52.3 y en H1 el 54.6%.

Con relación a las amplitudes de las componentes semidiurnas de marea, en CN la  $M_2$  presentó una amplitud de 9.7 cm, en CC fue 13.9 cm, en H1a fue 0.7 cm y en el sitio H1 fue 0.7 cm. La componente  $S_2$  en CN presentó una amplitud de 7.6 cm, en CC fue de 11.5 cm, en el sitio H1a fue de 0.9 cm y en el sitio H1 fue 0.9 cm.

En el caso de las componentes diurnas, la  $O_1$  presentó una amplitud en CN de 11 cm, en CC fue 11 cm, en H1a fue 1.3 cm y en el sitio H1 fue 1.5 cm. La componente  $K_1$  presentó una amplitud en CN de 17.8 cm, en CC de 18.6 cm, en el sitio H1a fue 2.3 cm y en el sitio H1 fue 1.9 cm. La contribución de las componentes de agua somera la más importante fue la  $M_{sf}$  en CN con 2.6 cm, en CC fue 2.7 cm, en el sitio H1a fue 5.8 cm y en el sitio H1 fue 6.1 cm. La contribución de la  $M_4$  fue prácticamente nula al igual que la  $S_4$ , así como, las demás componentes de agua somera presentaron una amplitud menor a 0.1 cm.

Respecto a la marea meteorológica en CN ésta aportó a la elevación del nivel de agua en promedio  $4.1 \pm 4.2$  cm, con una amplitud máxima 19.9 cm y mínima -9.4 cm. En el sitio CC el incremento promedio fue de  $5.2 \pm 3.9$  cm, con máxima y mínima de 20.1 cm y -19.3 cm, respectivamente. En H1a el aporte, en promedio fue  $4.1 \pm 2.9$  cm, con amplitud máxima de 15.20 cm y mínima -12.30 cm. En H1 el promedio fue  $6.7 \pm 3.90$  cm en promedio, con amplitud máxima 16.1 cm y mínima -14 cm.

En Canal de Navegación (CN), la temperatura del agua presentó una mínima de 28.9 °C y máxima de 30.4°C, con promedio de  $29.7 \pm 0.3$ °C. En Canal de Comunicación (CC), la temperatura mínima fue de 27.9°C y la máxima registrada fue de 30.1°C, con promedio de  $29.3 \pm 0.5$ °C. En H1a, la temperatura mínima fue 23.1°C, la máxima fue de 35.9°C, la temperatura promedio fue  $32.6 \pm 1.5$ °C. Por último, en el sitio H1, la temperatura mínima fue 27.6°, máxima de 36.1°C y con promedio de  $31.9 \pm 1.4$ °C.

En el caso de Canal de Navegación (CN) la salinidad del agua máxima fue de 35.5 ups y la mínima fue 34.1 ups, con oscilaciones entre  $34.9 \pm 0.2$  ups. En el sitio Canal de

Comunicación (CC), la salinidad presentó una máxima de 19.6 ups y mínima de 15.7 ups, con promedio de  $17.6 \pm 0.8$  ups. En el sitio H1a, la salinidad máxima fue de 10.8 ups con mínima de 1.4 ups y promedio de  $7.5 \pm 2.6$  ups. Por último, en el sitio H1, la salinidad máxima fue de 16.4 ups con mínima de 2.7 ups y promedio de  $10.1 \pm 3.6$  ups. El comportamiento fue muy similar al sitio H1a.

De acuerdo a la estadística básica de la corriente obtenida en el sitio correspondiente al Canal de Comunicación (**CC**), el comportamiento, en julio, fue el siguiente:

- ❖ En el intervalo N-NNE se presentaron un total de 18 registros de velocidad, lo que representó el 3.26% del total de observaciones. El promedio fue de 4.72 cm/s, con una desviación estándar de 2.35 cm/s.
- ❖ En el intervalo NNE-NE se presentaron un total de 15 registros de velocidad, lo que representó el 2.72% del total de observaciones. El promedio fue de 5.51 cm/s, con una desviación estándar de 2.57 cm/s.
- ❖ En el intervalo NE-ENE se presentaron un total de 20 registros de velocidad, lo que representó el 3.62% del total de observaciones. El promedio fue de 4.63 cm/s, con una desviación estándar de 2.8 cm/s.
- ❖ En el intervalo ENE-E se presentaron un total de 26 registros de velocidad, lo que representó el 4.71% del total de observaciones. El promedio fue de 4.49 cm/s, con una desviación estándar de 2.68 cm/s.
- ❖ En el intervalo E-ESE se presentaron un total de 32 registros de velocidad, lo que representó el 5.8% del total de observaciones. El promedio fue de 5.48 cm/s, con una desviación estándar de 3.03 cm/s.
- ❖ En el intervalo ESE-SE se presentaron un total de 67 registros de velocidad, lo que representó el 12.14% del total de observaciones. El promedio fue de 9.68 cm/s, con una desviación estándar de 5.73 cm/s.

- ❖ En el intervalo SE-SSE se presentaron un total de 56 registros de velocidad, lo que representó el 10.14% del total de observaciones. El promedio fue de 11.01 cm/s, con una desviación estándar de 5.51 cm/s.
- ❖ En el intervalo SSE-S se presentaron un total de 31 registros de velocidad, lo que representó el 5.62% del total de observaciones. El promedio fue de 8.26 cm/s, con una desviación estándar de 4.21 cm/s.
- ❖ En el intervalo S-SSO se presentaron un total de 16 registros de velocidad, lo que representó el 2.9% del total de observaciones. El promedio fue de 4.69 cm/s, con una desviación estándar de 2.46 cm/s.
- ❖ En el intervalo SSO-SO se presentaron un total de 14 registros de velocidad, lo que representó el 2.54% del total de observaciones. El promedio fue de 5.23 cm/s, con una desviación estándar de 2.4 cm/s.
- ❖ En el intervalo SO-OSO se presentaron un total de 14 registros de velocidad, lo que representó el 2.54% del total de observaciones. El promedio fue de 4.39 cm/s, con una desviación estándar de 1.73 cm/s.
- ❖ En el intervalo OSO-O se presentaron un total de 19 registros de velocidad, lo que representó el 3.44% del total de observaciones. El promedio fue de 5.07 cm/s, con una desviación estándar de 2.07 cm/s.
- ❖ En el intervalo O-ONO se presentaron un total de 43 registros de velocidad, lo que representó el 7.79% del total de observaciones. El promedio fue de 8.6 cm/s, con una desviación estándar de 3.87 cm/s.
- ❖ En el intervalo ONO-NO se presentaron un total de 80 registros de velocidad, lo que representó el 14.49% del total de observaciones. El promedio fue de 10.94 cm/s, con una desviación estándar de 5.63 cm/s. La velocidad máxima se presentó en este sector, con una magnitud de 34.66 cm/s.
- ❖ En el intervalo NO-NNO se presentaron un total de 66 registros de velocidad, lo que representó el 11.96% del total de observaciones. El promedio fue de 10.86 cm/s, con una desviación estándar de 6.75 cm/s.

- ❖ En el intervalo NNO-N se presentaron un total de 35 registros de velocidad, lo que representó el 6.34% del total de observaciones. El promedio fue de 7.87 cm/s, con una desviación estándar de 4.8 cm/s.

Con los datos del ADP y un levantamiento topográfico de la sección donde se encuentra el gavión, se estimó un cálculo del gasto que pasa por esta sección.

Se estimó el gasto horario correspondientes del 1 al 24 de julio de 2020. El gasto neto que cruzó por esta sección fue de  $0.46 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , lo que indicó que existió un flujo neto hacia el Norte, sin embargo, se debe tener en cuenta que el cálculo se realizó con mediciones tomadas en un solo punto y con datos obtenidos de manera horaria. Un sistema en balance se identifica con un gasto neto igual a cero.

## **VI. Modelación hidrodinámica numérica de la Laguna del Valle de las Garzas.**

### **VI.1 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en agosto de 2019.**

En agosto se estuvo trabajando en la aplicación del modelo numérico **Delft3D**, el cual primero se quiere probar y validar, de tal manera que simule la hidrodinámica característica del cuerpo de agua que facilitará conocer la circulación en la laguna y que además exponga el transporte de sedimentos que esta conlleva, con el fin de apoyar a identificar zonas de erosión y acumulación de sedimentos. Los resultados que un modelo puede brindar mejorarán la habilidad de predecir los futuros cambios de este sistema y con esto la posibilidad de determinar estrategias para mejorar el manejo de la Laguna del Valle de las Garzas (**LVG**).

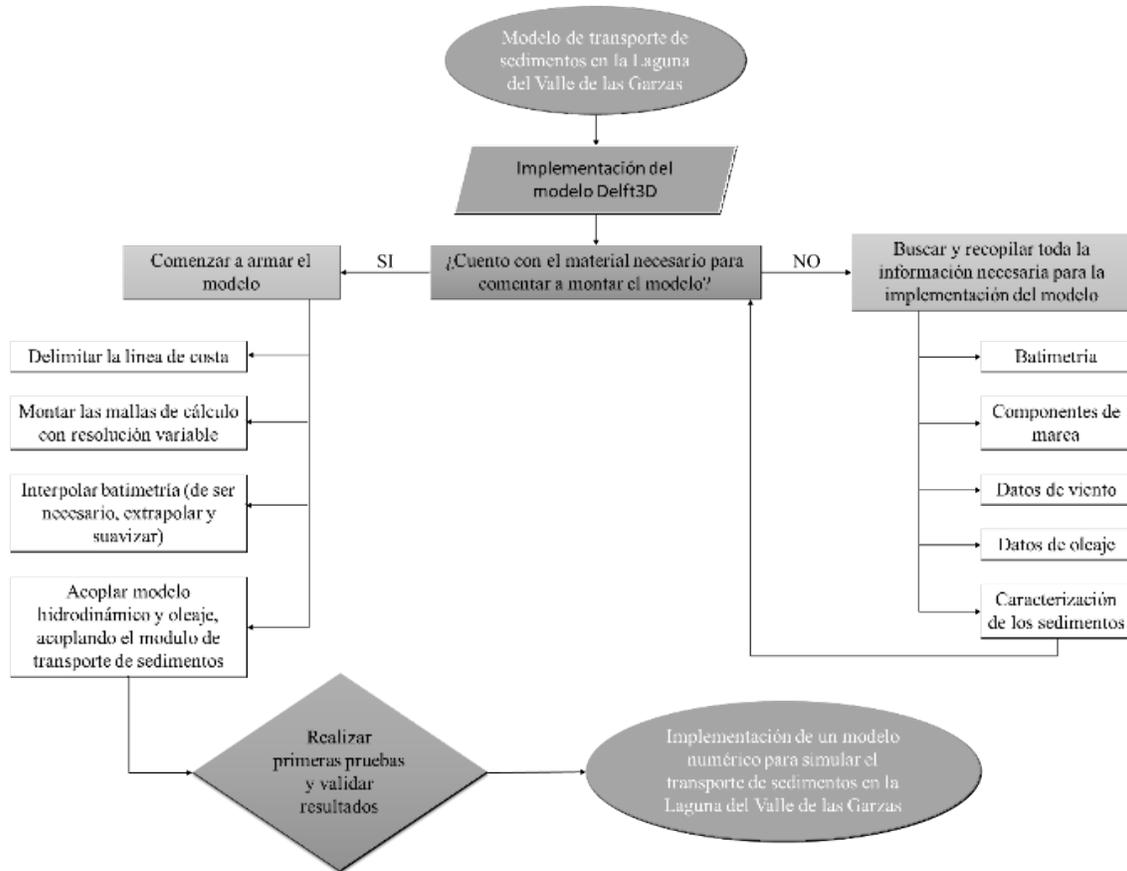
El software Delft3D es una plataforma compuesta por una serie de módulos que permiten la modelación de la hidrodinámica, la propagación del oleaje, el transporte de sedimentos, el transporte de objetos en deriva, el cambio de partículas no conservativas, la calidad de agua, entre otros procesos presentes en costas, estuarios, deltas y lagunas costeras; asimismo, el software permite acoplar distintos módulos de acuerdo con las necesidades que requiera el proyecto.

Para este trabajo se aplicaron los modelos **Delft-FLOW** y **Delft-WAVE**, los cuales están basados en la resolución de la ecuación de continuidad, de presión hidrostática y de Navier-Stokes. Dentro del modelo hidrodinámico es posible activar el módulo de transporte de sedimentos, el cual calcula el movimiento horizontal de las partículas en base a la ecuación de advección y difusión. Las formulaciones matemáticas se describen en detalle en el User Guide del software **Delft3D** (disponible en su sitio web). Para la implementación del software Delft3D en el transporte de sedimentos de la Laguna del Valle de las Garzas, es necesario contar con la batimetría actual de la zona, en diferentes épocas del año (lluvia y estiaje), así como datos de viento y marea (medida *in situ*). De la misma forma, es indispensable validar la información sobre el tamaño y densidad de los sedimentos característicos del cuerpo de agua, así como establecer zonas de erosión y acreción. Además, de determinar las condiciones iniciales y de frontera. La **Tabla 39**, indica una lista de variables requeridas para la implementación del modelo.

**Tabla 39. Lista de las variables requeridas para la implementación del modelo.**

Variable requerida	Detalles
Batimetría	Datos sobre la profundidad actual en determinados puntos geográficos.
Viento	Base con datos históricos del viento característico en la región (o de los últimos meses o años).
Marea	Serie de tiempo de la variación del nivel del agua medida <i>in situ</i> .
Caracterización del material sedimentario	Información validada por medio de muestreos en campo sobre los tamaños de grano, tipo de sedimento característico, densidad y abundancia relativa de cada tipo de sedimento.

Para hacer que el modelo simule el transporte de sedimentos en la LVG sobrelleva una serie de pasos a seguir, los cuales se exponen en el siguiente diagrama de flujo (**Figura 127**). Para poder realizar el modelo es necesario contar con todo el material anteriormente mencionando.



**Figura 127. Diagrama de flujo sobre la implementación del modelo para el estudio de la hidrodinámica y el transporte de sedimentos.**

En este mes, se digitalizo una serie de líneas de costa por medio de Google Earth; la primera de ellas comprende la Bahía de Manzanillo y el Puerto Interior, la segunda los límites de la Laguna del Valle de las Garzas y el resto se basan en los diferentes islotes de mangle encontrados dentro del cuerpo de agua (**Figura 128**).

Asimismo, se digitalizo la batimetría de la Bahía de Manzanillo, Colima, expuesta en la Carta Náutica No. 511.2 de la Secretaría de Marina (**SEMAR**) por medio del software Surfer 10, la cual será fundamental para la implementación del modelo. Sin embargo, es necesario resaltar que esta Carta Náutica, carece de datos batimétricos de la Laguna del Valle de las Garzas (**LVG**).



**Figura 128. Líneas de costa de la Laguna del Valle de las Garzas trazadas en blanco.**

La digitalización de la Bahía de Manzanillo, es una malla que comprende una resolución de 50x50 m y mantiene una rotación de 70° con respecto al N (**Figura 129a**).

No obstante, debido a la complejidad que conlleva incorporar cada una de éstas al modelo con la mayor precisión posible, se comenzó a trabajar en la malla del dominio e interpolación de la batimetría excluyendo esta zona (**Figura 129b**).

Se pretende que una vez definida la línea de costa de los límites de todo el dominio (Laguna del Valle de las Garzas, su conexión con el Puerto Interior y la Bahía de Manzanillo) se montarán mallas estructuradas con celdas cuadrangulares con resolución variable para la obtención de resultados de mayor precisión.

Para determinar el transporte de partículas sedimentarias es necesario conocer la circulación del cuerpo de agua. Delft-WAVE calcula los coeficientes de estrés y radiación, con los cuales Delft-FLOW determina las corrientes; este mismo modelo estima las alturas de la columna de agua aplicadas a la refracción de las corrientes que afectan la propagación del oleaje.

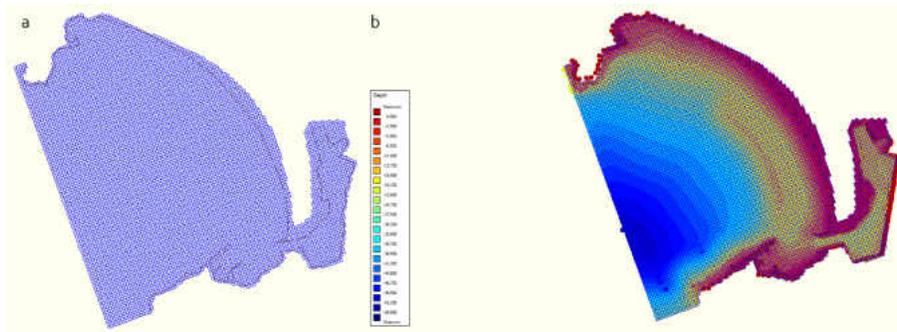


Figura 129. Bahía de Manzanillo y puerto interior con la malla cuadrangular y batimetría interpolada.

### VI.2 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en septiembre 2019.

Se realizó una estimación del área de la sección del puente que comunica el Puerto Interior y la laguna del Valle de las Garzas, con el fin de iniciar con el modelado de los flujos de intercambio hidráulico, para de esta manera, iniciar con el diseño de una estructura de control hidráulico en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito. El resultado se presenta en la **Figura 130 y Tabla 40**.



Figura 130. Corte longitudinal de la alcantarilla localizada en el gavión.

Tabla 40. Ubicación de pilotes de la alcantarilla de la laguna las garzas, corte longitudinal con profundidad y posición geográfica.

Referencias	Profundidad (m)	Posición (latitud/longitud)
P <sub>1</sub>	-1.00	19°05'10.5", 104°18'11.7"
P <sub>2</sub>	-1.10	
P <sub>3</sub>	-0.86	19°05'10.5", 104°18'11.4"
P <sub>4</sub>	-0.86	
P <sub>5</sub>	-0.93	19°05'10.6", 104°18'11.1"
P <sub>6</sub>	-0.60	
P <sub>7</sub>	-0.93	19°05'10.6", 104°18'11.8"
P <sub>8</sub>	-0.80	
P <sub>9</sub>	-1.10	19°05'10.7", 104°18'11.5"
P <sub>10</sub>	-1.05	
P <sub>11</sub>	-1.10	19°05'10.8", 104°18'11.2"
P <sub>12</sub>	-1.23	
P <sub>13</sub>	-1.56	19°05'10.8", 104°18'09.9"
P <sub>14</sub>	-0.86	
P <sub>15</sub>	-0.60	19°05'10.9", 104°18'09.6"

Un cálculo estimado del área de la sección en la alcantarilla, cerca del gavión, en la Laguna del Valle de las Garzas, fue de 50.20 m<sup>2</sup>. Se continuó trabajando en la aplicación del modelo numérico **Delft3D**, el cual se quiere probar y validar, de tal manera que simule la hidrodinámica característica del cuerpo de agua que facilitará conocer la circulación en la laguna y que además exponga el transporte de sedimentos que esta conlleva, con el fin de apoyar a identificar zonas de erosión y acumulación de sedimentos. Los resultados que un modelo puede brindar mejorarán la habilidad de predecir los futuros cambios de este sistema y con esto la posibilidad de determinar estrategias para mejorar el manejo de la Laguna del Valle de las Garzas (**LVG**).

El software Delft3D es una plataforma compuesta por una serie de módulos que permiten la modelación de la hidrodinámica, la propagación del oleaje, el transporte de sedimentos, el transporte de objetos en deriva, el cambio de partículas no conservativas, la calidad de agua, entre otros procesos presentes en costas, estuarios,

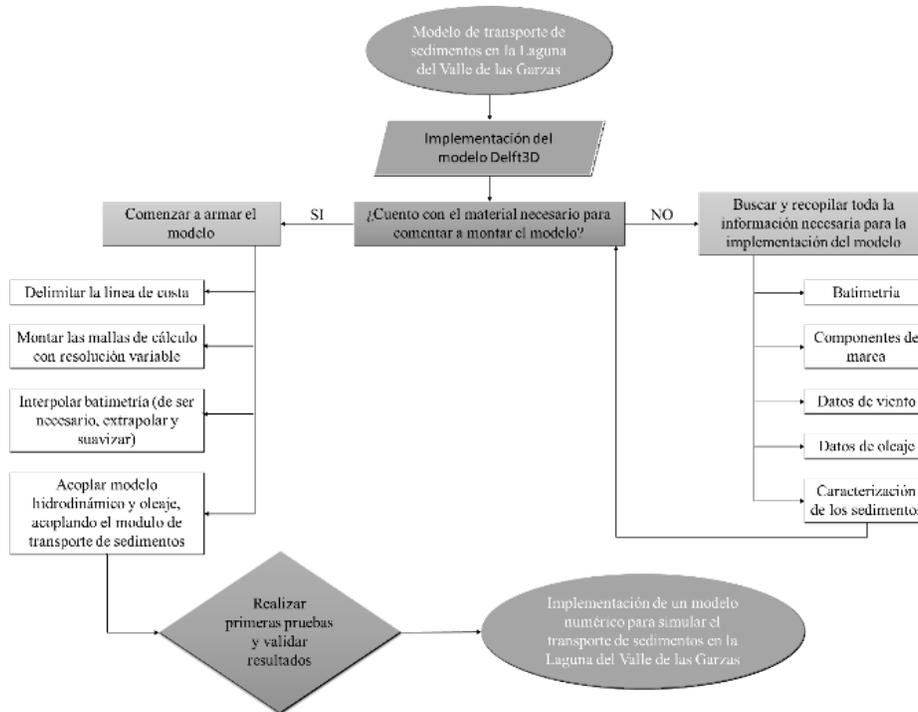
deltas y lagunas costeras; asimismo, el software permite acoplar distintos módulos de acuerdo con las necesidades que requiera el proyecto.

Para este trabajo se aplicarán los modelos **Delft-FLOW** y **Delft-WAVE**, los cuales están basados en la resolución de la ecuación de continuidad, de presión hidrostática y de Navier-Stokes. Dentro del modelo hidrodinámico es posible activar el módulo de transporte de sedimentos, el cual calcula el movimiento horizontal de las partículas en base a la ecuación de advección y difusión. Las formulaciones matemáticas se describen en detalle en el User Guide del software **Delft3D** (disponible en su sitio web). Para la implementación del software Delft3D en el transporte de sedimentos de la Laguna del Valle de las Garzas, es necesario contar con la batimetría actual de la zona, en diferentes épocas del año (lluvia y estiaje), así como datos de viento y marea (medida *in situ*). De la misma forma, es indispensable validar la información sobre el tamaño y densidad de los sedimentos característicos del cuerpo de agua, así como establecer zonas de erosión y acreción. Además, de determinar las condiciones iniciales y de frontera. La **Tabla 41**, indica una lista de variables requeridas para la implementación del modelo.

**Tabla 41. Lista de las variables requeridas para la implementación del modelo.**

Variable requerida	Detalles
<b>Batimetría</b>	Datos sobre la profundidad actual en determinados puntos geográficos.
<b>Viento</b>	Base con datos históricos del viento característico en la región (o de los últimos meses o años).
<b>Marea</b>	Serie de tiempo de la variación del nivel del agua medida <i>in situ</i> .
<b>Caracterización del material sedimentario</b>	Información validada por medio de muestreos en campo sobre los tamaños de grano, tipo de sedimento característico, densidad y abundancia relativa de cada tipo de sedimento.

Para hacer que el modelo simule el transporte de sedimentos en la LVG se sobrelleva una serie de pasos a seguir, los cuales se exponen en el siguiente diagrama de flujo (**Figura 131**). Para poder realizar el modelo es necesario contar con todo el material anteriormente mencionando.



**Figura 131. Diagrama de flujo sobre la implementación del modelo para el estudio de la hidrodinámica y el transporte de sedimentos.**

### **VI.3 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en octubre 2019.**

En octubre se continuó trabajando en la aplicación del modelo numérico **Delft3D**, el cual se quiere probar y validar, de tal manera que simule la hidrodinámica característica del cuerpo de agua que facilitará conocer la circulación en la laguna y que además exponga el transporte de sedimentos que esta conlleva, con el fin de apoyar a identificar zonas de erosión y depósito de sedimentos. Los resultados que un modelo puede brindar mejorarán la habilidad de predecir los futuros cambios de este sistema y con esto la posibilidad de determinar estrategias para mejorar el manejo de la Laguna del Valle de las Garzas (LVG).

La laguna del Valle de las Garzas, ha sufrido diversas modificaciones debido principalmente a la construcción y ampliación del recinto portuario y al crecimiento urbano de las zonas aledañas (**Figura 132**).



**Figura 132. Ubicación de la Laguna del Valle de las Garzas respecto a la Bahía de Manzanillo, Colima.**

La reducción de la comunicación natural entre la laguna del Valle de las Garzas y la Bahía de Manzanillo debido a la construcción del Gavión, ha ocasionado una disminución en el flujo y reflujos del agua, dando lugar al azolvamiento de la laguna. Además, el cuerpo de agua es utilizado como laguna de oxidación de aguas grises de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras de la Comisión Nacional de Agua y Alcantarillado de la ciudad de Manzanillo (CAPDAM), la cual descarga diariamente

dentro de ella. La reducida hidrodinámica, ocasiona que gran parte del material orgánico es depositado en el fondo, generando un riesgo en la salud del ecosistema, así como riesgos potenciales a los habitantes de las comunidades cercanas.

Debido al estado en el cual se encuentra la laguna y a la prácticamente, nula información disponible de este ecosistema (hasta ahora), resulta de gran importancia conocer los aspectos hidrodinámicos que intervienen en la distribución de los sedimentos. Aplicar un modelo numérico probado y validado que simule la hidrodinámica característica del cuerpo de agua facilitará en entendimiento de los procesos que intervienen en la circulación de la laguna y será posible la generación de información para conocer la dinámica del transporte de sedimentos, además ayudará a identificar zonas de erosión y acumulación de sedimentos. Los resultados que un modelo puede brindar mejorarán la habilidad de predecir los futuros cambios de este sistema y con esto la posibilidad de determinar estrategias para mejorar el manejo de la Laguna del Valle de las Garzas.

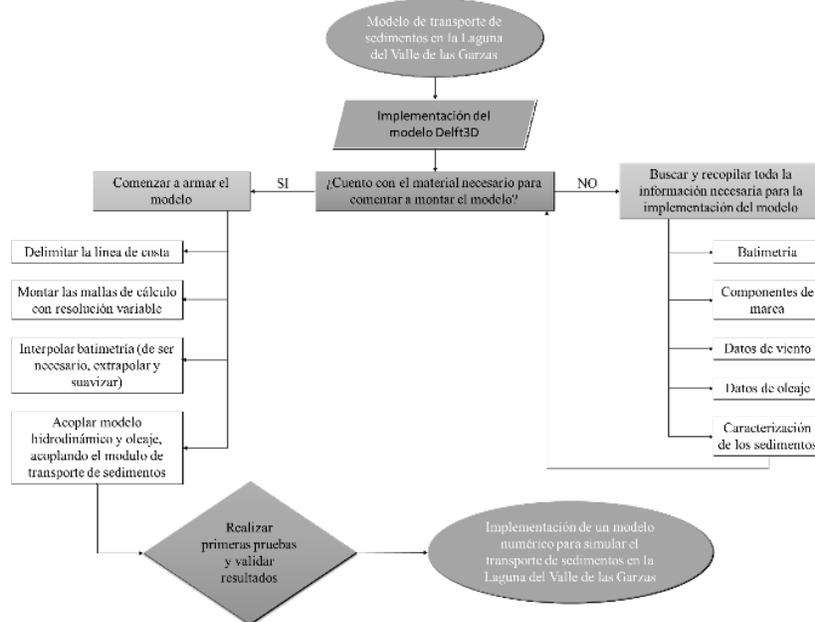
Anteriormente, se describió el modelo Delft3D el cual es una plataforma compuesta por una serie de módulos que permiten la modelación de la hidrodinámica, la propagación del oleaje, el transporte de sedimentos, el transporte de objetos en deriva, el cambio de partículas no conservativas, la calidad de agua, entre otros procesos presentes en costas, estuarios, deltas y lagunas costeras; asimismo, el software permite acoplar distintos módulos de acuerdo con las necesidades que requiera el proyecto.

Es indispensable validar el modelo, así como, establecer zonas de erosión y depósito. Además, de determinar las condiciones iniciales y de frontera (**Tabla 42**).

Como ya se mencionó, para realizar un modelo que simule el transporte de sedimentos en este cuerpo costero conlleva una serie de pasos a seguir, los cuales se exponen en el siguiente diagrama de flujo (**Figura 133**). En este, se puede observar que para poder realizar el modelo es necesario contar con todo el material anteriormente mencionando.

**Tabla 42. Lista de las variables requeridas para la implementación del modelo.**

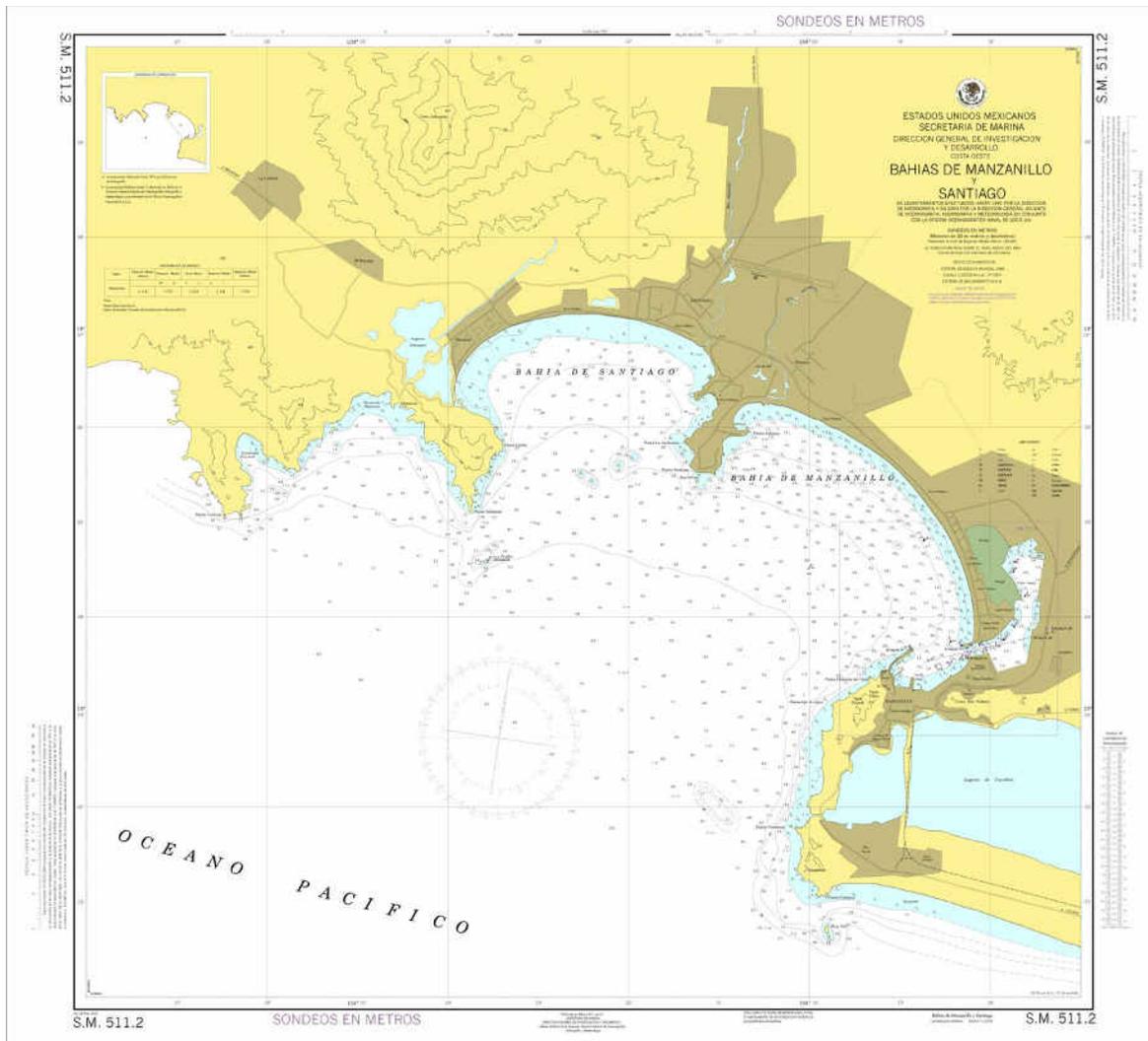
Variable requerida	Detalles
Batimetría	Datos sobre la profundidad actual en determinados puntos geográficos.
Viento	Base con datos históricos del viento característico en la región (o de los últimos meses o años).
Marea	Serie de tiempo de la variación del nivel del agua medida <i>in situ</i> .
Caracterización del material sedimentario	Información validada por medio de muestreos en campo sobre los tamaños de grano, tipo de sedimento característico, densidad y abundancia relativa de cada tipo de sedimento.



**Figura 133. Diagrama de flujo sobre la implementación del modelo para el estudio de transporte de sedimentos.**

Utilizando el programa Global Mapper, las coordenadas geográficas de la línea de costa obtenida a partir de la digitalización por medio de Google Earth, fueron convertidas de grados decimales a U.T.M., formato requerido para ser utilizado por el modelo Delft3D.

Por el momento, se obtuvo la batimetría de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior de la carta náutica de la Secretaría de Marina (SEMAR), la cual ya fue digitalizada utilizando el programa AUTOCAD (**Figura 134 y 135**).



**Figura 134. Carta náutica de la Bahías de Manzanillo y Santiago (SEMAR).**

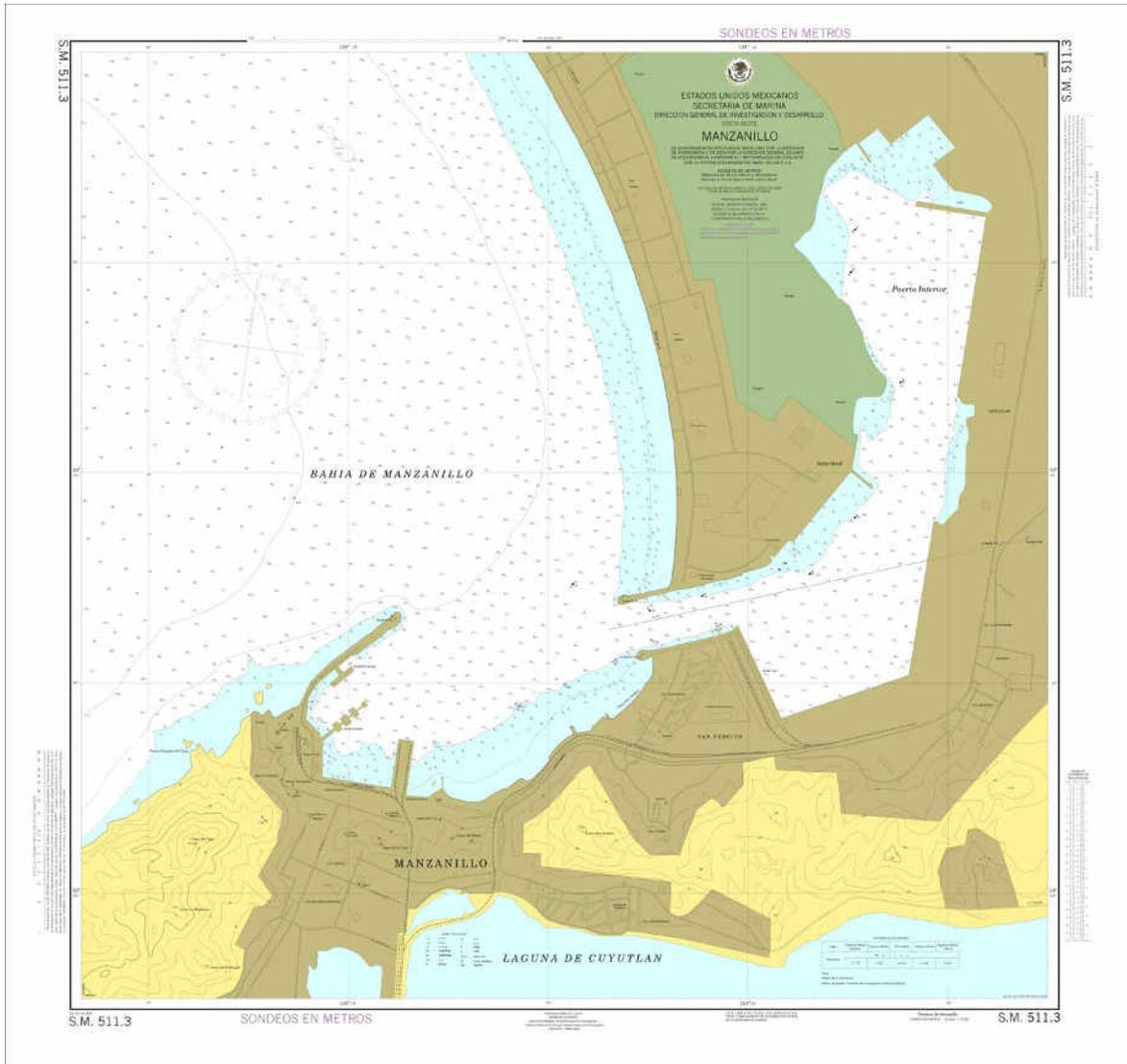
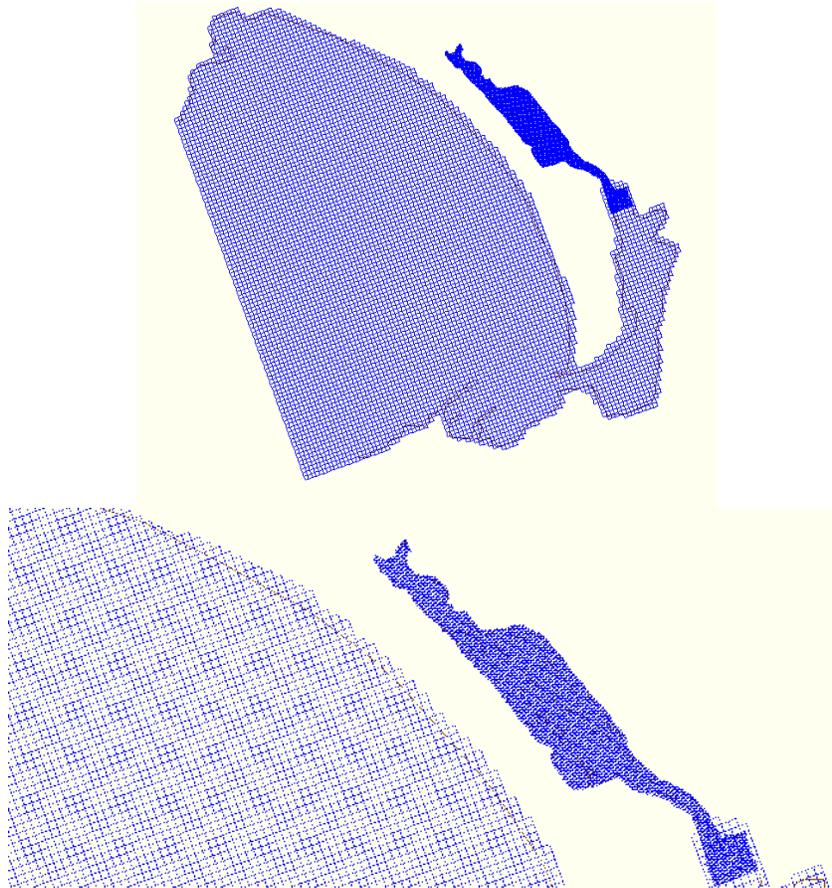


Figura 135. Carta náutica del Puerto Interior (SEMAR).

Una vez introducidas la línea de costa en el modelo Delft3D, se construyeron dos mallas con diferente resolución, una abarcó la Bahía de Manzanillo y el Puerto Interior, la cual presenta una resolución de  $50 \times 50 \text{ m}^2$ . Para la laguna del Valle de las Garzas se generó una malla con mayor resolución, de  $10 \times 10 \text{ m}^2$  debido a su forma estrecha. En la **Figura 136**, se muestran las mallas generadas. Es importante resaltar que estas mallas serán anidadas para mejorar la resolución del dominio. Se estudia y se plantea tener una mayor resolución en el canal de comunicación entre el recinto portuario y la laguna.



**Figura 136. Malla generada en el programa Delft3D para la Bahía de Manzanillo, el Recinto Portuario y la laguna del Valle de las Garzas. En la imagen inferior se muestran las mallas anidadas.**

#### **VI.4 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en noviembre 2019.**

En noviembre, se continuó trabajando en la aplicación del modelo numérico **Delft3D**, el cual se quiere probar y validar, de tal manera que simule la hidrodinámica característica del cuerpo de agua que facilitará conocer la circulación en la laguna y que además exponga el transporte de sedimentos que esta conlleva, con el fin de apoyar a identificar zonas de erosión y depósito de sedimentos. Los resultados que un modelo puede brindar mejorarán la habilidad de predecir los futuros cambios de este sistema y con esto la posibilidad de determinar estrategias para mejorar el manejo de la Laguna del Valle de las Garzas (**LVG**).

La reducción de la comunicación natural entre la laguna del Valle de las Garzas y la Bahía de Manzanillo debido a la construcción de los gaviones, ha ocasionado una disminución en el flujo y reflujos del agua, dando lugar al azolvamiento de la laguna. Además, el cuerpo de agua es utilizado como laguna de oxidación de aguas grises de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras de la Comisión Nacional de Agua y Alcantarillado de la ciudad de Manzanillo (CAPDAM), la cual descarga diariamente dentro de ella. La reducida hidrodinámica, ocasiona que gran parte del material orgánico es depositado en el fondo, generando un riesgo en la salud del ecosistema, así como riesgos potenciales a los habitantes de las comunidades cercanas.

Debido al estado en el cual se encuentra la laguna y a la prácticamente, nula información disponible de este ecosistema (hasta ahora), resulta de gran importancia conocer los aspectos hidrodinámicos que intervienen en la distribución de los sedimentos. Aplicar un modelo numérico probado y validado que simule la hidrodinámica característica del cuerpo de agua facilitará el entendimiento de los procesos que intervienen en la circulación de la laguna y será posible la generación de información para conocer la dinámica del transporte de sedimentos, además ayudará a identificar zonas de erosión y acumulación de sedimentos.

Se continúa trabajando con el modelo Delft3D el cual es una plataforma compuesta por una serie de módulos que permiten la modelación de la hidrodinámica, la propagación del oleaje, el transporte de sedimentos, el transporte de objetos en deriva, el cambio de partículas no conservativas, la calidad de agua, entre otros procesos presentes en costas, estuarios, deltas y lagunas costeras; asimismo, el software permite acoplar distintos módulos de acuerdo con las necesidades que requiera el proyecto.

Utilizando el programa Global Mapper, las coordenadas geográficas de la línea de costa obtenida a partir de la digitalización por medio de Google Earth, fueron convertidas de grados decimales a U.T.M., formato requerido para ser utilizado por el modelo Delft3D.

Por el momento, se obtuvo la batimetría de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior de la carta náutica de la Secretaría de Marina (SEMAR), la cual ya fue digitalizada utilizando el programa AUTOCAD (**Figuras 137 y 138**).

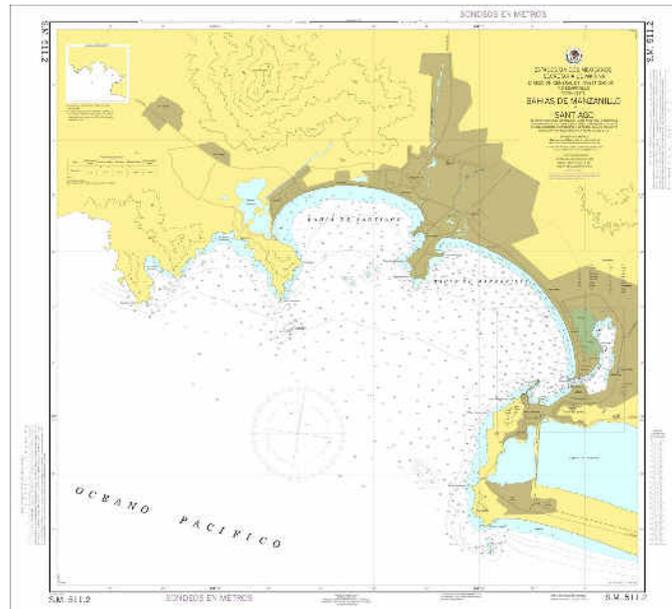


Figura 137. Carta náutica de la Bahías de Manzanillo y Santiago (SEMAR).

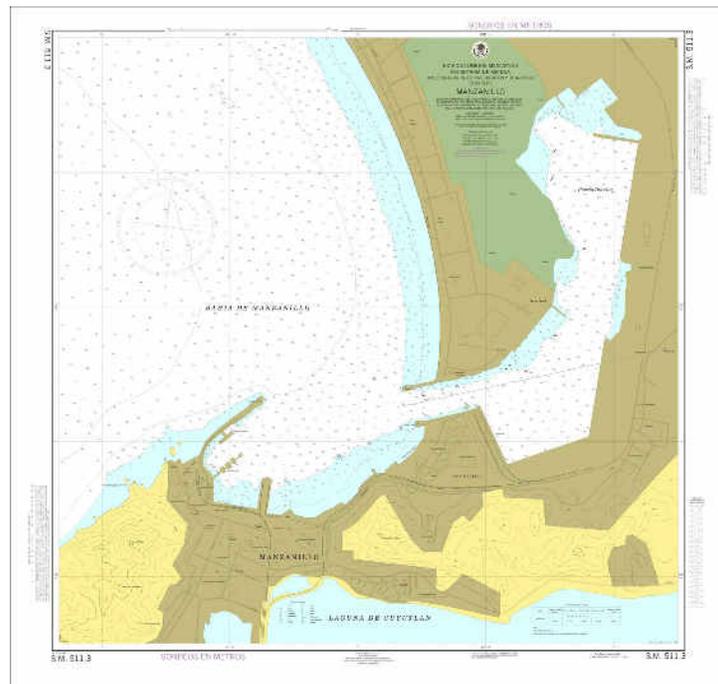
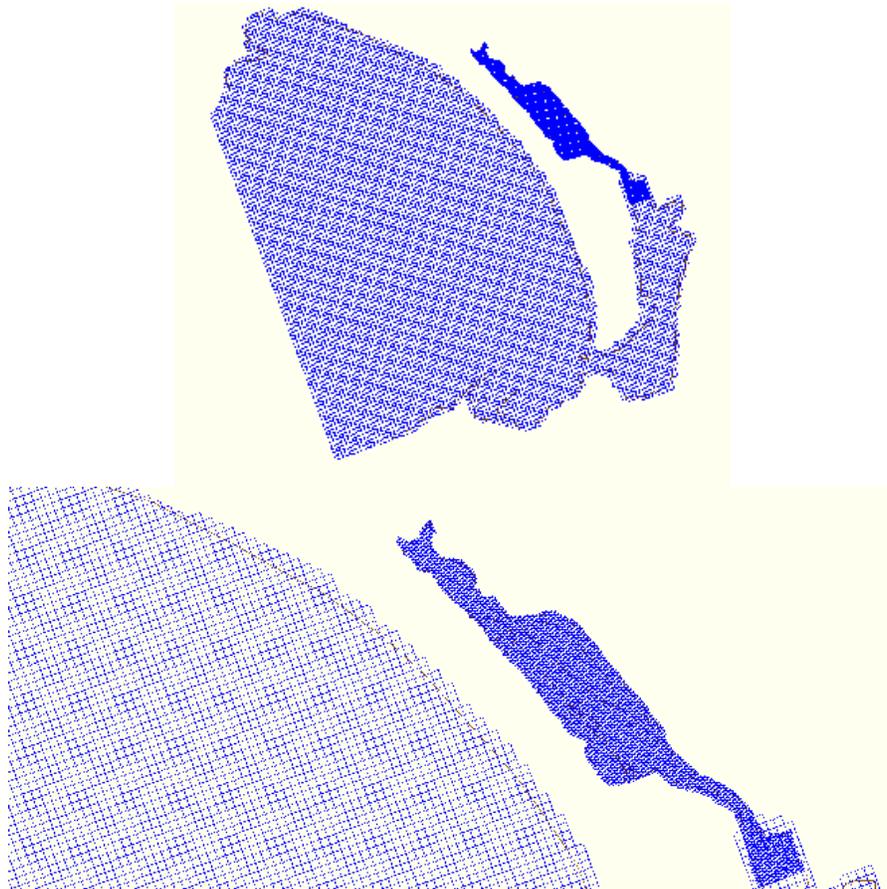


Figura 138. Carta náutica del Puerto Interior (SEMAR).

Una vez introducidas la línea de costa en el modelo Delft3D, se construyeron dos mallas con diferente resolución, una abarcó la Bahía de Manzanillo y el Puerto Interior, la cual presenta una resolución de  $50 \times 50 \text{ m}^2$ . Para la laguna del Valle de las Garzas se generó una malla con mayor resolución, de  $10 \times 10 \text{ m}^2$  debido a su forma estrecha.

En la **Figura 139**, se muestran las mallas generadas. Es importante resaltar que estas mallas serán anidadas para mejorar la resolución del dominio. Se estudia y se plantea tener una mayor resolución en el canal de comunicación entre el recinto portuario y la laguna.



**Figura 139. Malla generada en el programa Delft3D para la Bahía de Manzanillo, el Recinto Portuario y la laguna del Valle de las Garzas. En la imagen inferior se muestran las mallas anidadas.**

## **VI.5 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en diciembre 2019.**

En diciembre, se sigue trabajando en la aplicación del modelo numérico **Delft3D**, el cual se quiere probar y validar, de tal manera que simule la hidrodinámica característica del cuerpo de agua que facilitará conocer la circulación en la laguna y que además exponga el transporte de sedimentos que esta conlleva, con el fin de apoyar a identificar zonas de erosión y depósito de sedimentos. Los resultados que un modelo puede brindar mejorarán la habilidad de predecir los futuros cambios de este sistema y con esto la posibilidad de determinar estrategias para mejorar el manejo de la Laguna del Valle de las Garzas (**LVG**).

Utilizando el programa Global Mapper, las coordenadas geográficas de la línea de costa obtenida a partir de la digitalización por medio de Google Earth, fueron convertidas de grados decimales a U.T.M., formato requerido para ser utilizado por el modelo Delft3D.

Por el momento, se obtuvo la batimetría de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior de la carta náutica de la Secretaría de Marina (SEMAR), la cual ya fue digitalizada utilizando el programa AUTOCAD (**Figuras 140 y 141**).

Se espera contar con dos batimetrías (época de lluvias y sequías) de la Laguna del Valle de las Garzas, las cuales serán proporcionadas por la Administración Portuaria Integral de Manzanillo (API-Manzanillo). Hasta la fecha solo se ha proporcionado la batimetría del sitio que fue dragado, pero no es suficiente, es necesario contar con la batimetría de la laguna del Valle de las Garzas y el Puerto Interior.

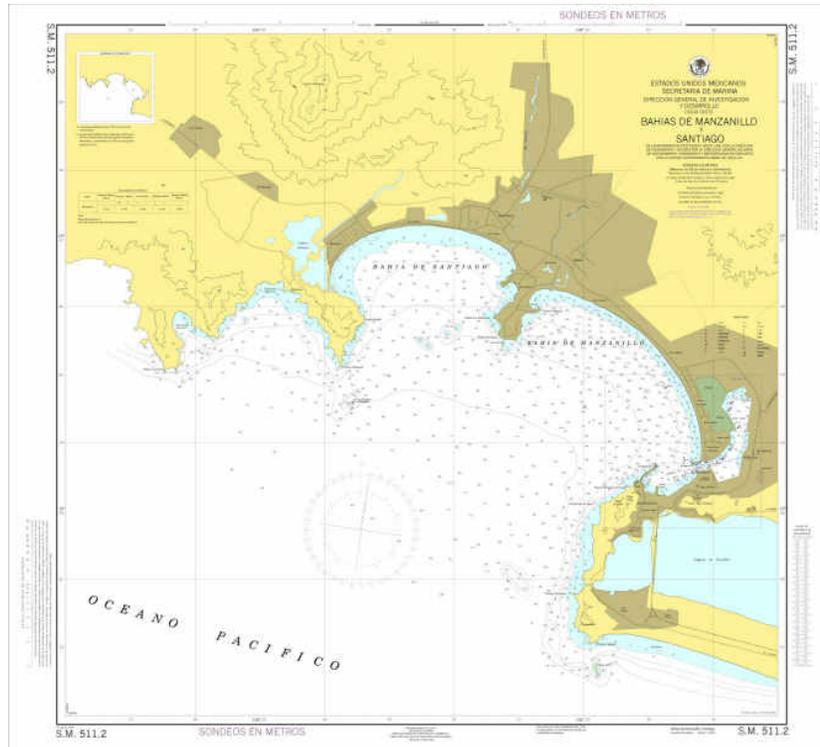


Figura 140. Carta náutica de la Bahías de Manzanillo y Santiago (SEMAR).

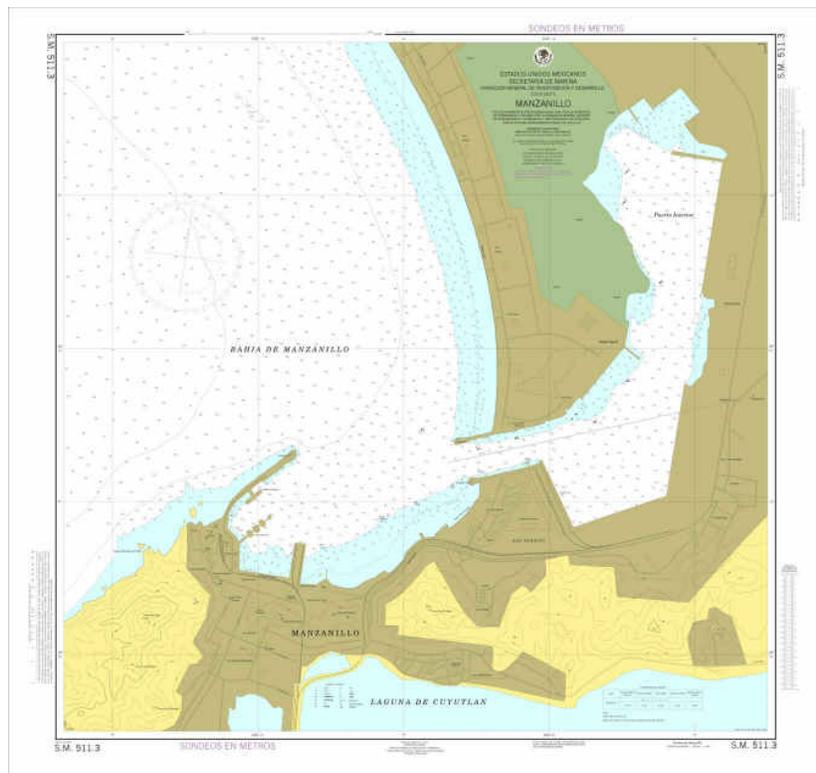
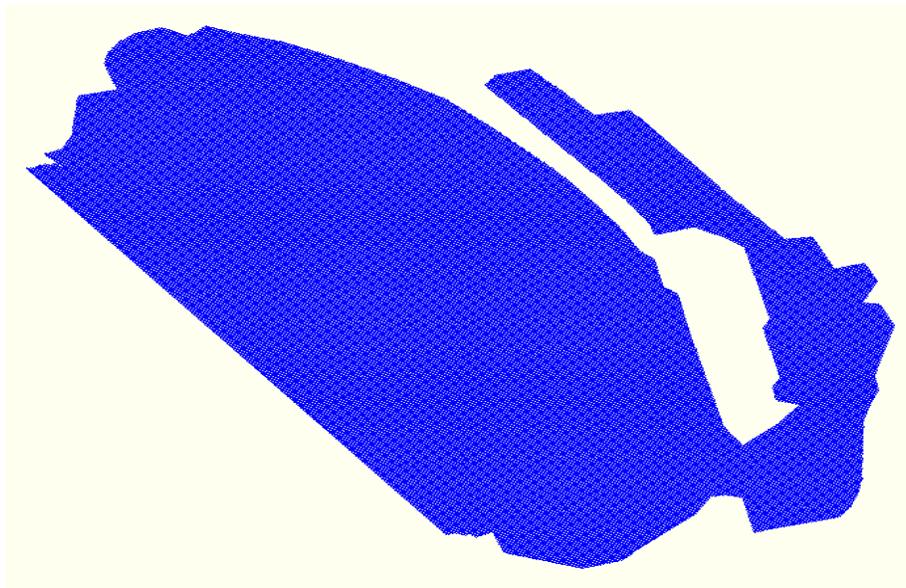


Figura 141. Carta náutica del Puerto Interior (SEMAR).

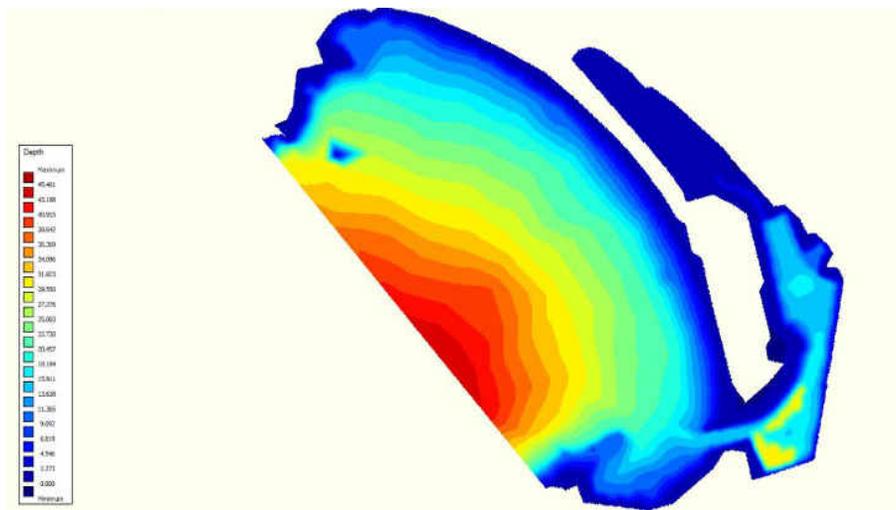
Una vez introducidas la línea de costa en el modelo Delft3D, para las pruebas preliminares del presente reporte, se generó una malla de 10x10 m<sup>2</sup> para toda el área de estudio. En la **Figura 142**, se muestra la malla generada, es importante resaltar que posteriormente se utilizarán mallas anidadas para mejorar la resolución del dominio. Se estudia y se plantea tener una mayor resolución en el canal de comunicación entre el recinto portuario y la laguna.



**Figura 142. Malla generada en el programa Delft3D para la Bahía de Manzanillo, el Recinto Portuario y la laguna del Valle de las Garzas.**

Para las primeras pruebas que se realizaron para el presente informe, se consideró la batimetría descrita en la sección anterior para la Bahía de Manzanillo y el Puerto Interior, sin embargo, para la laguna del Valle de las Garzas se consideraron profundidades entre 1 y 3 m (caso hipotético), siendo las mayores profundidades consideradas para los canales situados cerca de la boca de la laguna (**Figura 143**).

En diciembre, se simuló un caso hipotético del transporte de sedimentos, durante un periodo de cinco días. El modelo se forzó con viento y las principales variables de la marea astronómica (**Tabla 43**).



**Figura 143. Batimetría utilizada para prueba preliminar obtenida de carta náutica de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior.**

**Tabla 43. Condiciones iniciales del modelo.**

<b>Período de simulación</b>	Fecha inicial	15 de diciembre de 2019
	Fecha de término	20 de diciembre de 2019
<b>Forzamientos</b>	Viento	Inicio y fin de 3 m/s y 45°N
	Marea astronómica	M2 0.1454 m de amplitud y una fase de 292.3° S2 0.1679 m de amplitud y una fase de 268.8
<b>Sedimentos (características)</b>	Cohesivos  Densidad promedio de 2050 kg/m <sup>3</sup> (valor promedio de granulometría de octubre)  Erosión y sedimentación uniforme  **Por default una densidad debe ser agregada en la frontera abierta del dominio (inicio el día 15 con 0 kg/m <sup>3</sup> y terminó el 20 con 1 kg/m <sup>3</sup> )  **Las cinco descargas se idealizaron con 0 kg/m <sup>3</sup> el día 15 y terminaron el 20 con 5 kg/m <sup>3</sup>	

Los sedimentos agregados al modelo fueron tipo cohesivos, que corresponden a partículas de granos muy finos como limos y arcillas, los cuales corresponden a la

constitución de tamaño de grano encontrada en el área de estudio. Se agregaron cinco descargas hipotéticas de sedimentos dentro de la laguna y el Puerto Interior, los cuales se idealizaron para que descargaran de forma constante durante el tiempo de simulación (**Figura 144**). En los mismos sitios de los puntos de descargas de sedimentos se colocaron boyas numéricas para el monitoreo del flujo de agua.



**Figura 144.** Ubicación hipotética de las boyas de monitoreo y sitios de las descargas de sedimentos en el área de estudio, los puntos rojos corresponden a cada ubicación.

A continuación, se muestran los resultados preliminares, obtenidos de la simulación hipotética, del modelo acoplado el modelo hidrodinámico y el módulo del transporte de sedimentos. De acuerdo con los resultados preliminares, respecto a la velocidad promedio de las corrientes en el área de estudio, se observó el incremento de la velocidad al Puerto Interior, presentando las máximas en el Canal de Navegación de la entrada al Puerto interior y en la boca de la laguna (**Figura 145**). La **Figura 146**, muestra el nivel de agua registrado por las boyas.

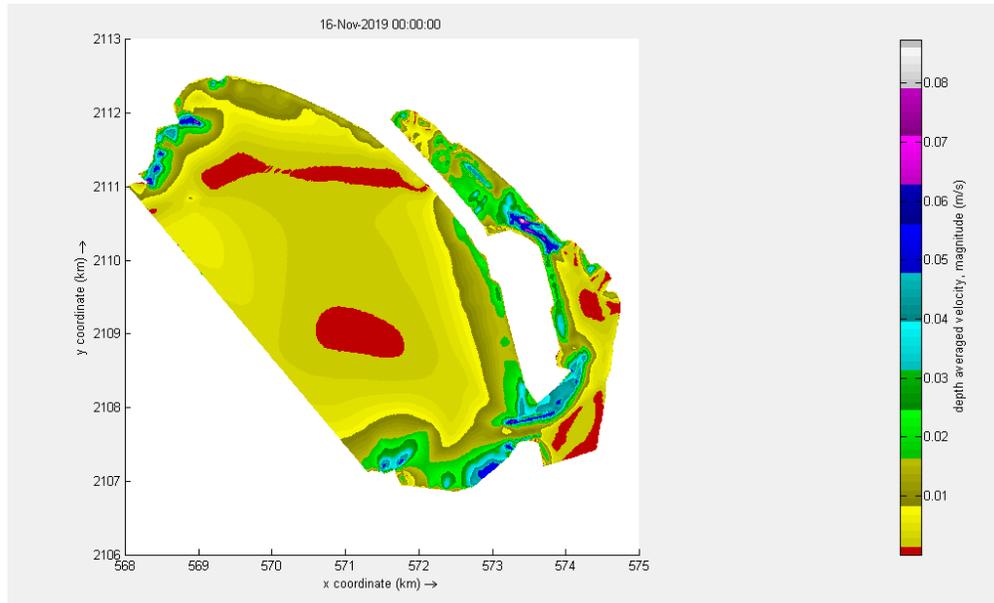


Figura 145. Velocidad promedio de las corrientes en la zona de estudio.

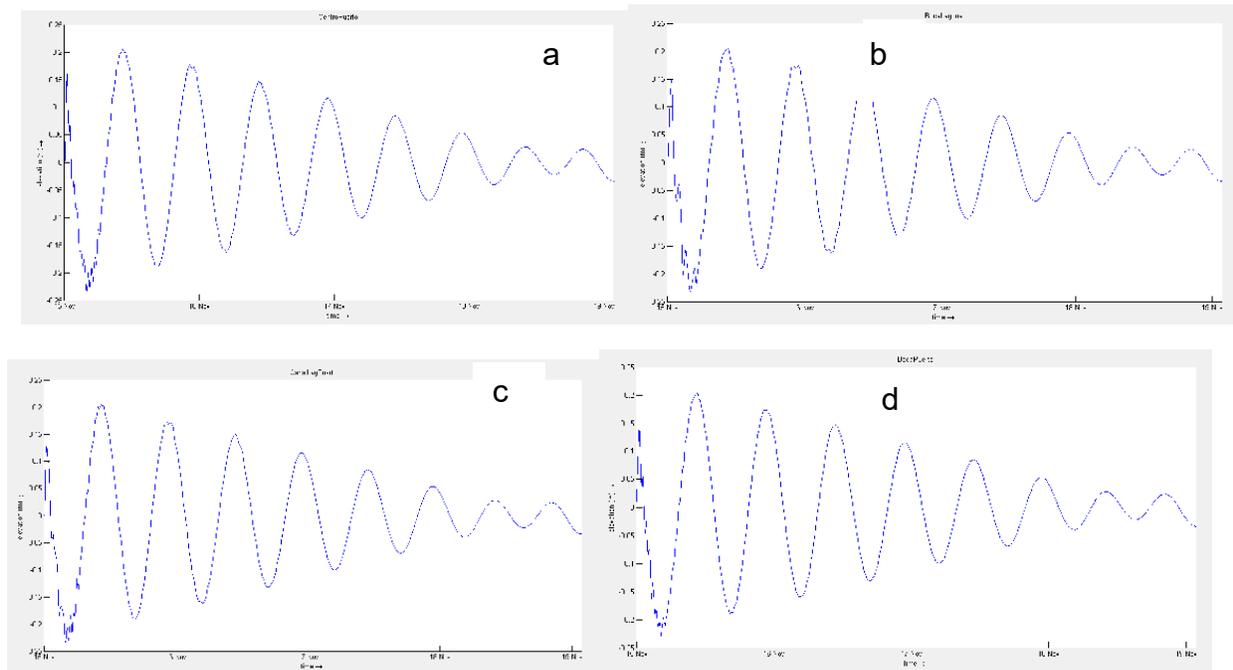
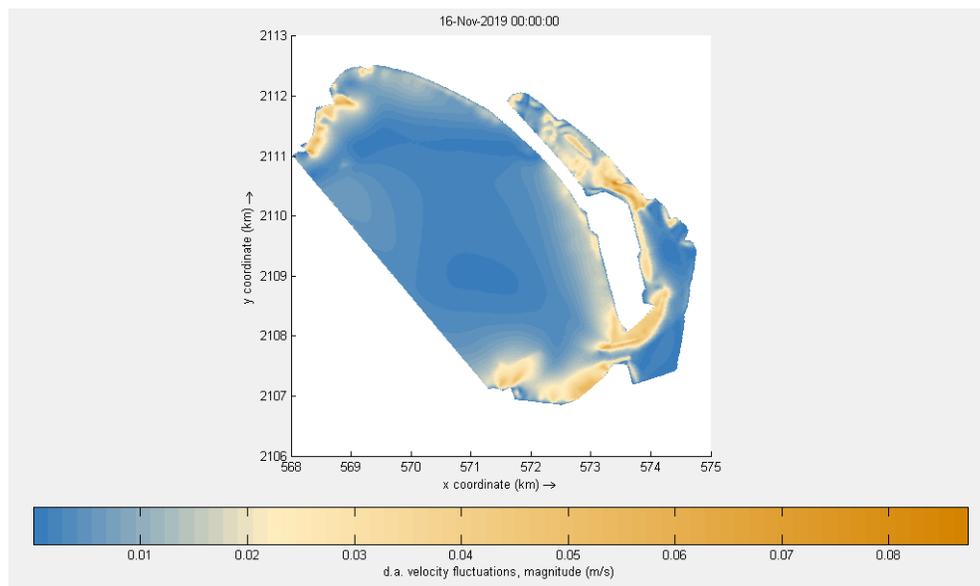


Figura 146. Nivel del agua registrado por las boyas: a) centro del puerto, b) boca de la laguna, c) canal laguna-puerto y d) entrada al puerto.

A continuación, se muestran algunos de los resultados preliminares que se obtuvieron al implementar en el modelo el módulo del transporte de sedimentos. Entre los resultados se presenta la fluctuación de la velocidad de descarga, la cual está relacionada a la turbulencia, en zonas en donde se presenten menores fluctuaciones, las partículas tenderán a sedimentarse. Los resultados muestran que, de acuerdo con las fluctuaciones de la velocidad de descargas, las zonas en donde la velocidad de las corrientes es mayor, se presentan las mayores fluctuaciones, lo cual correspondería a un incremento en la turbulencia, por lo que principalmente la zona de entrada al Puerto Interior y la boca de la laguna Valle de las Garzas (gaviones) son zonas en donde las partículas presentan las menores tasas de sedimentación (**Figura 147**).



**Figura 147. Fluctuaciones de la velocidad de descarga.**

El modelo del transporte de sedimentos aporta otros resultados, sin embargo, para el presente informe, los resultados obtenidos fueron sólo preliminares para comprobar el funcionamiento del acoplamiento del módulo hidrodinámico y el módulo del transporte de sedimentos, es necesario afinar algunas de las variables que se utilizan para alimentar el modelo, por lo que sólo se muestran algunos resultados que se obtuvieron.

## **VI.6 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en enero 2020.**

Se siguió trabajando en la aplicación del modelo numérico **Delft3D**, el cual se quiere probar y validar, de tal manera que simule la hidrodinámica característica del cuerpo de agua que facilitará conocer la circulación en la laguna y que además exponga el transporte de sedimentos que esta conlleva, con el fin de apoyar a identificar zonas de erosión y depósito de sedimentos. Los resultados que un modelo puede brindar mejorarán la habilidad de predecir los futuros cambios de este sistema y con esto la posibilidad de determinar estrategias para mejorar el manejo de la Laguna del Valle de las Garzas (**LVG**).

El modelo Delft3D es una plataforma compuesta por una serie de módulos que permiten la modelación de la hidrodinámica, la propagación del oleaje, el transporte de sedimentos, el transporte de objetos en deriva, el cambio de partículas no conservativas, la calidad de agua, entre otros procesos presentes en costas, estuarios, deltas y lagunas costeras; asimismo, el software permite acoplar distintos módulos de acuerdo con las necesidades que requiera el proyecto.

Utilizando el programa Global Mapper, las coordenadas geográficas de la línea de costa obtenida a partir de la digitalización por medio de Google Earth, fueron convertidas de grados decimales a U.T.M., formato requerido para ser utilizado por el modelo Delft3D.

Por el momento, se obtuvo la batimetría de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior de la carta náutica de la Secretaría de Marina (SEMAR), la cual ya fue digitalizada utilizando el programa AUTOCAD (**Figuras 148 y 149**).

Se espera contar con dos batimetrías (época de lluvias y sequías) de la Laguna del Valle de las Garzas, las cuales serán proporcionadas por la Administración Portuaria Integral de Manzanillo (API-Manzanillo). En enero, API entregó una batimetría del puerto Interior y una parte de la Laguna del Valle de las Garzas, sin embargo, no es suficiente, ya que es necesario contar con la batimetría de toda la laguna del Valle de las Garzas y el Puerto Interior.

Es importante señalar que lo referente a los forzamientos y datos batimétricos, es necesario precisar que, para avanzar hacia la implementación operacional del modelo numérico para el estudio de la hidrodinámica de la Laguna del Valle de las Garzas, es necesario contar con información completa que pase un adecuado control de calidad.

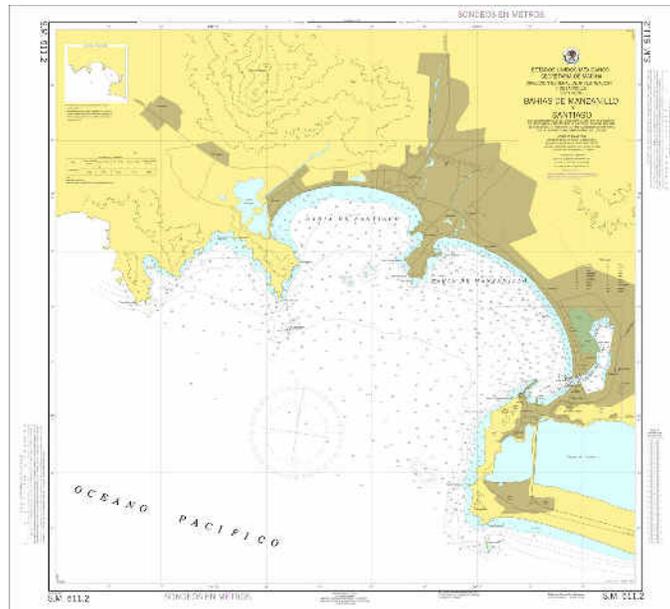


Figura 148. Carta náutica de la Bahías de Manzanillo y Santiago (SEMAR).

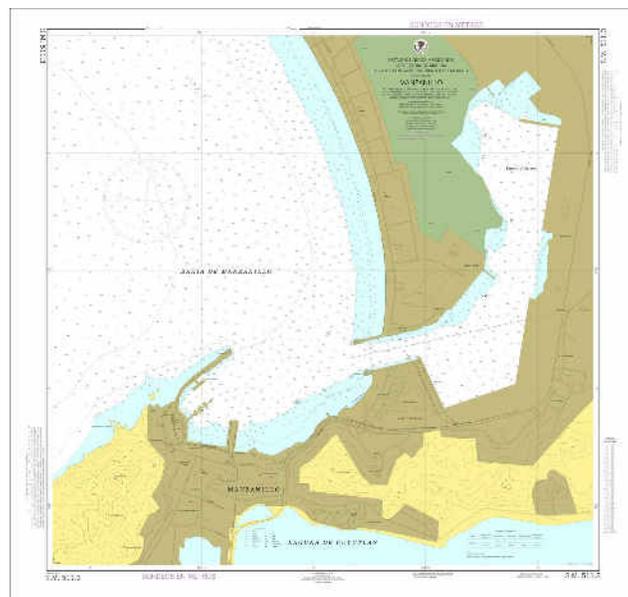
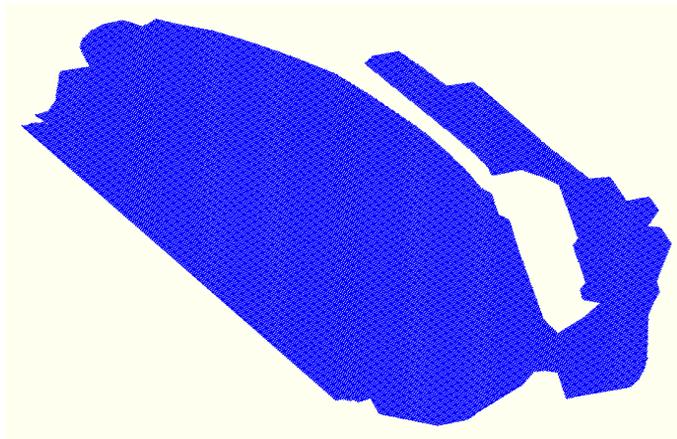


Figura 149. Carta náutica del Puerto Interior (SEMAR).

Una vez introducidas la línea de costa en el modelo Delft3D, para las pruebas preliminares del mes de enero, se generó una malla de 10x10 m<sup>2</sup> para toda el área de estudio. En la **Figura 150**, se muestra la malla generada, es importante resaltar que posteriormente se utilizarán mallas anidadas para mejorar la resolución del dominio. Se estudia y se plantea tener una mayor resolución en el canal de comunicación entre el recinto portuario y la laguna.

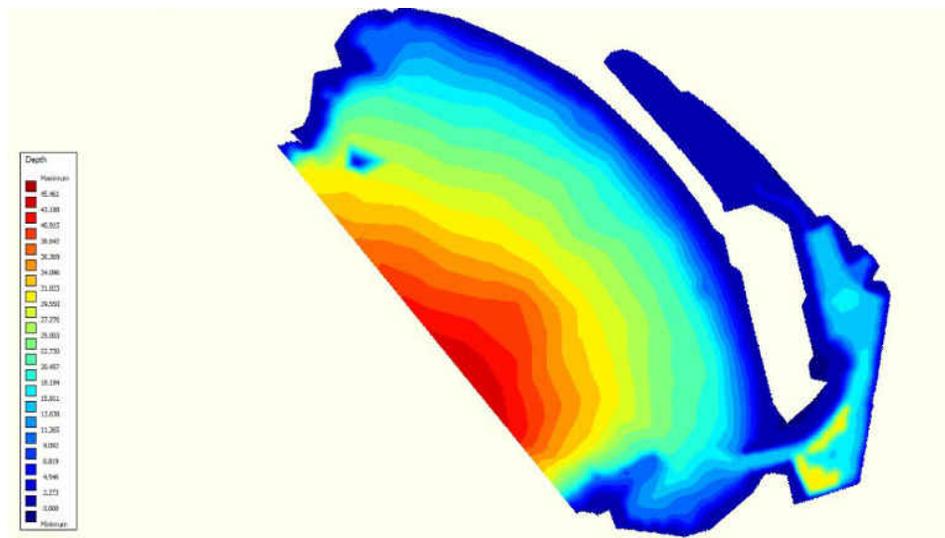


**Figura 150. Malla generada en el programa Delft3D para la Bahía de Manzanillo, el Recinto Portuario y la laguna del Valle de las Garzas.**

Para las primeras pruebas que se realizaron, se consideró la batimetría descrita en la sección anterior para la Bahía de Manzanillo y el Puerto Interior, sin embargo, para la laguna del Valle de las Garzas se consideraron profundidades entre 1 y 3 m (caso hipotético), siendo las mayores profundidades consideradas para los canales situados cerca de la boca de la laguna (**Figura 151**). También se añadieron puntos a la batimetría obtenidos de mediciones in situ, en el área del canal de intercomunicación entre la laguna y el Puerto Interior.

Para el modelo del transporte de sedimentos, se simuló un periodo de diez días en el dominio que cubre la Laguna del Valle de las Garzas y la Bahía de Manzanillo. El modelo se forzó con viento y las principales componentes de marea astronómica (M2 y S2). Los sedimentos agregados al modelo fueron tipo cohesivos, que corresponden a partículas de granos muy finos como limos y arcillas, los cuales corresponden a la

constitución de tamaño de grano encontrada en el área de estudio, con una densidad de  $5 \text{ kg/m}^3$  (**Tabla 44**).



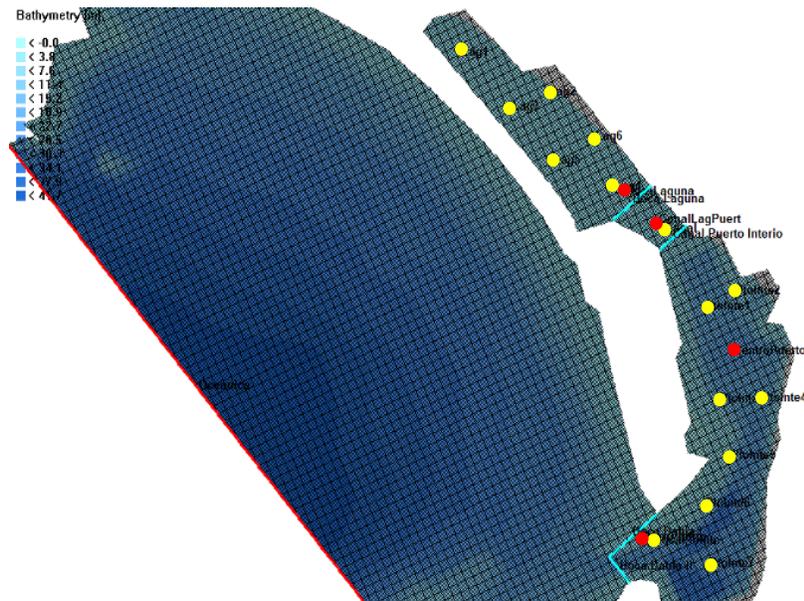
**Figura 151. Batimetría utilizada para prueba preliminar obtenida de carta náutica de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior.**

**Tabla 44. Condiciones iniciales del modelo.**

Período de simulación	Fecha inicial	01 de enero de 2020
	Fecha de término	10 de enero de 2020
Forzamientos	Viento	Inicio y fin de 3 m/s y 45°N
	Marea astronómica	M <sub>2</sub> 0.1454 m de amplitud y una fase de 292.3° S <sub>2</sub> 0.1679 m de amplitud y una fase de 268.8
Sedimentos (características)	Cohesivos Densidad promedio de $2050 \text{ kg/m}^3$ (valor promedio de granulometría de octubre) Erosión y sedimentación uniforme **Por default una densidad debe ser agregada en la frontera abierta del dominio (inicio el día 15 con $0 \text{ kg/m}^3$ y terminó el 20 con $1 \text{ kg/m}^3$ ) **Las cinco descargas se idealizaron con $0 \text{ kg/m}^3$ el día 15 y terminaron el 20 con $5 \text{ kg/m}^3$	

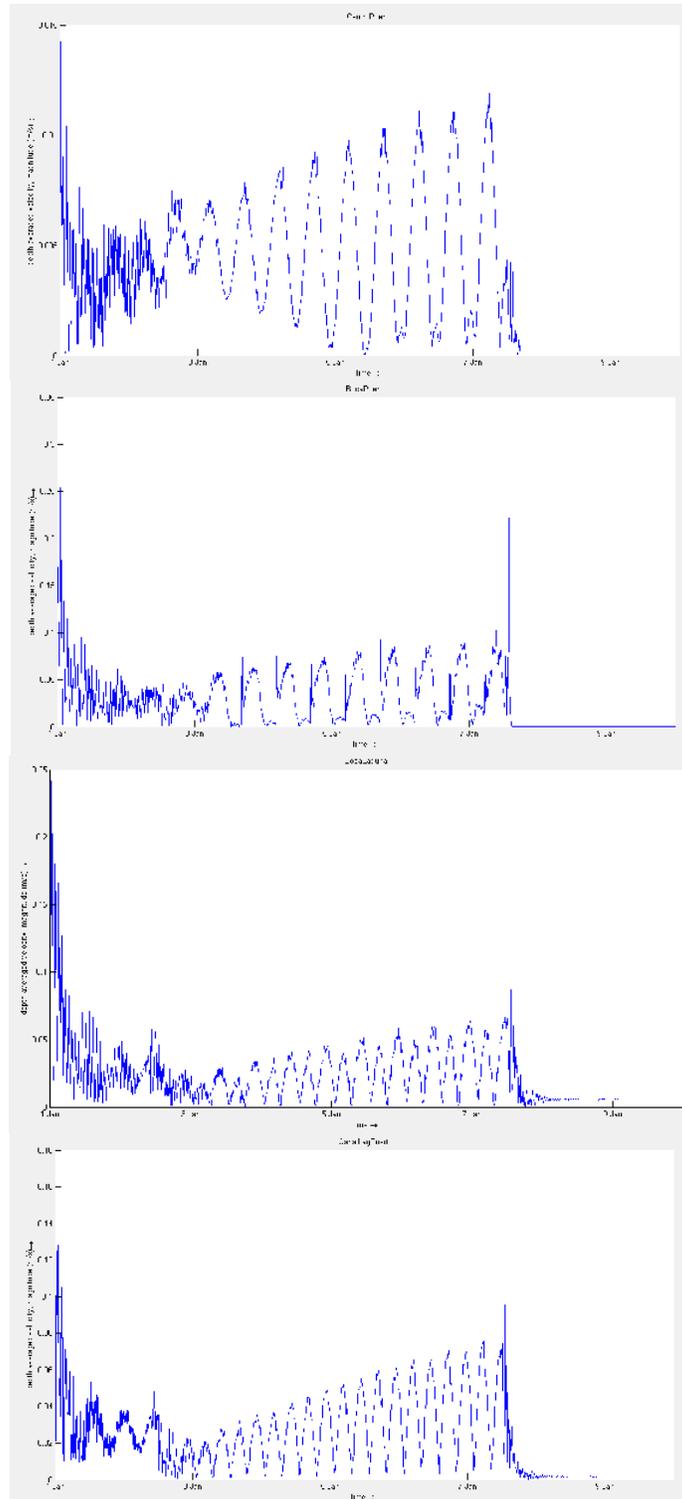
Se incluyeron cuatro secciones transversales en el área de estudio, cuya función fue almacenar la suma de los flujos hidrodinámicos calculados, las tasas de flujo hidrodinámico, los flujos de materia y las tasas de transporte de materia. Así mismo, se

agregaron 15 puntos descargas de sedimentos dentro de la laguna y el Puerto Interior, los cuales se idealizaron para que descargaran de forma constante durante el tiempo de simulación. También se colocaron cuatro boyas o puntos numéricos para el monitoreo del flujo de agua (**Figura 152**).



**Figura 152.** Ubicación hipotética de los puntos de descarga (puntos amarillos), puntos numéricos (puntos rojos) y secciones transversales (líneas azules).

A continuación, se muestran los resultados preliminares, obtenidos de la simulación hipotética, del modelo acoplado el modelo hidrodinámico y el módulo del transporte de sedimentos. De acuerdo con los resultados preliminares, en las siguientes figuras se muestra la magnitud de la velocidad promedio, en donde se observó que la mínima velocidad promedio se presentó en el centro del canal incrementando la variabilidad conforme avanza el tiempo de simulación, en donde la velocidad máxima fue de 0.01 m/s. Mientras que en la boca del puerto y en la boca de la laguna, una vez que se estabilizó la señal, se mantuvo prácticamente constante, sin ser mayor a 0.1 m/s. Y en la zona de interconexión entre la laguna y el puerto, la velocidad también incrementó con respecto al tiempo de simulación, con valores entre 0.2 y 0.6 m/s (**Figura 153**).



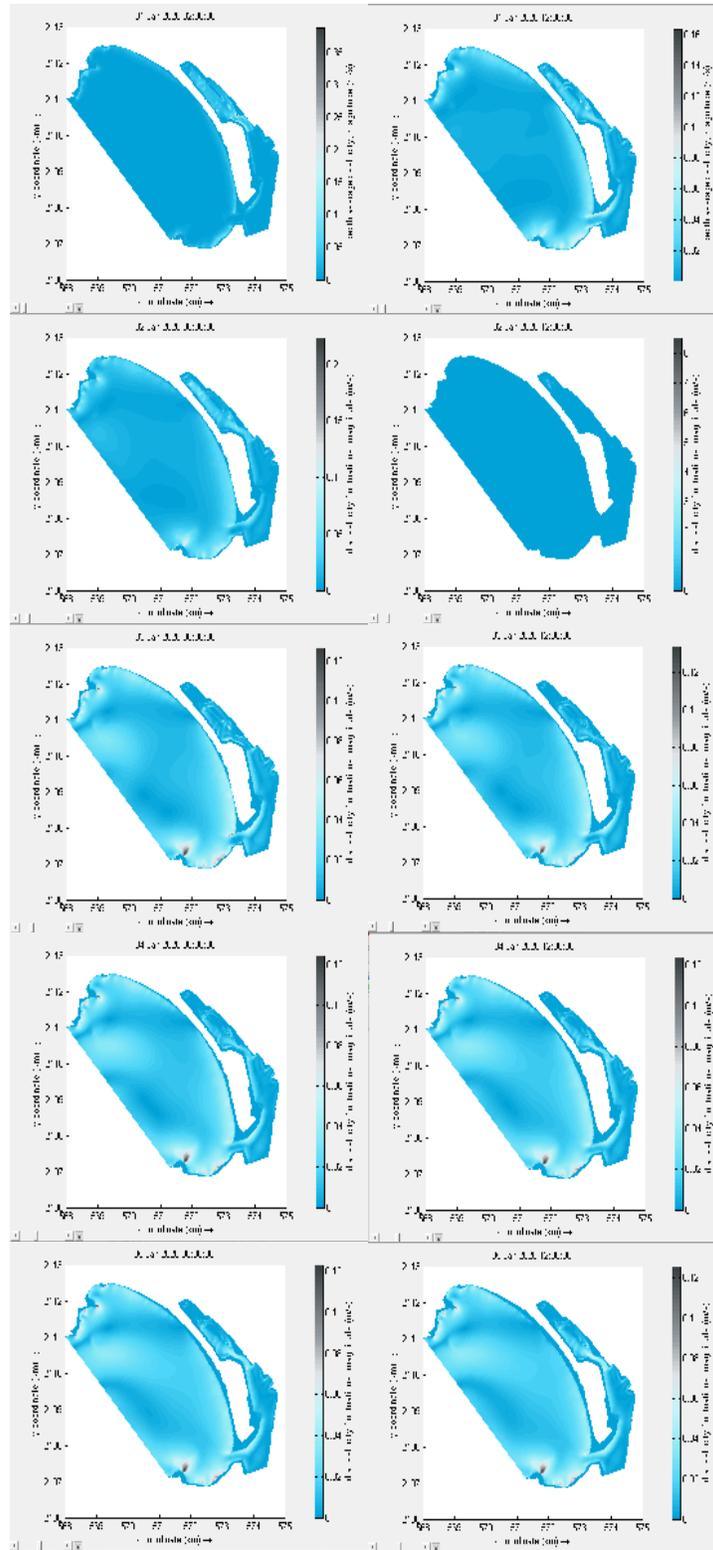
**Figura 153. Velocidad promedio (m/s) durante el tiempo de simulación en diferentes zonas del sitio.**

Con respecto a los valores de la fluctuación de la velocidad de las corrientes en el sitio de estudio, se observa que las mayores fluctuaciones se presentan en los canales de entrada del puerto y de la laguna, las cuales incrementan conforme avance el tiempo de simulación (**Figura 154**).

A continuación, se muestran algunos de los resultados preliminares que se obtuvieron al implementar en el modelo el módulo del transporte de sedimentos. Se muestran los resultados obtenidos del modelo del transporte de partículas suspendidas (sedimentos cohesivos) a lo largo del tiempo de simulación, se observa que la mayor magnitud del transporte de partículas se presentó en los canales tanto del Puerto Interior como de la laguna, intensificándose en el canal de intercomunicación entre los dos sistemas.

Los resultados son similares entre el 3 y el 7 de enero. Aunque estos son resultados preliminares, podrían estar sugiriendo un aporte de sedimentos desde la laguna hacia el Puerto Interior y la bahía, sin embargo, es importante recalcar que es necesario utilizar la batimetría real en el modelo para poder tener resultados más precisos.

Los resultados aquí mostrados son resultados preliminares, ya que aún no se está utilizando la batimetría real en todo el dominio, únicamente se tienen algunos valores reales de la sección de interconexión entre el puerto y la laguna. Para el siguiente reporte se pretende contar con la batimetría real de la Laguna del Valle de las Garzas para poder obtener resultados más precisos (**Figura 155**).



**Figura 154. Fluctuaciones de la velocidad de las corrientes durante el tiempo de simulación.**

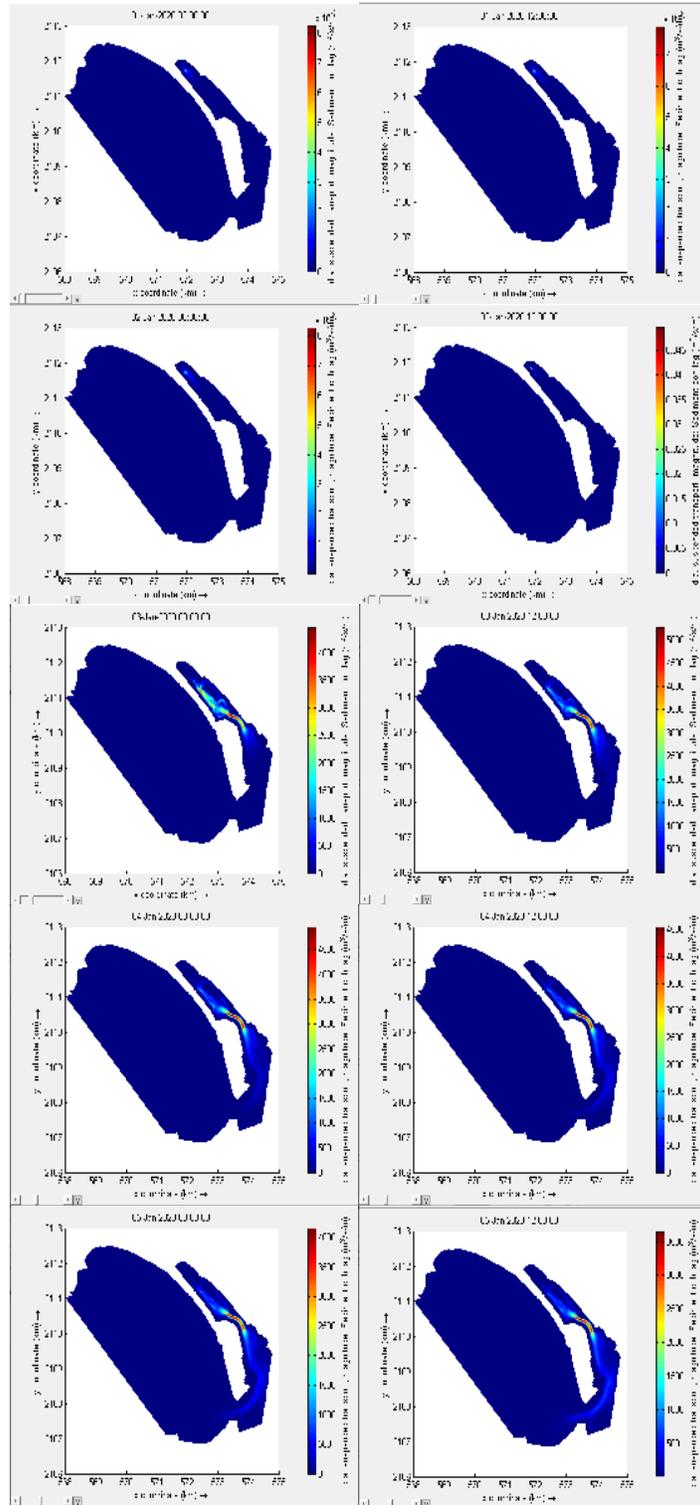


Figura 155. Magnitud del transporte de las partículas suspendidas.

## **VI.7 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en febrero 2020.**

Se siguió trabajando en la aplicación del modelo numérico **Delft3D**, el cual se quiere probar y validar, de tal manera que simule la hidrodinámica característica del cuerpo de agua que facilitará conocer la circulación en la laguna y que además exponga el transporte de sedimentos que esta conlleva, con el fin de apoyar a identificar zonas de erosión y depósito de sedimentos. Los resultados que un modelo puede brindar mejorarán la habilidad de predecir los futuros cambios de este sistema y con esto la posibilidad de determinar estrategias para mejorar el manejo de la Laguna del Valle de las Garzas (**LVG**).

El modelo Delft3D es una plataforma compuesta por una serie de módulos que permiten la modelación de la hidrodinámica, la propagación del oleaje, el transporte de sedimentos, el transporte de objetos en deriva, el cambio de partículas no conservativas, la calidad de agua, entre otros procesos presentes en costas, estuarios, deltas y lagunas costeras; asimismo, el software permite acoplar distintos módulos de acuerdo con las necesidades que requiera el proyecto.

Por el momento, se obtuvo la batimetría de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior de la carta náutica de la Secretaría de Marina (SEMAR), la cual ya fue digitalizada utilizando el programa AUTOCAD (**Figuras 156 y 157**).

Se espera contar con dos batimetrías (época de lluvias y sequías) de la Laguna del Valle de las Garzas, las cuales serán proporcionadas por la Administración Portuaria Integral de Manzanillo (API-Manzanillo). En enero se entregó una batimetría del puerto Interior y una parte de la Laguna del Valle de las Garzas, sin embargo, no es suficiente, ya que es necesario contar con la batimetría de toda la laguna del Valle de las Garzas y el Puerto Interior. Es importante señalar que lo referente a los forzamientos y datos batimétricos, es necesario precisar que, para avanzar hacia la implementación operacional del modelo numérico para el estudio de la hidrodinámica de la Laguna del Valle de las Garzas, es necesario contar con información completa que pase un adecuado control de calidad.

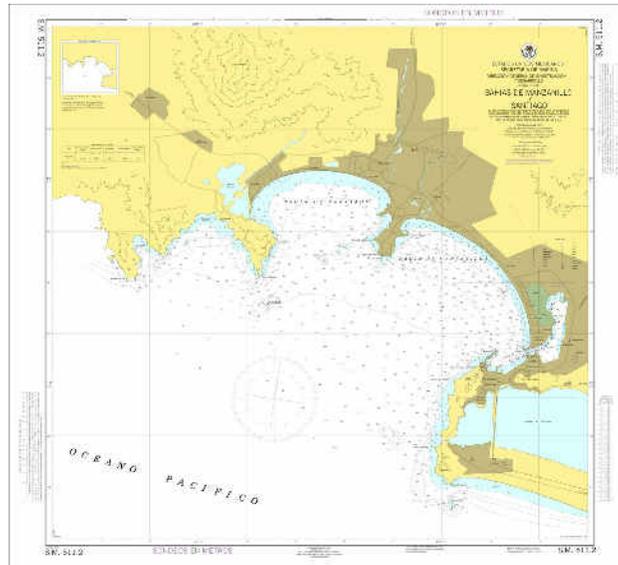


Figura 156. Carta náutica de la Bahías de Manzanillo y Santiago (SEMAR).

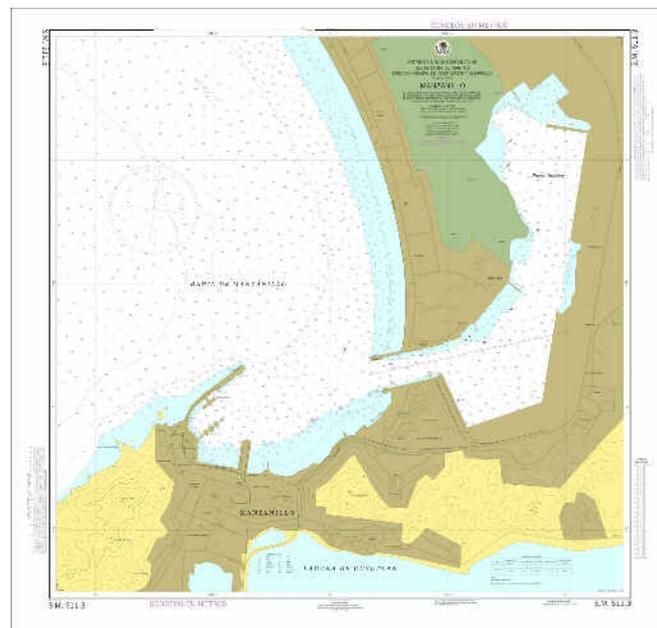
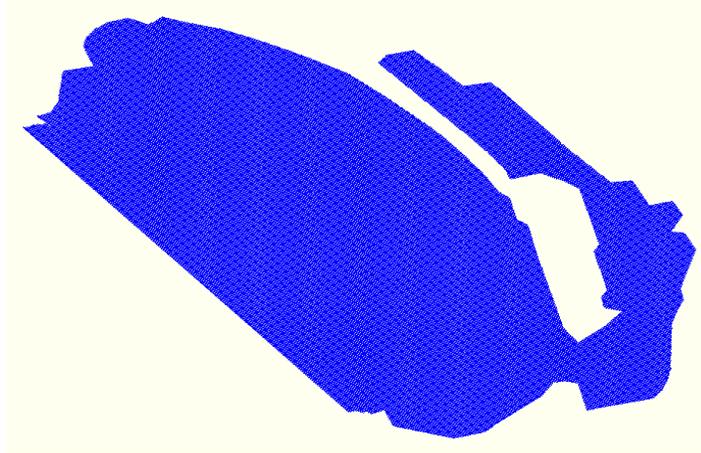


Figura 157. Carta náutica del Puerto Interior (SEMAR).

Una vez introducidas la línea de costa en el modelo Delft3D, para las pruebas preliminares del presente reporte, se generó una malla de  $10 \times 10 \text{ m}^2$  para toda el área de estudio. En la **Figura 158**, se muestra la malla generada, es importante resaltar que posteriormente se utilizarán mallas anidadas para mejorar la resolución del dominio. Se

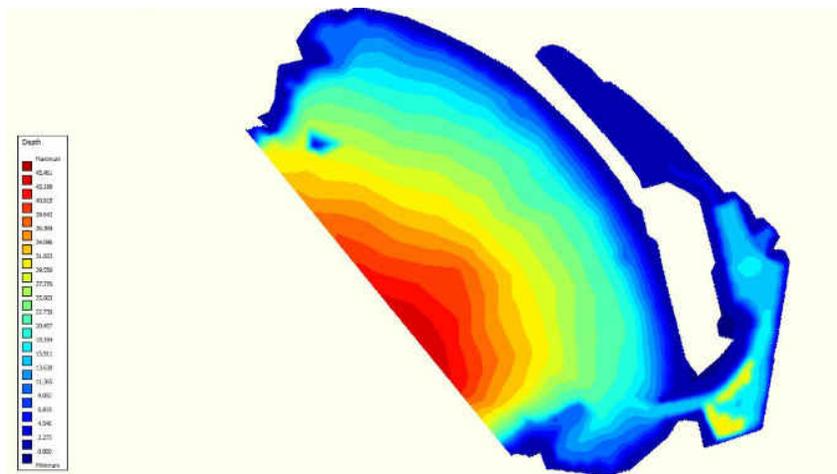
estudia y se plantea tener una mayor resolución en el canal de comunicación entre el recinto portuario y la laguna.



**Figura 158. Malla generada en el programa Delft3D para la Bahía de Manzanillo, el Recinto Portuario y la laguna del Valle de las Garzas.**

Para las primeras pruebas que se realizaron, se consideró la batimetría descrita en la sección anterior para la Bahía de Manzanillo y el Puerto Interior, sin embargo, para la laguna del Valle de las Garzas se consideraron profundidades entre 1 y 3 m (caso hipotético), siendo las mayores profundidades consideradas para los canales situados cerca de la boca de la laguna (**Figura 159**). También se añadieron puntos a la batimetría obtenidos de mediciones *in situ*, en el área del canal de intercomunicación entre la laguna y el puerto interior.

Para el modelo del transporte de sedimentos, se simuló un periodo de diez días en el dominio que cubre la Laguna del Valle de las Garzas y la Bahía de Manzanillo. El modelo se forzó con viento y las principales componentes de marea astronómica ( $M_2$  y  $S_2$ ). Los sedimentos agregados al modelo fueron tipo cohesivos, que corresponden a partículas de granos muy finos como limos y arcillas, los cuales corresponden a la constitución de tamaño de grano encontrada en el área de estudio, con una densidad de  $5 \text{ kg/m}^3$  (**Tabla 45**).



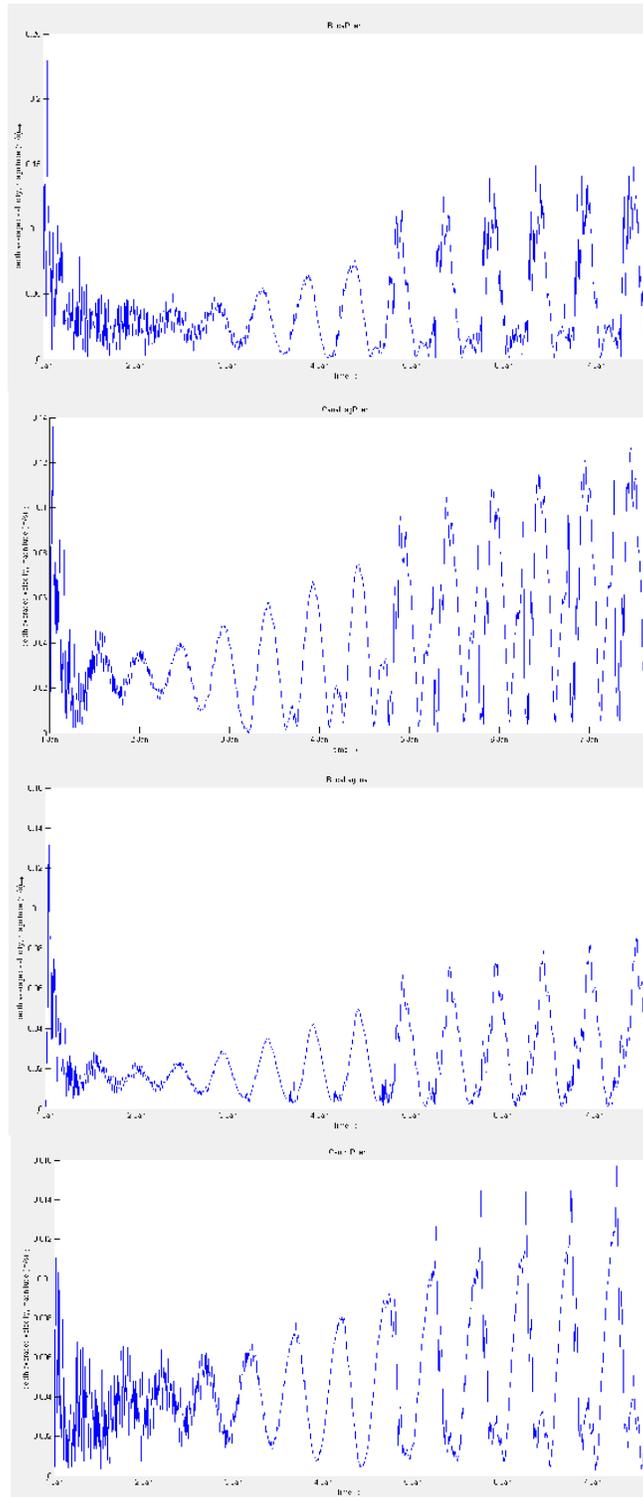
**Figura 159. Batimetría utilizada para prueba preliminar obtenida de carta náutica de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior.**

**Tabla 45. Condiciones iniciales del modelo.**

Período de simulación	Fecha inicial	01 de enero de 2020
	Fecha de término	10 de enero de 2020
Forzamientos	Viento	Inicio y fin de 3 m/s y 45°N
	Marea astronómica	M2 0.1454 m de amplitud y una fase de 292.3° S2 0.1679 m de amplitud y una fase de 268.8
Sedimentos (características)	Cohesivos	
	Densidad promedio de 2050 kg/m <sup>3</sup> (valor promedio de granulometría de octubre)	
	Erosión y sedimentación uniforme	
	**Por default una densidad debe ser agregada en la frontera abierta del dominio (inicio el día 15 con 0 kg/m <sup>3</sup> y terminó el 20 con 1 kg/m <sup>3</sup> )	
**Las cinco descargas se idealizaron con 0 kg/m <sup>3</sup> el día 15 y terminaron el 20 con 5 kg/m <sup>3</sup>		

Se incluyeron cuatro secciones transversales en el área de estudio, cuya función fue almacenar la suma de los flujos hidrodinámicos calculados, las tasas de flujo hidrodinámico, los flujos de materia y las tasas de transporte de materia. Así mismo, se agregaron 15 puntos descargas de sedimentos dentro de la laguna y el Puerto Interior, los cuales se idealizaron para que descargaran de forma constante durante el tiempo





**Figura 161. Velocidad promedio (m/s) durante el tiempo de simulación en diferentes zonas del sitio.**

La fluctuación de la velocidad de las corrientes, se observó que las mayores oscilaciones se presentaron en los canales del puerto y de la laguna, las cuales incrementan conforme avanza el tiempo de simulación. Las máximas oscilaciones fueron mayores a 0.1 m/s (**Figura 162**).

A continuación, se muestran algunos de los resultados preliminares que se obtuvieron al implementar en el modelo el modulo del transporte de sedimentos. Se muestran los resultados obtenidos del modelo del transporte de partículas suspendidas (sedimentos cohesivos) a lo largo del tiempo de simulación, a excepción de la zona más interna de la laguna se observa un punto máximo de transporte de sedimentos (alrededor de  $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ), los resultados no mostraron cambios ni temporales ni espaciales, siendo menores a  $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ .

Aunque estos son resultados preliminares, podrían estar sugiriendo un aporte de sedimentos desde la laguna hacia el Puerto Interior y la bahía, sin embargo, es importante recalcar que es necesario utilizar la batimetría real en el modelo para poder tener resultados más precisos.

Los resultados aquí mostrados son resultados preliminares, ya que aún no se está utilizando la batimetría real en todo el dominio, únicamente se tienen algunos valores reales de la sección de interconexión entre el puerto y la laguna. Para el siguiente reporte se pretende contar con la batimetría real de la Laguna del Valle de las Garzas para poder obtener resultados más precisos (**Figura 163**).

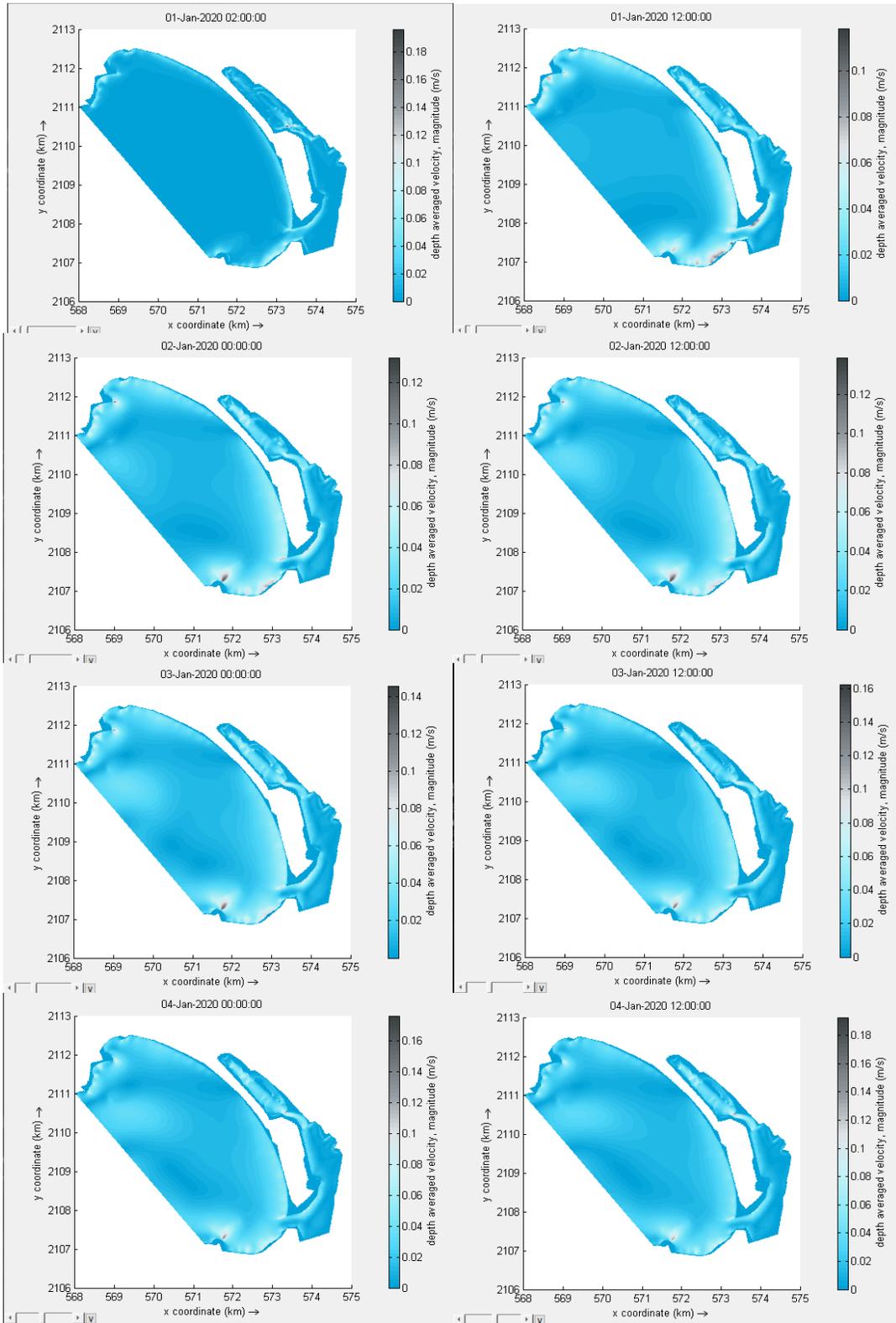


Figura 162. Oscilaciones de la velocidad de las corrientes durante el tiempo de simulación.

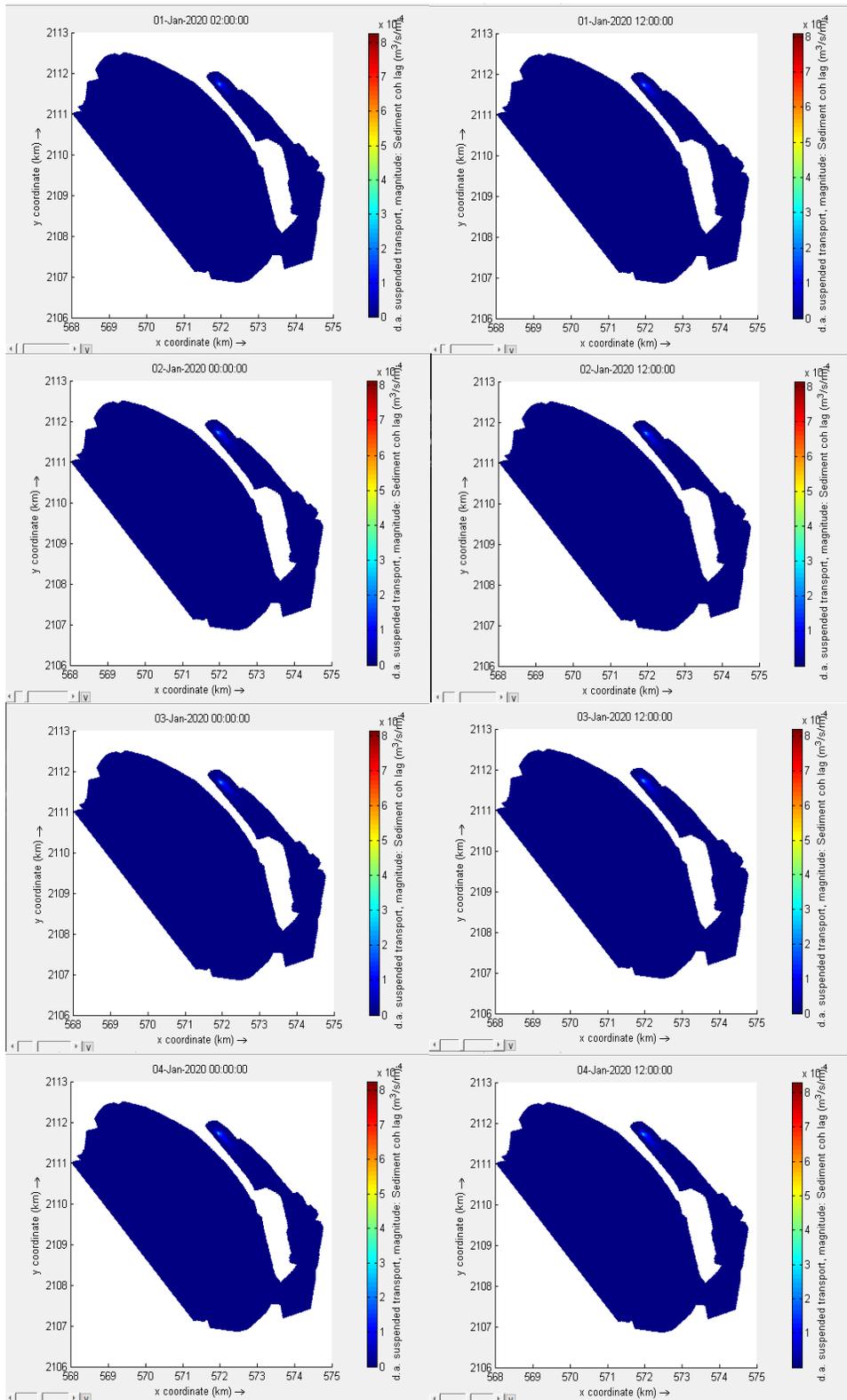
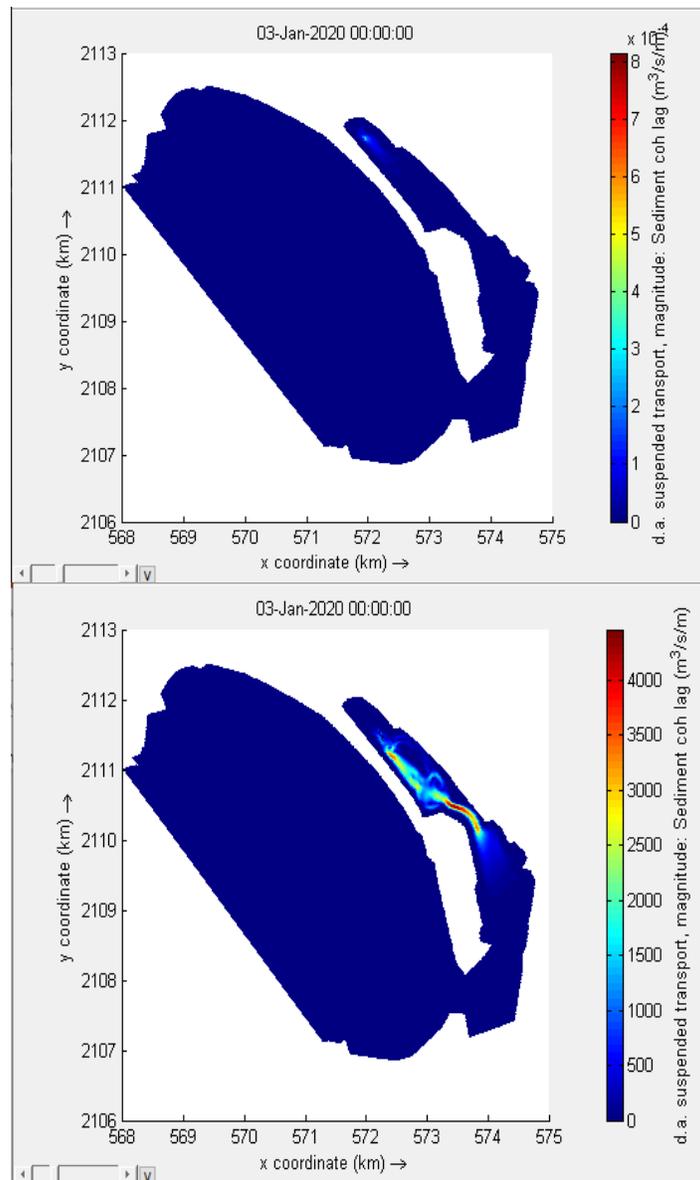


Figura 163. Magnitud del transporte de las partículas suspendidas.

Comparando los resultados actuales con los anteriores en donde no se había considerado el obstáculo (gavión), se observaron diferencias principalmente en el canal de interconexión entre la laguna y el puerto y en los principales canales de la laguna, en donde el transporte de partículas alcanzaba valores de hasta  $4000 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ . En la **Figura 164**, se muestra una comparación entre los valores actuales (con el obstáculo) y los valores sin el obstáculo, considerando en ambas las mismas condiciones.



**Figura 164.** Transporte de sedimentos considerando un obstáculo cercano al canal de interconexión entre la laguna y el puerto (superior) y sin considerar el obstáculo.

## **VI.8 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en marzo 2020.**

Se continuó trabajando en la aplicación del modelo numérico **Delft3D**, el cual se quiere probar y validar, de tal manera que simule la hidrodinámica característica del cuerpo de agua que facilitará conocer la circulación en la laguna y que además exponga el transporte de sedimentos que esta conlleva, con el fin de apoyar a identificar zonas de erosión y depósito de sedimentos. Los resultados que un modelo puede brindar mejorarán la habilidad de predecir los futuros cambios de este sistema y con esto la posibilidad de determinar estrategias para mejorar el manejo de la Laguna del Valle de las Garzas (**LVG**). La laguna del Valle de las Garzas, ha sufrido diversas modificaciones debido principalmente a la construcción y ampliación del recinto portuario y al crecimiento urbano de las zonas aledañas.

La reducción de la comunicación entre la laguna del Valle de las Garzas y la Bahía de Manzanillo, debido a la construcción del gavión, ha ocasionado una disminución en el flujo y reflujo del agua. Además, el cuerpo de agua es utilizado como laguna de oxidación de aguas grises de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras de la Comisión Nacional de Agua y Alcantarillado de la ciudad de Manzanillo (CAPDAM), la cual descarga diariamente dentro de ella.

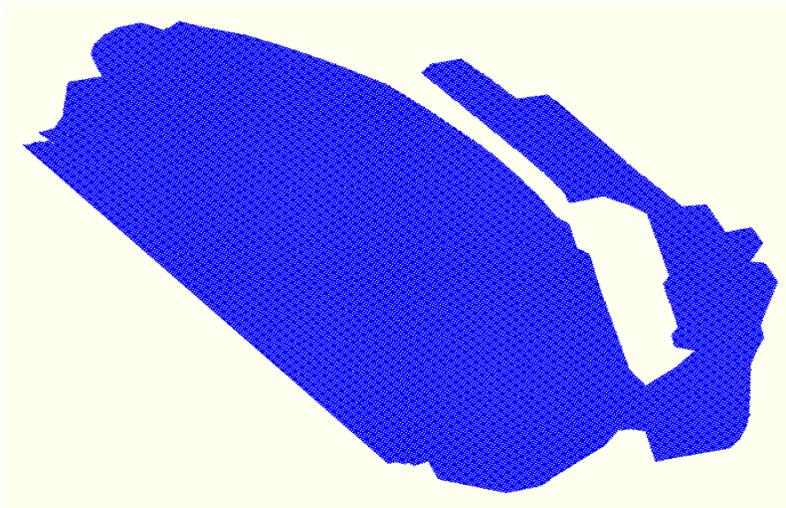
La reducida hidrodinámica, ocasiona que gran parte del material orgánico sea depositado en el fondo, generando un riesgo en la salud del ecosistema, así como riesgos potenciales a los habitantes de las comunidades cercanas.

Por el momento, se obtuvo la batimetría de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior de las cartas náuticas de la Secretaría de Marina (SEMAR), las cuales ya fueron digitalizadas utilizando el programa AUTOCAD.

Se espera contar con dos batimetrías (época de lluvias y sequías) de la Laguna del Valle de las Garzas, las cuales serán proporcionadas por la Administración Portuaria Integral de Manzanillo (API-Manzanillo). Es importante mencionar que los modelos numéricos son una aproximación de la realidad y si los datos de entrada, como

condiciones iniciales y forzamientos son erróneos, los resultados también serán erróneos, lo que podría implicar la toma de decisiones con insuficiente base científica.

Una vez introducidas la línea de costa en el modelo Delft3D, para las pruebas preliminares del presente reporte, se generó una malla de  $10 \times 10 \text{ m}^2$  para toda el área de estudio. En la **Figura 165**, se muestra la malla generada, es importante resaltar que posteriormente se utilizarán mallas anidadas para mejorar la resolución del dominio.

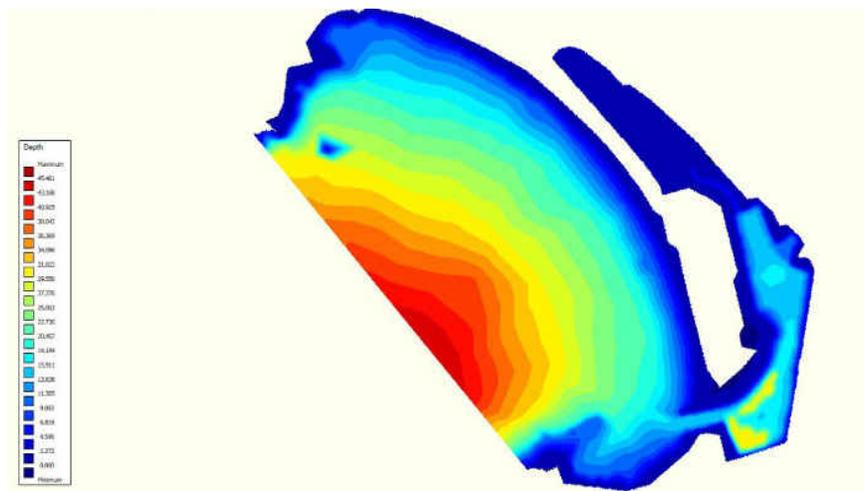


**Figura 165. Malla generada en el programa Delft3D para la Bahía de Manzanillo, el Recinto Portuario y la laguna del Valle de las Garzas.**

Para las primeras pruebas que se realizaron para el presente informe, se consideró la batimetría descrita en la sección anterior para la Bahía de Manzanillo y el Puerto Interior, sin embargo, para la laguna del Valle de las Garzas se consideraron profundidades entre 1 y 3 m (caso hipotético), siendo las mayores profundidades consideradas para los canales situados cerca de la boca de la laguna (**Figura 166**).

Para este informe se consideró un gradiente salino hipotético con el objetivo de evaluar el flujo y reflujo de la marea considerando la salinidad como un componente conservativo. El modelo se forzó con viento y las principales componentes de marea astronómica ( $M_2$  y  $S_2$ ). Las condiciones posteriores de salinidad se consideraron como descargas en tres puntos al interior de la laguna y en dos puntos en el Puerto Interior,

con salinidades entre 21 ups y 33 ups, con las salinidades más bajas hacia el punto más interno de la laguna. El flujo (hipotético) de las descargas fue de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , en todos los puntos (**Tabla 46**).



**Figura 166.** Batimetría utilizada para prueba preliminar obtenida de carta náutica de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior.

**Tabla 46.** Condiciones iniciales del modelo.

Período de simulación	Fecha inicial	03 de abril de 2020
	Fecha de término	05 de abril de 2020
Forzamientos	Viento	Inicio y fin de 5 m/s y 45°N
	Marea astronómica	M <sub>2</sub> 0.1454 m de amplitud y una fase de 292.3° S <sub>2</sub> 0.1679 m de amplitud y una fase de 268.8
Condiciones fisicoquímicas	Salinidad	

A continuación, se muestran los resultados preliminares, obtenidos de la simulación hipotética, del modelo acoplando el modelo hidrodinámico y el módulo de salinidad. De acuerdo con los resultados preliminares, la velocidad osciló entre 0.12 m/s y 0.16 m/s; mientras que en la boca de la laguna se presentó la velocidad promedio mínima de aproximadamente 0.08 m/s. Las velocidades varían con relación al flujo y reflujos de la marea, (**Figura 167**).

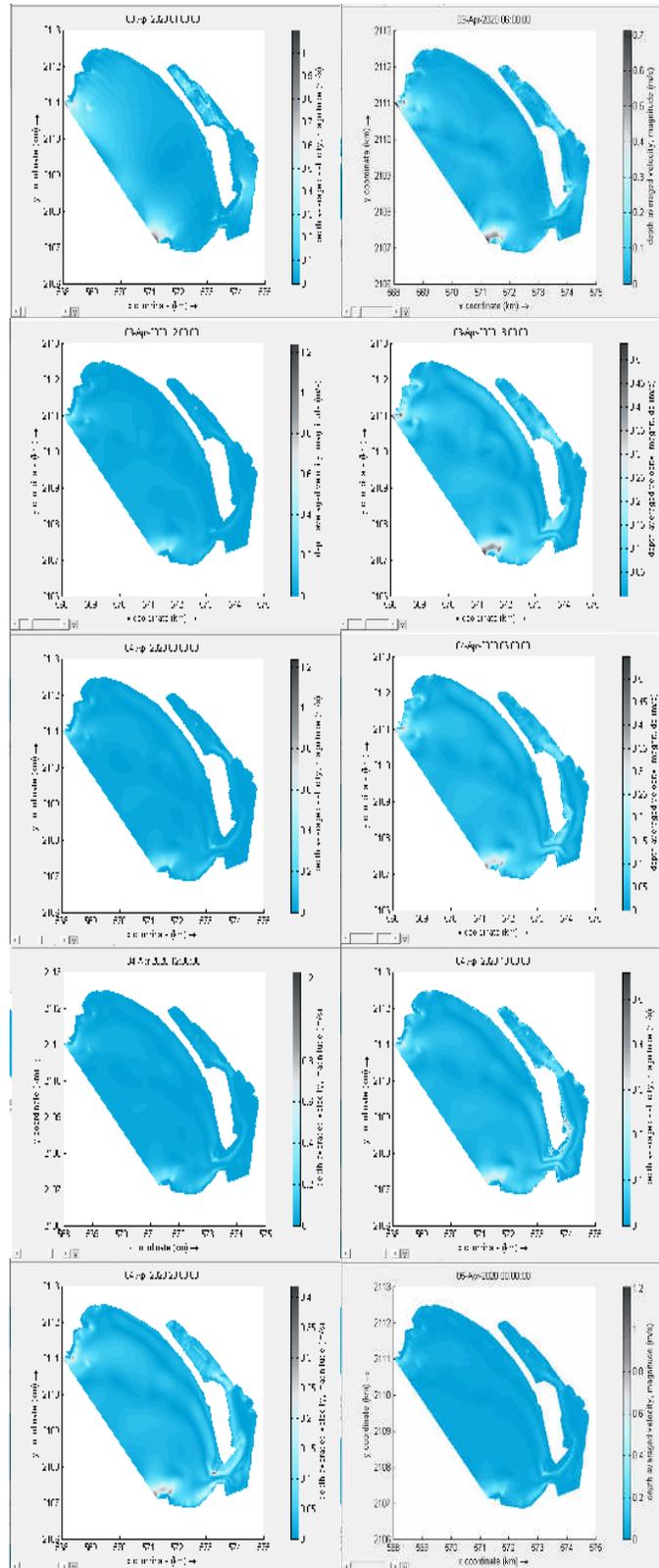
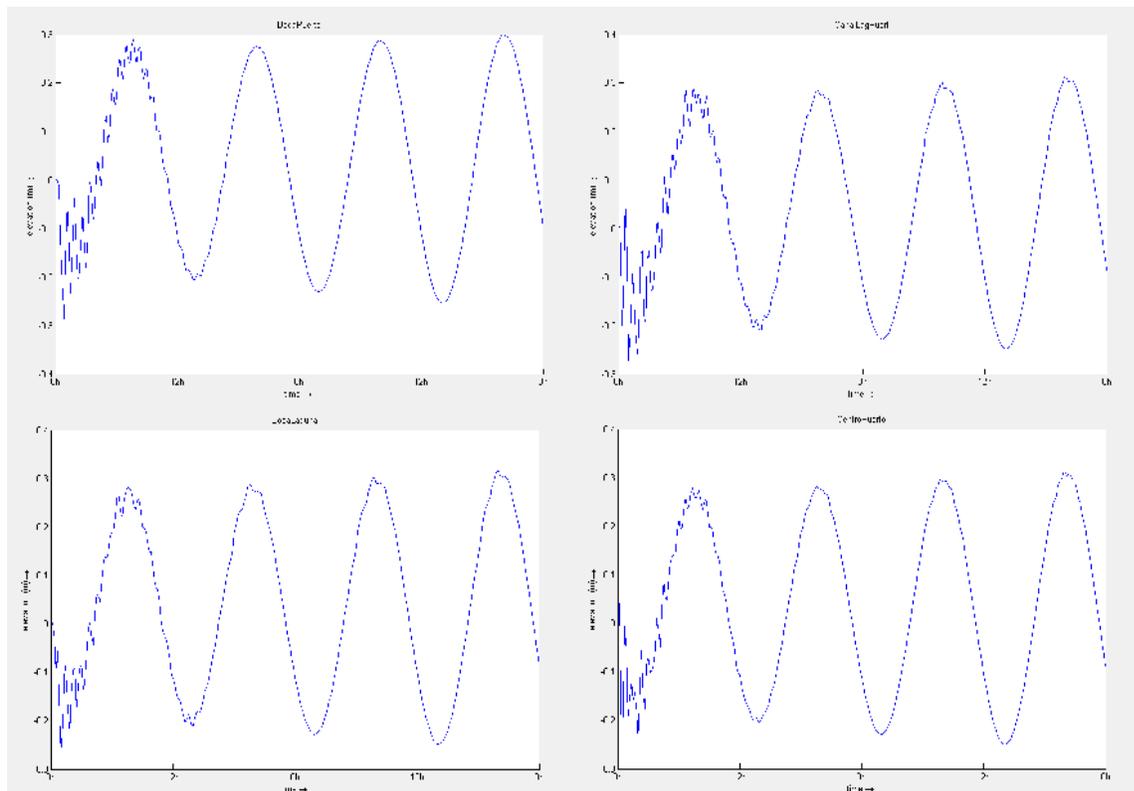


Figura 167. Velocidad promedio (m/s) durante el tiempo de simulación en diferentes zonas del sitio.

Enseguida se muestra el nivel del agua en diferentes zonas del dominio, como la boca del Puerto Interior, el centro del Puerto, la boca de la laguna y el Canal de Comunicación entre la laguna y el puerto. Se observó claramente la relación del nivel del mar asociado a la variación de las mareas, que presentan dos mareas altas y dos bajas (pleamar y bajamar), con un nivel máximo en pleamar de 0.3 m y con un nivel mínimo de -0.25 m en todos los puntos de referencia, **(Figura 168)**.



**Figura 168. Nivel del mar (m) en la boca del puerto, el canal de comunicación entre el puerto y la laguna, la boca de la laguna y el centro del puerto.**

Enseguida se muestran los resultados del modelo (hipotético) de salinidad. La fecha de inicio fue el 3 de abril a las 18 horas, se aprecia el gradiente hipotético en el cual, la salinidad disminuye al interior de la laguna. La salinidad en el océano es de 35 ups, mientras que en la zona más interna de la laguna es menor a 28 ups. Conforme pasa el tiempo de la simulación, la estratificación se mantiene, con variaciones relacionadas al flujo y el reflujos de la marea **(Figura 169)**.

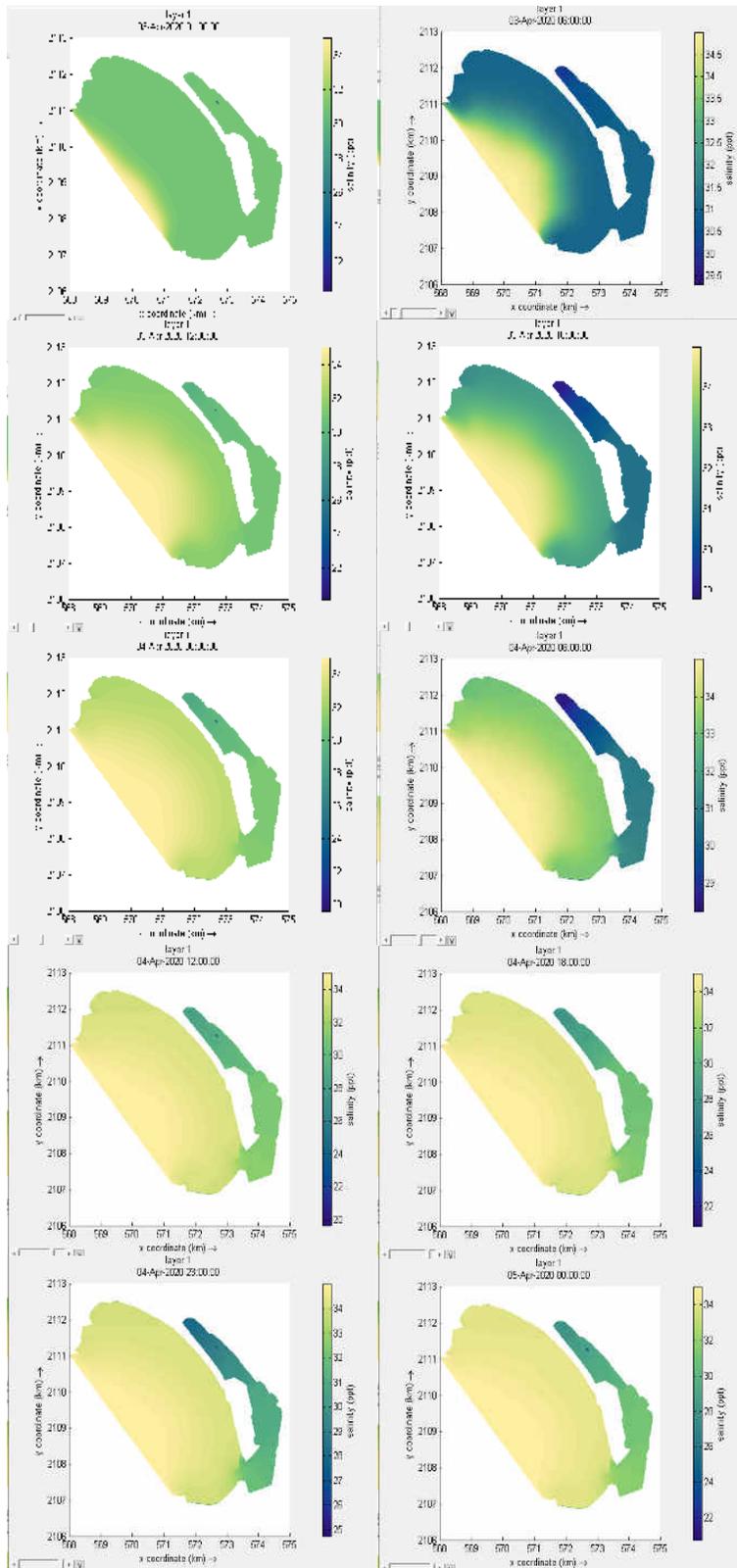


Figura 169. Salinidad durante el tiempo de simulación en el dominio de simulación.

Se considera que es necesario incrementar el tiempo de simulación para poder apreciar con mayor claridad la relación entre las variaciones de la salinidad y el flujo y refluo de la marea. Por otra parte, es necesario delimitar el océano y el puerto y la laguna, para lo cual se considera sumamente necesaria la batimetría de la laguna y así poder tener resultados más realistas, de los flujos entre el océano y los cuerpos costeros.

Los resultados aquí mostrados son resultados preliminares, ya que aún no se está utilizando la batimetría real en todo el dominio, únicamente se tienen algunos valores reales de la sección de interconexión entre el puerto y la laguna. Para el siguiente reporte se pretende contar con la batimetría real de la Laguna del Valle de las Garzas para poder obtener resultados más precisos.

#### **VI.9 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en abril 2020.**

Se siguió trabajando en la aplicación del modelo numérico **Delft3D**, el cual se quiere probar y validar, de tal manera que simule la hidrodinámica característica del cuerpo de agua que facilitará conocer la circulación en la laguna y que además exponga el transporte de sedimentos que esta conlleva, con el fin de apoyar a identificar zonas de erosión y depósito de sedimentos. Los resultados que un modelo puede brindar mejorarán la habilidad de predecir los futuros cambios de este sistema y con esto la posibilidad de determinar estrategias para mejorar el manejo de la Laguna del Valle de las Garzas (**LVG**). La Laguna del Valle de las Garzas, ha sufrido diversas modificaciones debido principalmente a la construcción y ampliación del recinto portuario y al crecimiento urbano de las zonas aledañas.

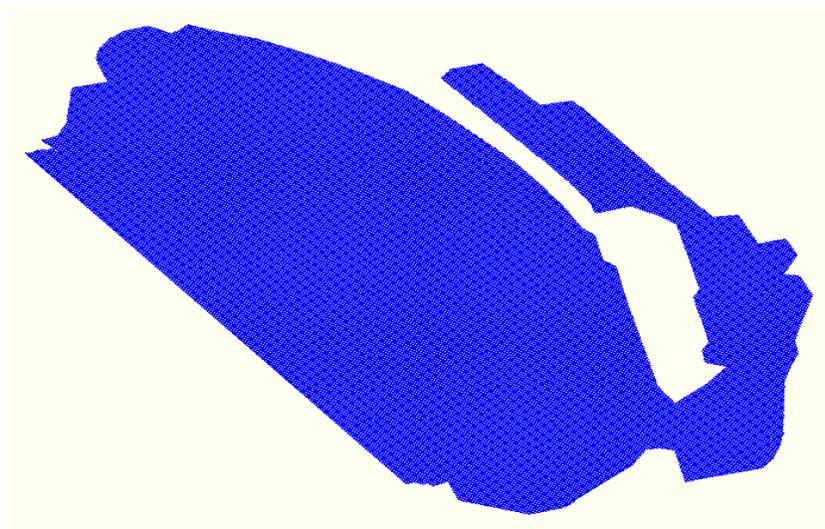
Los resultados que un modelo puede brindar mejorar la habilidad de predecir los futuros cambios de este sistema y con esto la posibilidad de determinar estrategias para optimizar el manejo de la Laguna del Valle de las Garzas.

Por el momento, se obtuvo la batimetría de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior de la carta náutica de la Secretaría de Marina (SEMAR), la cual ya fue digitalizada utilizando el programa AUTOCAD.

Se espera contar con dos batimetrías (época de lluvias y sequías) de la Laguna del Valle de las Garzas, las cuales serán proporcionadas por la Administración Portuaria Integral de Manzanillo (API-Manzanillo).

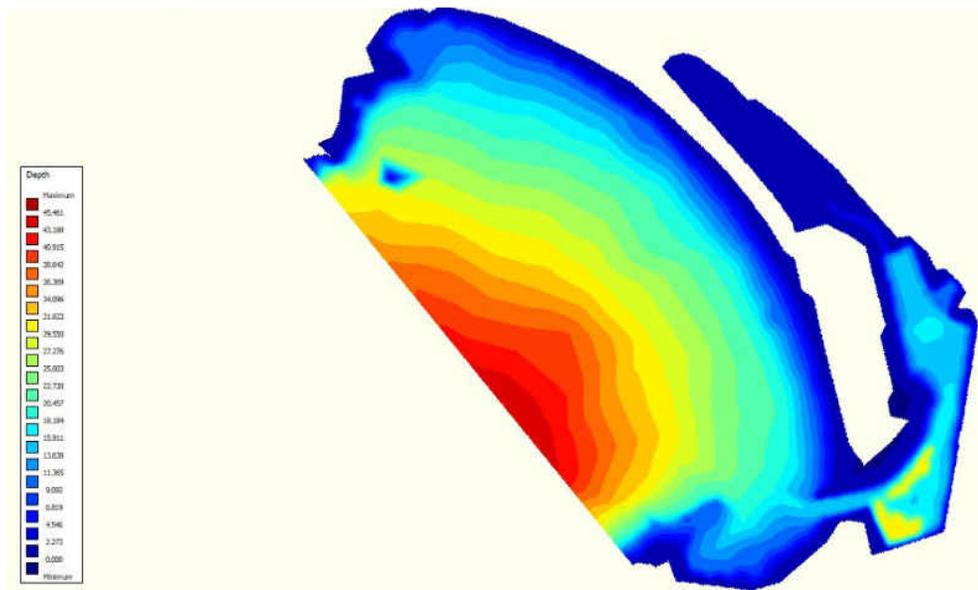
Es importante mencionar que los modelos numéricos son una aproximación de la realidad y si los datos de entrada, como condiciones iniciales y forzamientos son erróneos, los resultados también serán erróneos, lo que podría implicar la toma de decisiones con insuficiente base científica.

Una vez introducidas la línea de costa en el modelo Delft3D, se generó una malla de  $10 \times 10 \text{ m}^2$  para toda el área de estudio. En la **Figura 170**, se muestra la malla generada, es importante resaltar que posteriormente se utilizarán mallas anidadas para mejorar la resolución del dominio. Se estudia y se plantea tener una mayor resolución en el canal de comunicación entre el recinto portuario y la laguna.



**Figura 170.** Malla generada en el programa Delft3D para la Bahía de Manzanillo, el Recinto Portuario y la laguna del Valle de las Garzas.

Para las primeras pruebas preliminares, se consideró la batimetría descrita en la sección anterior para la Bahía de Manzanillo y el Puerto Interior, sin embargo, para la laguna del Valle de las Garzas se consideraron profundidades entre 1 y 3 m (caso hipotético), siendo las mayores profundidades consideradas para los canales situados cerca de la boca de la laguna (**Figura 171**).



**Figura 171. Batimetría utilizada para prueba preliminar obtenida de carta náutica de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior.**

Enseguida, se muestran los resultados preliminares, obtenidos de la simulación hipotética, del modelo acoplado los módulos de hidrodinámica y salinidad. De acuerdo con los resultados preliminares, en las siguientes figuras se muestra la magnitud de la velocidad promedio, en la boca y en la zona central del puerto, así como en el Canal de Comunicación (CC) entre el puerto y la laguna. La velocidad osciló entre 0.12 m/s y 0.16 m/s; mientras que en la boca de la laguna se presentó la velocidad promedio mínima de aproximadamente 0.08 m/s. Las velocidades varían con relación al flujo y reflujos de la marea, (**Figura 172**).

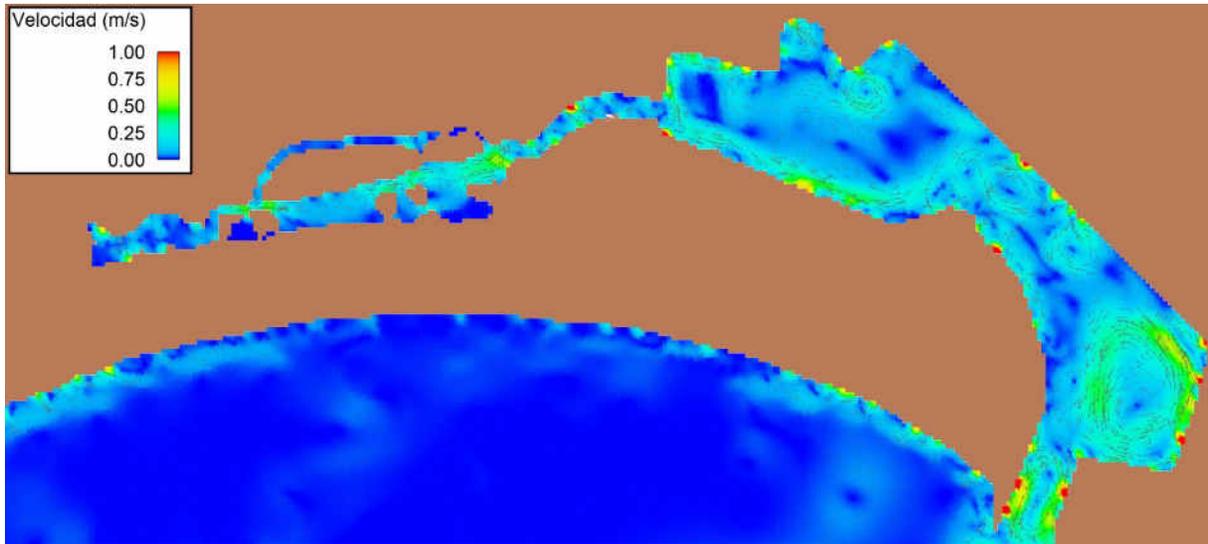


Figura 172. Velocidad promedio (m/s) durante el tiempo de simulación en la Laguna del Valle de las Garzas y zonas adyacentes.

Para este informe de abril, se consideró las condiciones de forzamiento de marea, obtenidas de <http://predmar.cicese.mx/>. El periodo de simulación comprendió del 1 al 7 de abril de 2020 (**Figura 173**).

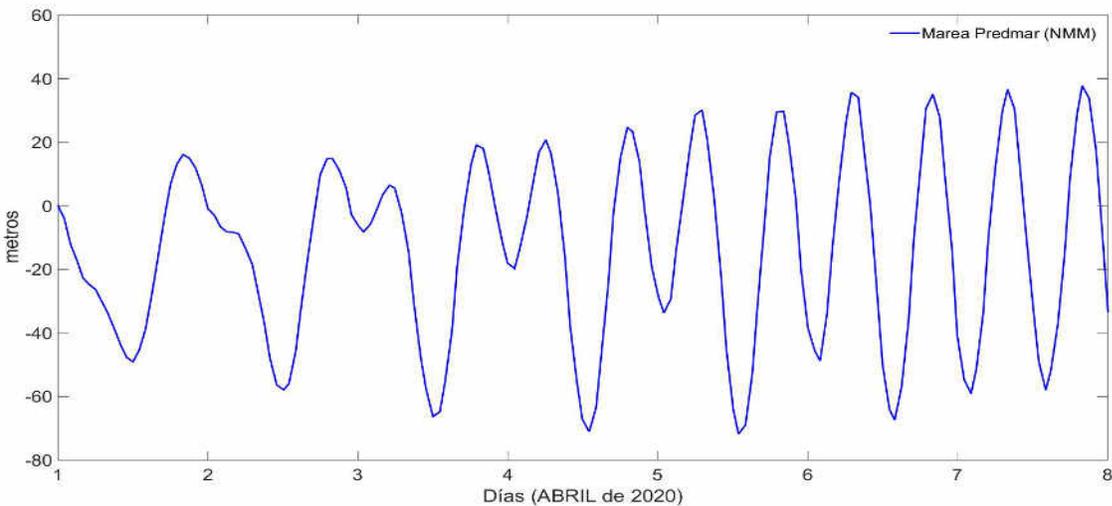
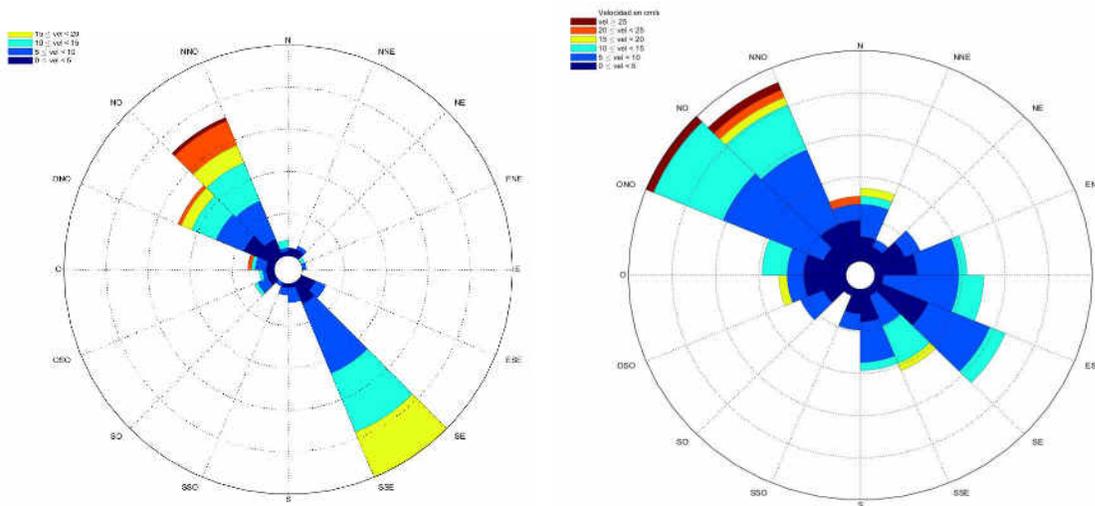


Figura 173. Pronóstico de marea para Manzanillo, del 1 al 7 de abril de 2020.

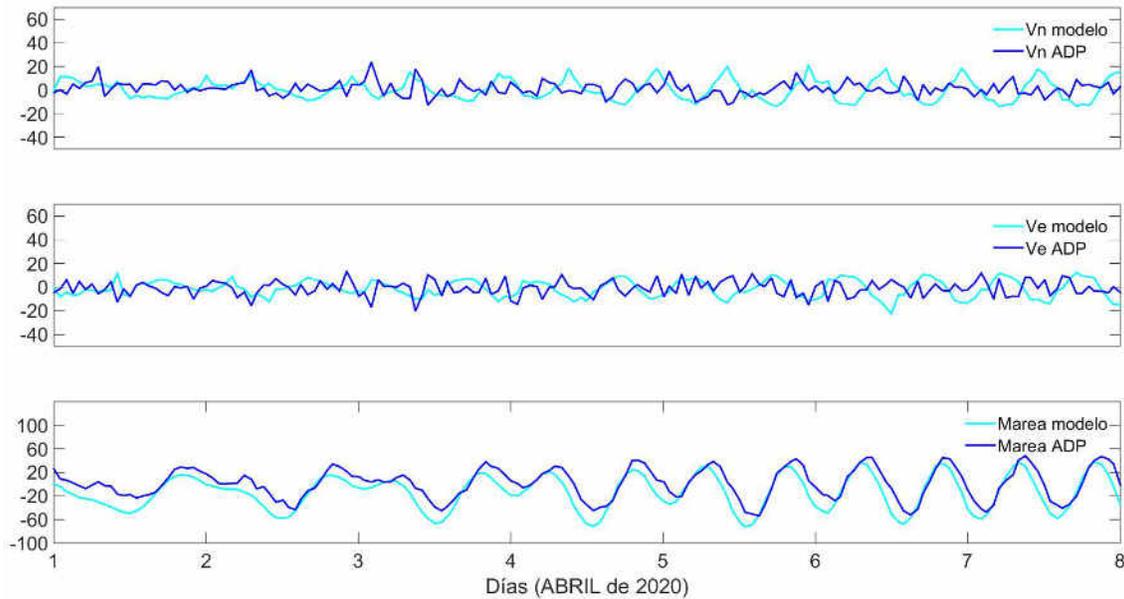
El modelo se forzó con viento y marea, a continuación, se muestran los resultados preliminares, obtenidos de la simulación hidrodinámica (hipotética) sin considerar el gavión que se encuentra entre la Laguna del Valle de las Garzas y el Puerto Interior.

En la **Figura 174**, se muestra la rosa de corrientes obtenida con datos horarios del modelo hidrodinámico numérico y la rosa de corrientes obtenida con el ADP, para el mismo periodo (1<sup>a</sup> semana de abril). El ADP se encuentra instalado en el Canal de Comunicación (CC) entre la laguna y el Puerto Interior.



**Figura 174.** Rosa de corrientes obtenidas mediante el modelo hidrodinámico numérico (izquierda) y rosa de corrientes obtenidas mediante el corrientímetro ADP (derecha).

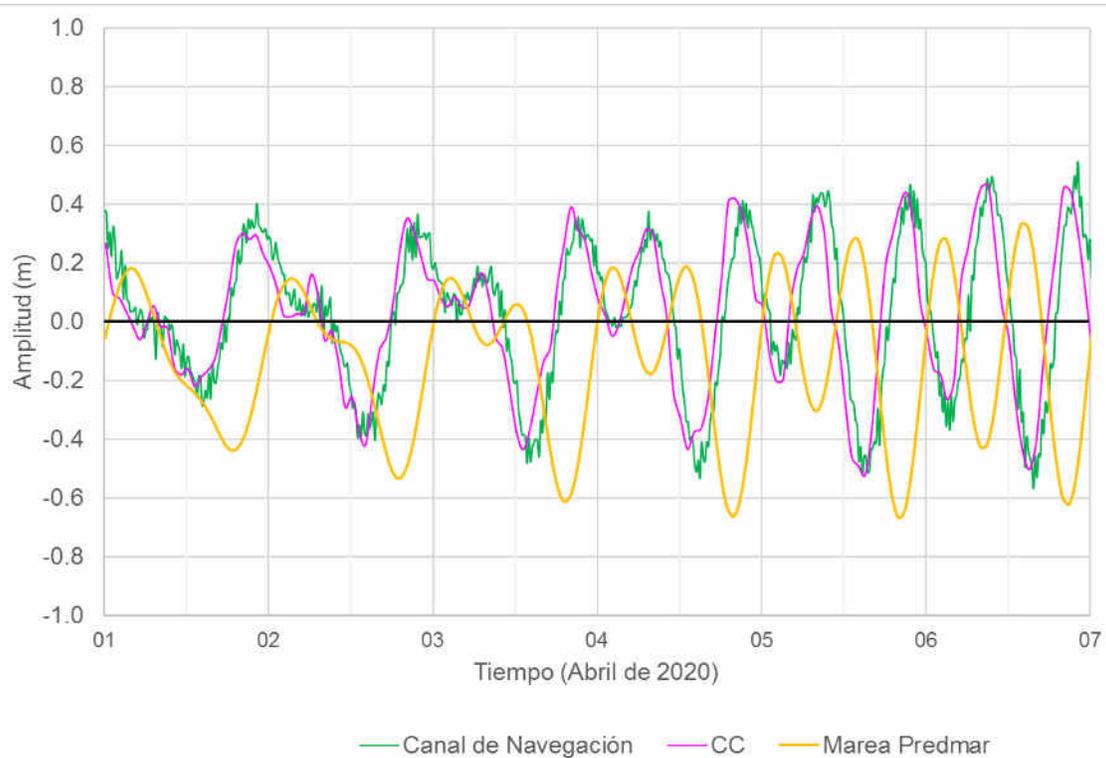
En la **Figura 175** se muestra un comparativo del nivel del agua y las velocidades zonal y meridional obtenidas con datos del modelo numérico y los datos registrados por el medidor de corrientes **ADP**, ambos para la primera semana de abril, es decir, el mismo periodo del 1 al 7 de abril de 2020,



**Figura 175. Comparativo de las series de tiempo de las velocidades zonal y meridional del modelo numérico y el ADP.**

Enseguida se muestra un comparativo del nivel del agua en dos diferentes sitios de medición, como el Canal de Navegación (CN) y el Canal de Comunicación (CC), así como, la predicción del nivel de marea pronosticada por el CICESE para la primera semana de abril de 2020. Se observó claramente la relación del nivel del mar asociado a la variación de las mareas, que presentan dos mareas altas y dos bajas (pleamar y bajamar), con un nivel máximo en pleamar de 0.3 m y con un nivel mínimo de -0.25 m en todos los puntos de referencia, **(Figura 176)**.

Los resultados aquí mostrados son resultados preliminares, ya que aún no se está utilizando la batimetría real en todo el dominio, únicamente se tienen algunos valores reales de la sección de interconexión entre el puerto y la laguna. Para el siguiente reporte se pretende contar con la batimetría real de la Laguna del Valle de las Garzas para poder obtener resultados más precisos.



**Figura 176. Nivel de marea registrada por CICESE (estación Manzanillo) y en Canal de Navegación (CN) y Canal de Comunicación (CC) del 1 al 7 de abril de 2020.**

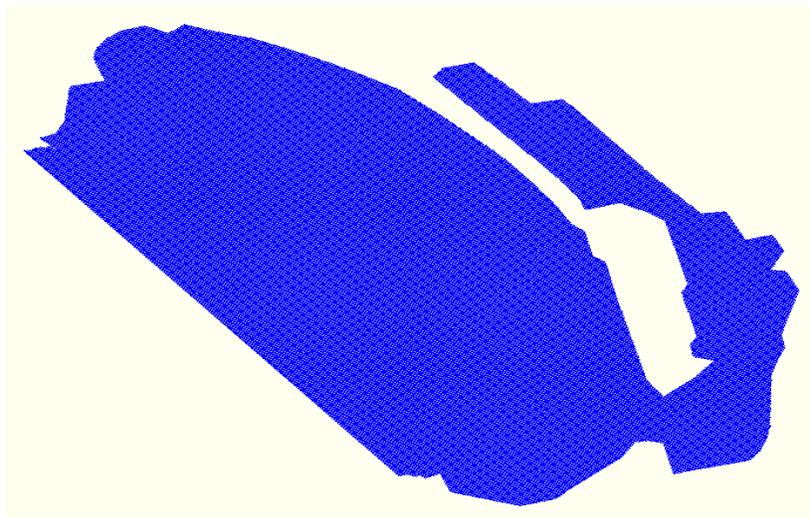
### **VI.10 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito, en mayo 2020.**

Se sigue trabajando en la aplicación del modelo numérico **Delft3D**, el cual se quiere probar y validar, de tal manera que simule la hidrodinámica característica del cuerpo de agua que facilitará conocer la circulación en la laguna y que además exponga el transporte de sedimentos que esta conlleva, con el fin de apoyar a identificar zonas de erosión y depósito de sedimentos. Los resultados que un modelo puede brindar mejorarán la habilidad de predecir los futuros cambios de este sistema y con esto la posibilidad de determinar estrategias para mejorar el manejo de la Laguna del Valle de las Garzas (**LVG**). La Laguna del Valle de las Garzas, ha sufrido diversas modificaciones debido principalmente a la construcción y ampliación del recinto portuario y al crecimiento urbano de las zonas aledañas.

Por el momento, se obtuvo la batimetría de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior de la carta náutica de la Secretaría de Marina (SEMAR), la cual ya fue digitalizada utilizando el programa AUTOCAD.

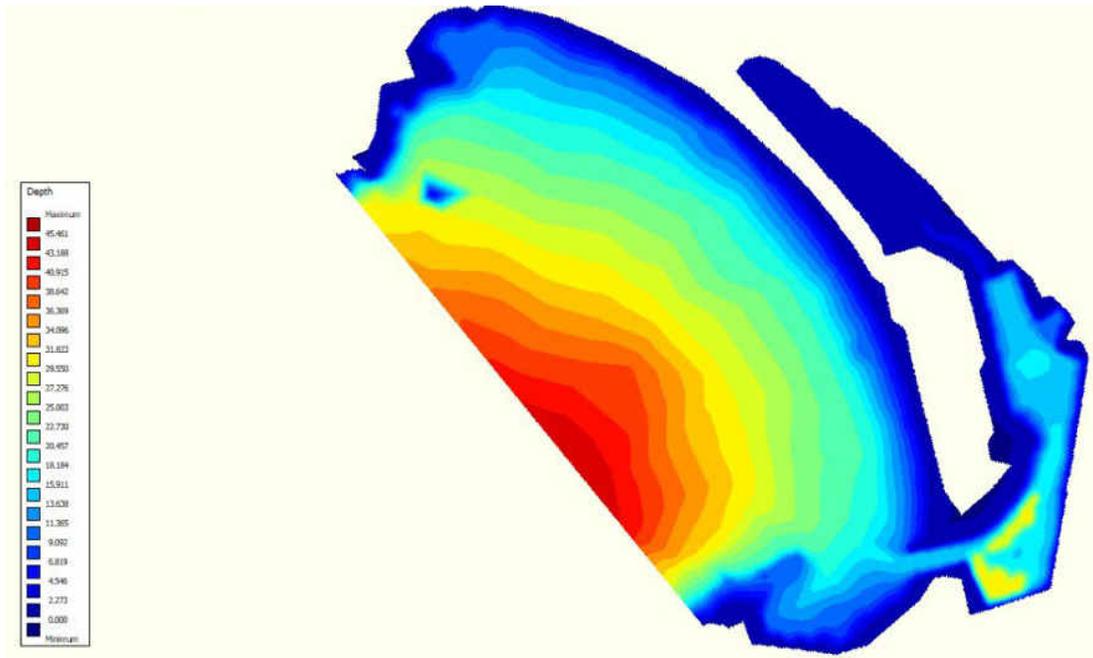
Se espera contar con dos batimetrías (época de lluvias y sequías) de la Laguna del Valle de las Garzas, las cuales serán proporcionadas por la Administración Portuaria Integral de Manzanillo (API-Manzanillo). Es importante mencionar que los modelos numéricos son una aproximación de la realidad y si los datos de entrada, como condiciones iniciales y forzamientos son erróneos, los resultados también serán erróneos, lo que podría implicar la toma de decisiones con insuficiente base científica.

Una vez introducidas la línea de costa en el modelo Delft3D, para las pruebas preliminares del presente reporte, se generó una malla de  $10 \times 10 \text{ m}^2$  para toda el área de estudio. En la **Figura 177**, se muestra la malla generada, es importante resaltar que posteriormente se utilizarán mallas anidadas para mejorar la resolución del dominio. Se estudia y se plantea tener una mayor resolución en el canal de comunicación entre el recinto portuario y la laguna.



**Figura 177. Malla generada en el programa Delft3D para la Bahía de Manzanillo, el Recinto Portuario y la laguna del Valle de las Garzas.**

Para las primeras pruebas preliminares que se realizaron para el presente informe, se consideró la batimetría descrita en la sección anterior para la Bahía de Manzanillo y el Puerto Interior, sin embargo, para la laguna del Valle de las Garzas se consideraron profundidades entre 1 y 3 m (caso hipotético), siendo las mayores profundidades consideradas para los canales situados cerca de la boca de la laguna (**Figura 178**).



**Figura 178. Batimetría utilizada para prueba preliminar obtenida de carta náutica de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior.**

A continuación, se muestran los resultados preliminares, obtenidos de la simulación hipotética, del modelo hidrodinámico. De acuerdo con los resultados preliminares, en las siguientes figuras se muestra la magnitud de la velocidad promedio, en la boca y en la zona central del puerto, así como en el Canal de Comunicación (CC) entre el puerto y la laguna, la velocidad osciló entre 0.12 m/s y 0.16 m/s; mientras que en la boca de la laguna se presentó la velocidad promedio mínima de aproximadamente 0.08 m/s. Las velocidades varían con relación al flujo y refluo de la marea (**Figura 179**).

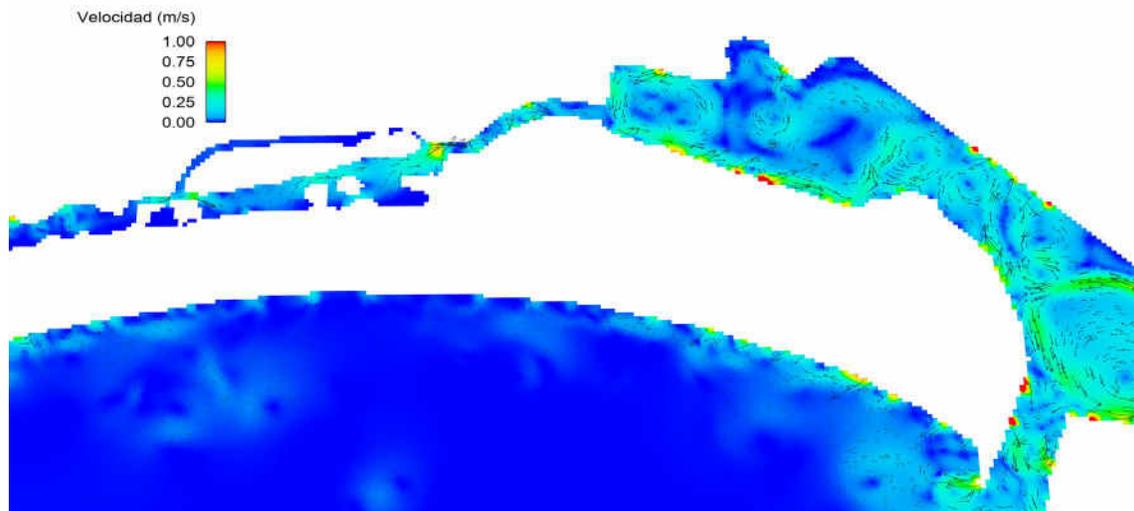


Figura 179. Velocidad promedio (m/s) durante el tiempo de simulación en la Laguna del Valle de las Garzas y zonas adyacentes.

Para este informe de mayo, se consideró las condiciones de forzamiento de marea, obtenidas de <http://predmar.cicese.mx/>. El periodo de simulación comprendió del 1 al 8 de mayo de 2020 (**Figura 180**).

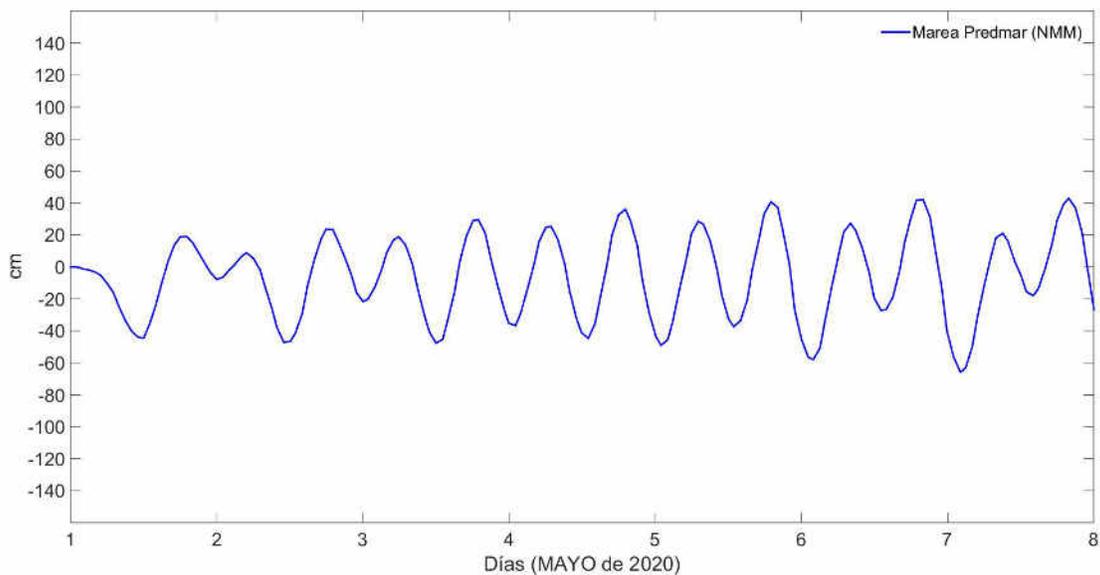
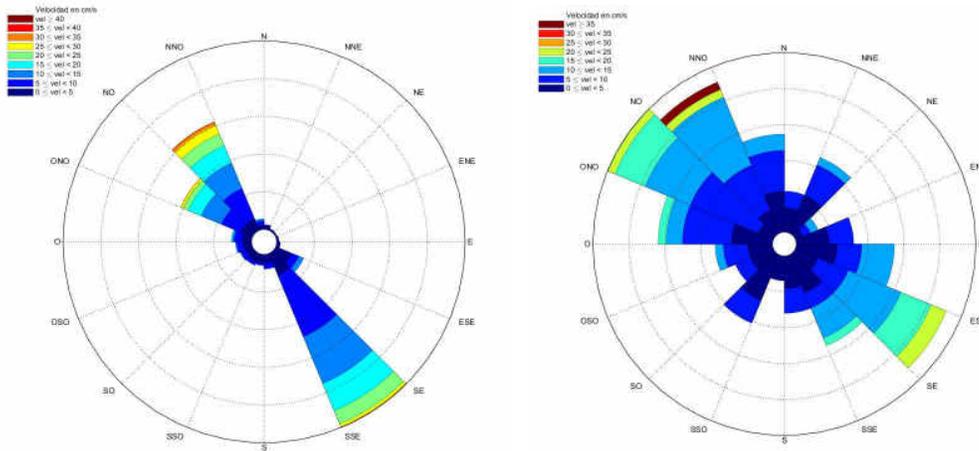


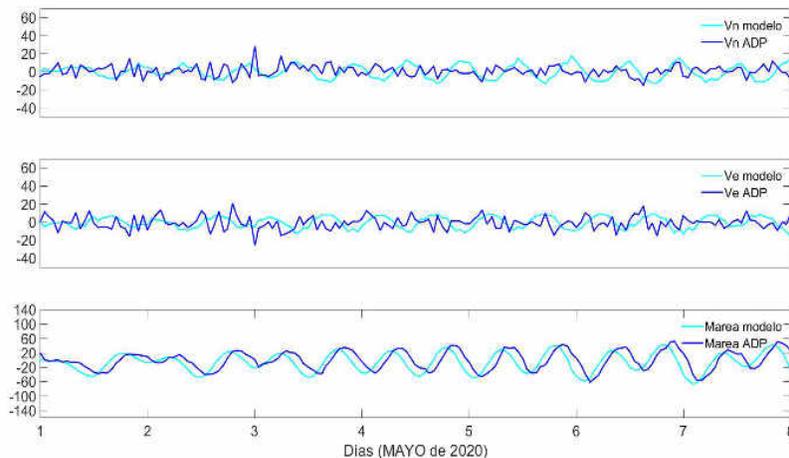
Figura 180. Pronóstico de marea para Manzanillo, del 1 al 8 de mayo de 2020.

En la **Figura 181**, se muestra la rosa de corrientes obtenida con datos horarios del modelo hidrodinámico numérico y la rosa de corrientes obtenida con el ADP, para el mismo periodo (1<sup>a</sup> semana de mayo). El ADP se encuentra instalado en el Canal de Comunicación (CC) entre la laguna del Valle de las Garzas y el Puerto Interior.



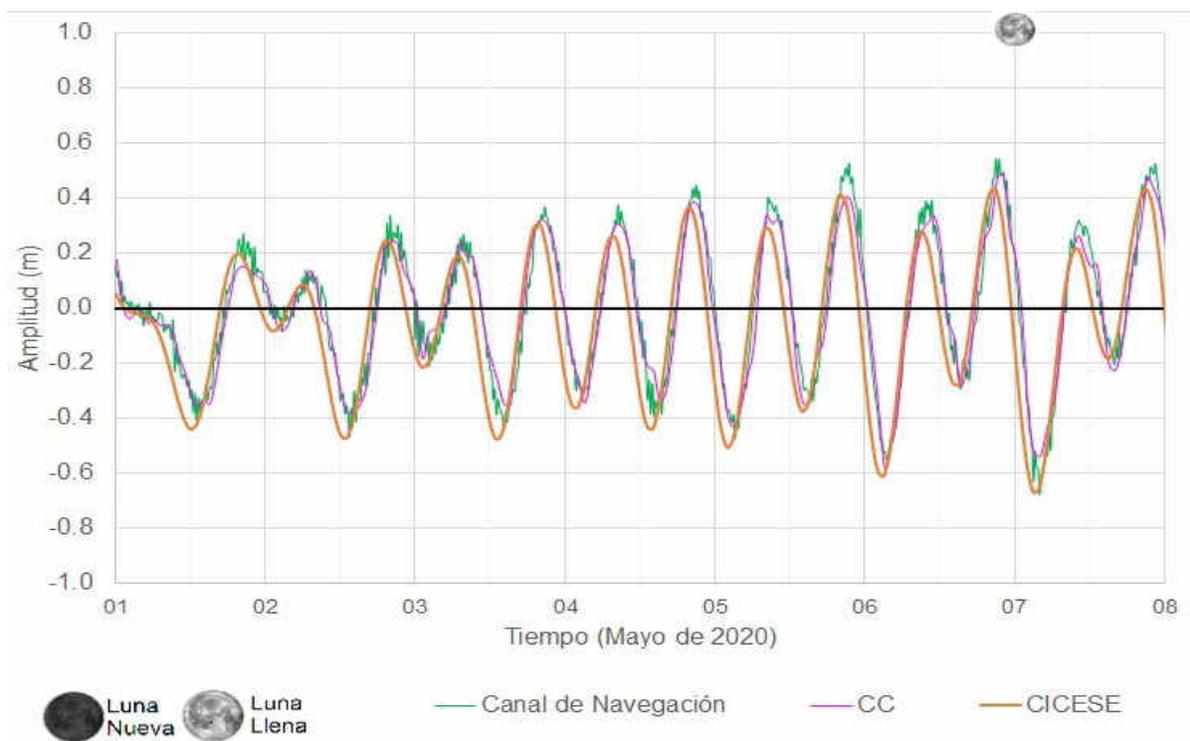
**Figura 181. Rosa de corrientes obtenidas mediante el modelo hidrodinámico numérico (izquierda) y la rosa de corrientes obtenidas mediante el corrientímetro ADP. .**

En la **Figura 182** se muestra un comparativo del nivel del agua y las velocidades zonal y meridional obtenidas con datos del modelo numérico y los datos registrados por el medidor de corrientes **ADP**, ambos para el periodo del 1 al 8 de mayo de 2020,



**Figura 182. Comparativo de las series de tiempo de las velocidades zonal y meridional del modelo numérico y los datos obtenidos con el ADP.**

Enseguida se muestra un comparativo del nivel del agua en dos diferentes sitios de medición, como el Canal de Navegación (CN) y el Canal de Comunicación (CC), así como, la predicción del nivel de marea pronosticada por el CICESE para la primera semana de mayo de 2020. Se observó claramente la relación del nivel del mar asociado a la variación de las mareas, que presentan dos mareas altas y dos bajas (pleamar y bajamar), con un nivel máximo en pleamar de 0.54 m y con un nivel mínimo de -0.68 m, **(Figura 183)**.



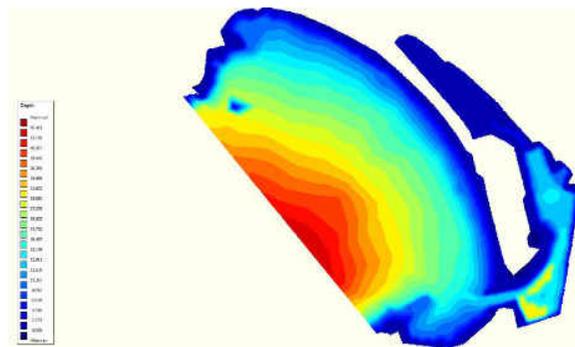
**Figura 183. Nivel de marea registrada por CICESE (estación Manzanillo), en Canal de Navegación (CN) y Canal de Comunicación (CC) del 1 al 8 de mayo de 2020.**

## VI.11 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito en junio 2019.

Se sigue trabajando en la aplicación del modelo numérico **Delft3D**, el cual se quiere probar y validar, de tal manera que simule la hidrodinámica característica del cuerpo de agua que facilitará conocer la circulación en la laguna y que además exponga el transporte de sedimentos que esta conlleva, con el fin de apoyar a identificar zonas de erosión y depósito de sedimentos. Los resultados que un modelo puede brindar mejorarán la habilidad de predecir los futuros cambios de este sistema y con esto la posibilidad de determinar estrategias para mejorar el manejo de la Laguna del Valle de las Garzas (**LVG**). La Laguna del Valle de las Garzas, ha sufrido diversas modificaciones debido principalmente a la construcción y ampliación del recinto portuario y al crecimiento urbano de las zonas aledañas.

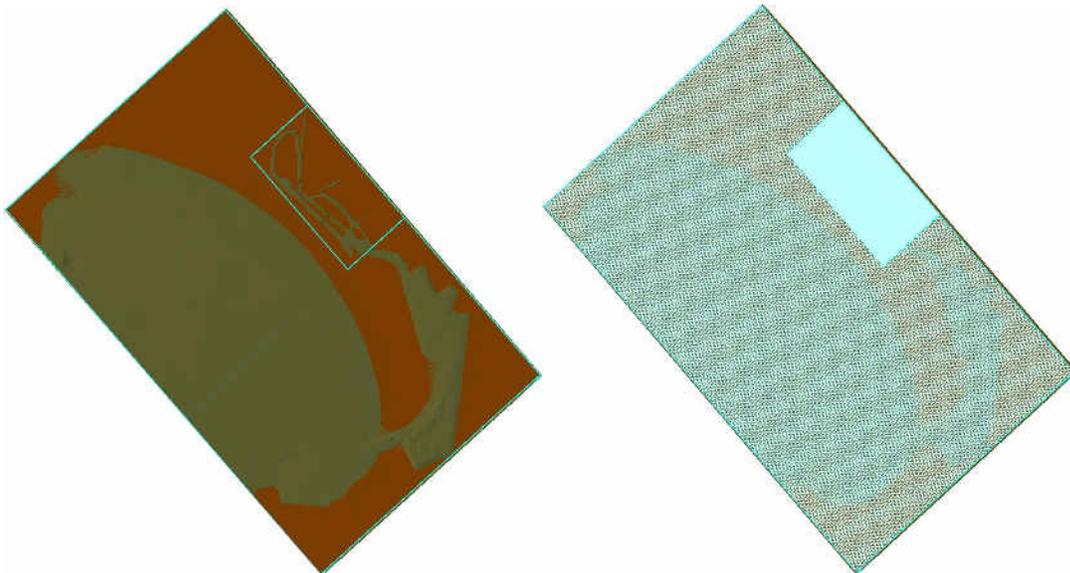
Por el momento, se sigue trabajando con la batimetría de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior de la carta náutica de la Secretaría de Marina (SEMAR), la cual ya fue digitalizada utilizando el programa AUTOCAD. Se espera contar con dos batimetrías (época de lluvias y sequías) de la Laguna del Valle de las Garzas, las cuales serán proporcionadas por la Administración Portuaria Integral de Manzanillo (API-Manzanillo).

Para las primeras pruebas preliminares que se realizaron para el presente informe, se consideró la batimetría descrita en la sección anterior para la Bahía de Manzanillo y el Puerto Interior, sin embargo, para la laguna del Valle de las Garzas se consideró una profundidad constante de 2 m (caso hipotético) (**Figura 184**).



**Figura 184. Batimetría utilizada para prueba preliminar obtenida de carta náutica de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior.**

Una vez introducidas la línea de costa en el modelo Delft3D, para las pruebas preliminares del presente informe, se generaron dos mallas con diferentes resoluciones. La malla con mayor resolución (7x7 m) se anidó en la de menor resolución (20 x 20 m), tal como se muestra en la **Figura 185**, con la finalidad de resolver la dinámica al interior de la laguna del Valle de las Garzas. Es importante resaltar que se utilizaron mallas anidadas para mejorar la resolución del dominio. Se estudia y se plantea tener una mayor resolución en el canal de comunicación entre el recinto portuario y la laguna.



**Figura 185. Mallas con una resolución de 20x20 m<sup>2</sup> para la Bahía de Manzanillo y el Recinto Portuario, mientras que para la laguna del Valle de las Garzas fue de 7x7 m<sup>2</sup>.**

Para este mes de junio, se implementó la batimetría descrita en la sección anterior para la Bahía de Manzanillo y el Puerto Interior. Para toda la laguna del Valle de las Garzas se consideraron profundidades de 2 m, tomando en cuenta las propuestas mostradas en la **Figura 186**, junto con los canales especificados en la **Figura 187**.

a)



b)



Figura 186. Cuerpo de agua implementado en DELFT 3D: a) caso 1 y b) caso 2, ambos con profundidades constantes de 2 metros.



**Figura 187. Canales auxiliares con profundidades constantes de 2 metros, anexados al Caso 1 y al Caso 2.**

En **Anexo I** se presenta un video donde se muestran los resultados preliminares, obtenidos de la simulación hipotética, del modelo acoplado el modelo hidrodinámico y el módulo de salinidad, así como las variaciones del nivel del agua. Se anexa una imagen del video donde, de acuerdo con los resultados preliminares, en el cuadro superior izquierdo se muestra la circulación. La escala de colores indica la intensidad, con un intervalo entre 0 y 1 m/s. La velocidad máxima se dio en el sensor numérico S1, en la boca de la laguna, donde el radio hidráulico se reduce, llegando a superar en tres ocasiones 1 m/s (cuadro inferior derecho). Se observó que la velocidad en los sensores numéricos S3 y S6 osciló entre 0 y 40 cm/s aproximadamente. En el cuadro superior derecho se observa la posición de los sensores, del S1 al S6, así como el mapa sinóptico de salinidad en el último paso de tiempo de la simulación (15 días). Caso (a) de la **Figura 188**. En el cuadro inferior izquierdo se muestra la superficie libre, con respecto al NMM, así como una gráfica donde se muestra la marea en el punto donde se encuentra ubicado el ADP, como referencia para conocer la fase de la marea al momento de cada paso de tiempo del video (**Figura 188**). Las posiciones de los sensores numéricos se pueden observar en la **Figura 189**.

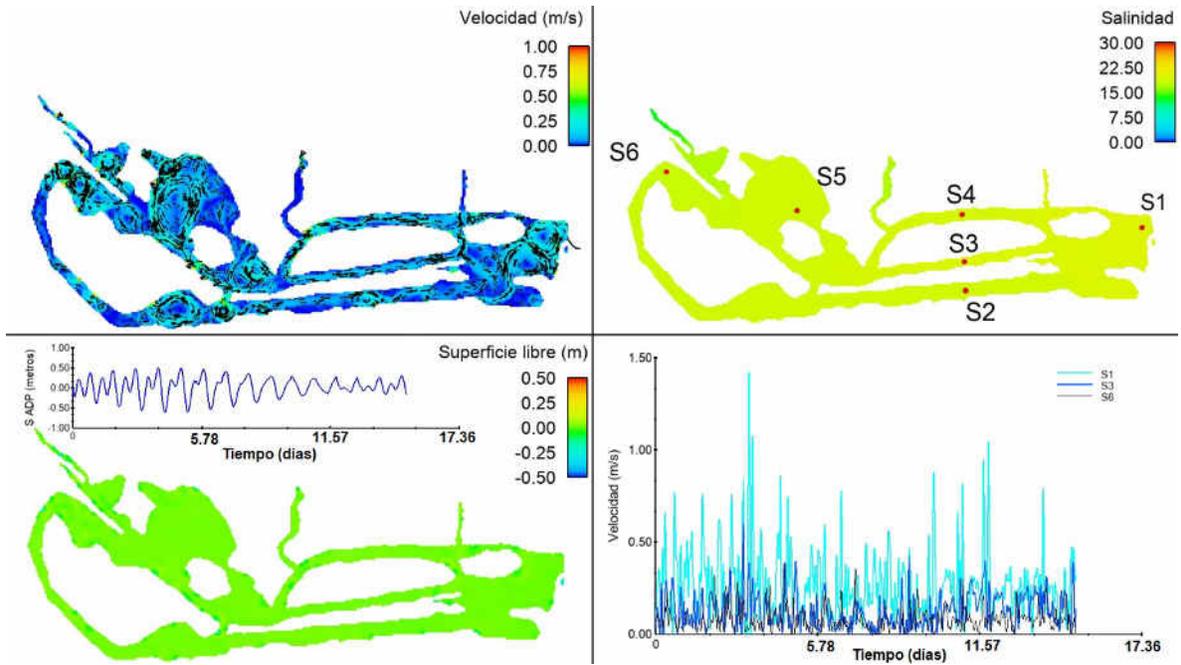


Figura 188. Circulación (m/s), comportamiento de la salinidad y variación del nivel de agua, durante el tiempo de simulación en la Laguna del Valle de las Garzas y zonas adyacentes.

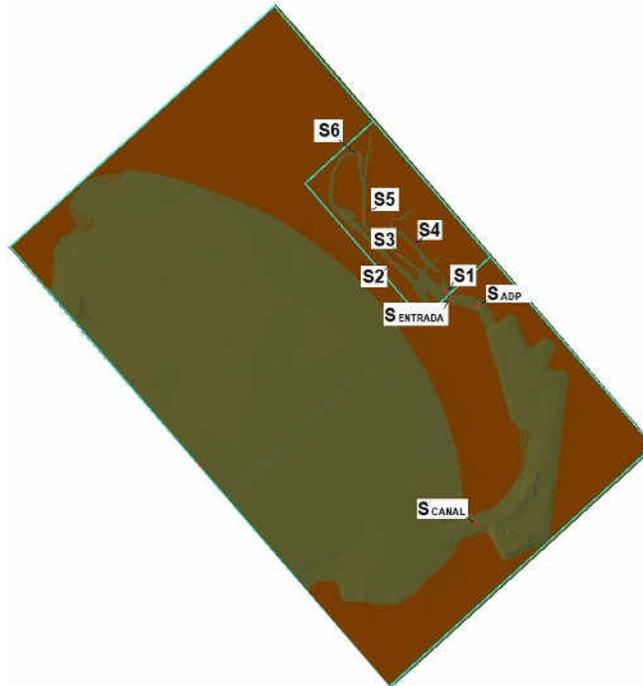
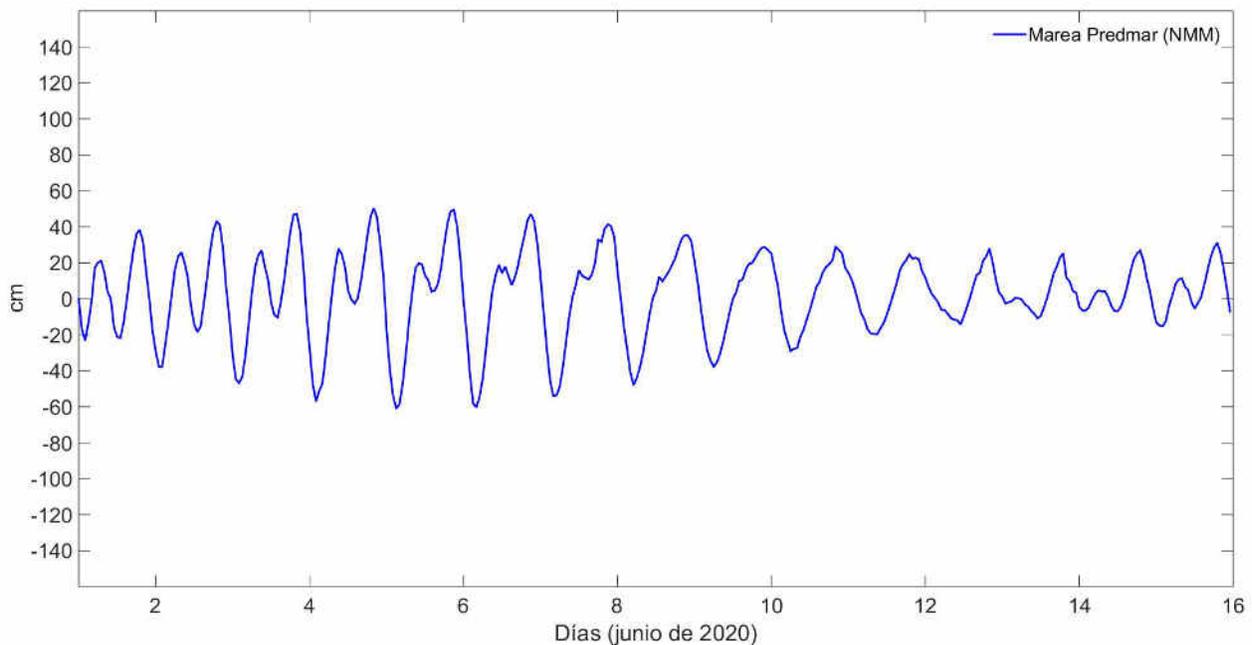


Figura 189. Posición de los sensores numéricos (puntos prueba) en la Laguna del Valle de las Garzas.

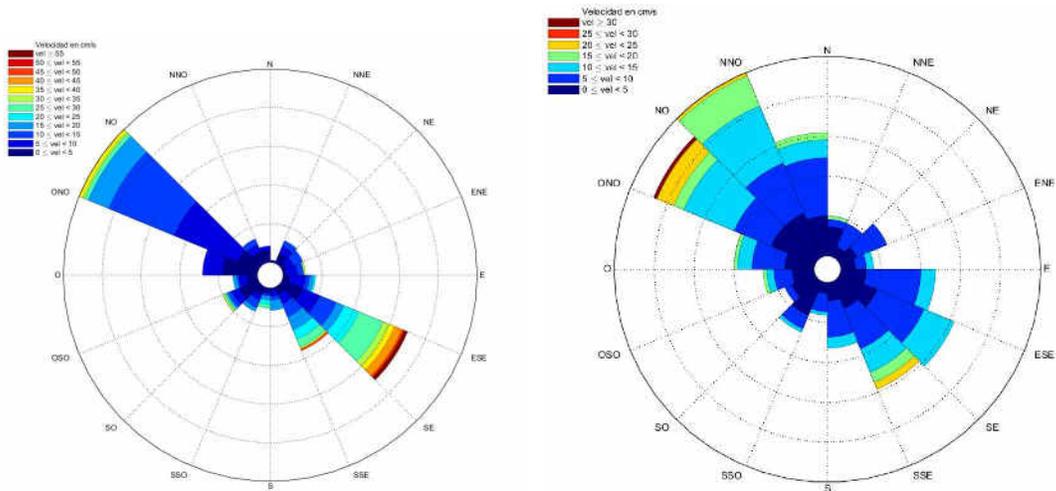
Para este informe de junio, se consideró las condiciones de forzamiento de marea, obtenidas de <http://predmar.cicese.mx/>. El periodo de simulación comprendió del 1 al 16 de junio de 2020 (**Figura 190**).



**Figura 190. Pronóstico de marea para Manzanillo, del 1 al 16 de junio de 2020.**

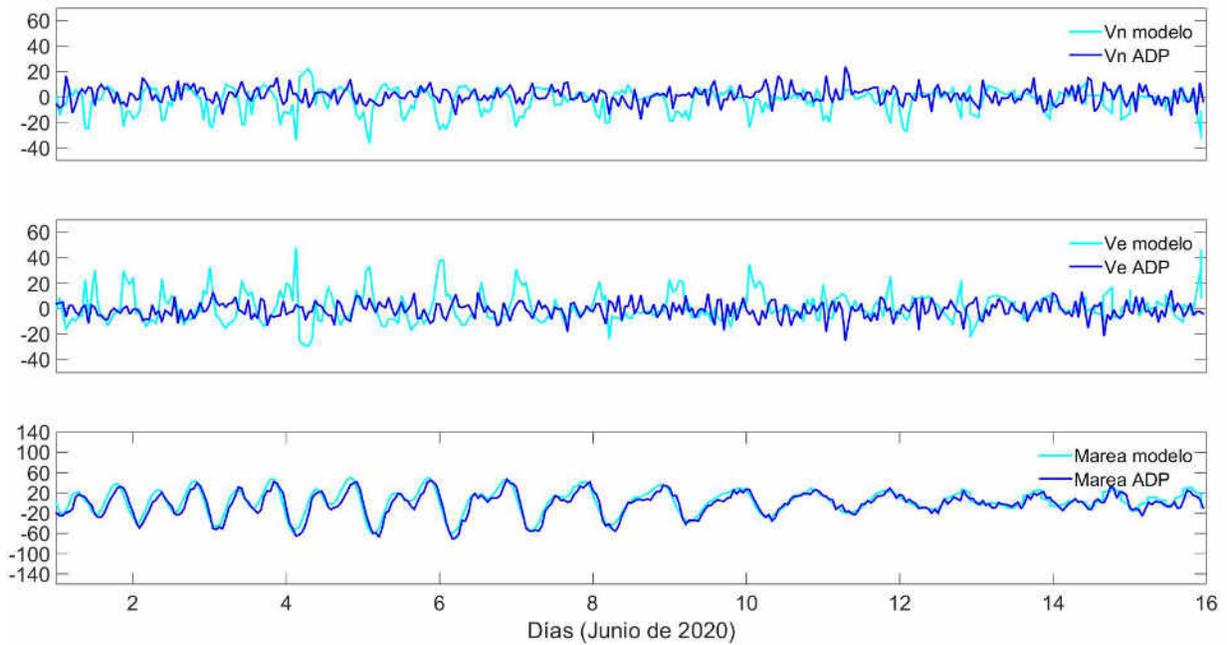
El modelo se forzó con marea, a continuación, se muestran los resultados preliminares, obtenidos de la simulación hidrodinámica (hipotética) sin considerar el gavión que se encuentra entre la Laguna del Valle de las Garzas y el Puerto Interior.

En la **Figura 191**, se muestra la rosa de corrientes obtenida con datos horarios del modelo hidrodinámico numérico y en la rosa de corrientes obtenida con el ADP, para el mismo periodo (1ª semana de junio). El ADP se encuentra instalado en el Canal de Comunicación (CC) entre la laguna del Valle de las Garzas y el Puerto Interior.



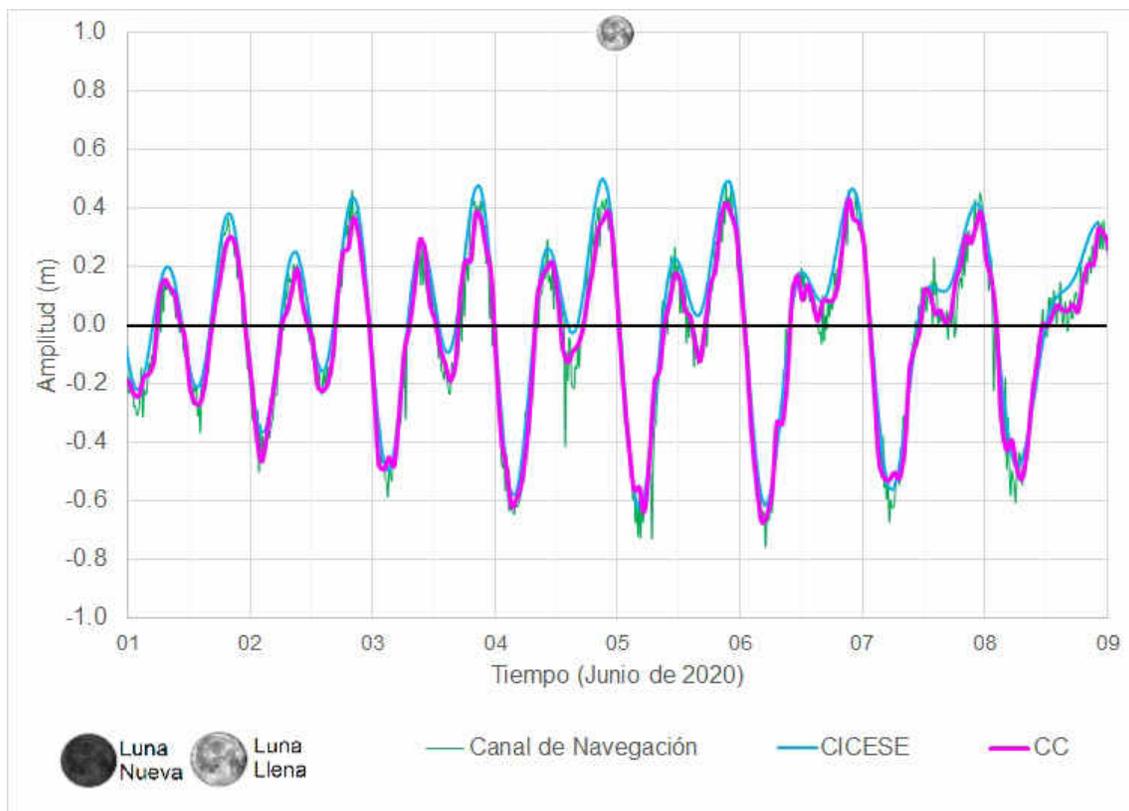
**Figura 191. Rosa de corrientes del modelo hidrodinámico numérico (izquierda) y la rosa de corrientes obtenidas mediante el corrientímetro ADP (derecha) (junio 2020).**

En la **Figura 192** se muestra un comparativo del nivel del agua y las velocidades zonal y meridional obtenidas con datos del modelo numérico y los datos registrados por el medidor de corrientes **ADP**, ambos para la primera semana de junio, es decir, el mismo periodo del 1 al 16 de junio de 2020,



**Figura 192. Comparativo de las series de tiempo de las velocidades zonal y meridional del modelo numérico y los datos obtenidos con el ADP (junio 2020).**

Enseguida se muestra un comparativo del nivel del agua en dos diferentes sitios de medición, como el Canal de Navegación (CN) y el Canal de Comunicación (CC), así como, la predicción del nivel de marea pronosticada por el CICESE para la primera semana de junio de 2020. Se observó claramente la relación del nivel del mar asociado a la variación de las mareas, que presentan dos mareas altas y dos bajas (pleamar y bajamar), con un nivel máximo en pleamar de 0.54 m y con un nivel mínimo de -0.68 m, **(Figura 193).**



**Figura 193. Nivel de marea registrada por CICESE (estación Manzanillo), en Canal de Navegación (CN) y Canal de Comunicación (CC) del 1 al 9 de junio de 2020.**

Los resultados aquí mostrados son resultados preliminares, ya que aún no se está utilizando la batimetría real en todo el dominio, únicamente se tienen algunos valores reales de la sección de interconexión entre el puerto y la laguna. Para el siguiente

reporte se pretende contar con la batimetría real de la Laguna del Valle de las Garzas para poder obtener resultados más precisos.

### **VI.12 Modelación numérica de los flujos de intercambio hidráulico que se dan en la boca de comunicación de la laguna Valle de las Garzas con San Pedrito en julio 2019.**

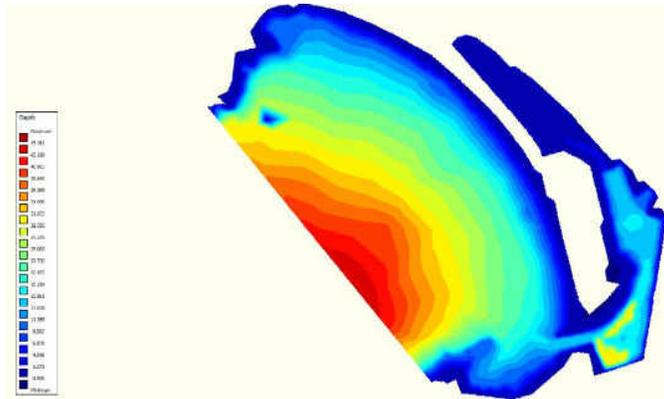
Se sigue trabajando en la aplicación del modelo numérico **Delft3D**, el cual se quiere probar y validar, de tal manera que simule la hidrodinámica característica del cuerpo de agua que facilitará conocer la circulación en la laguna. Los resultados que un modelo puede brindar mejorarán la habilidad de predecir los futuros cambios de este sistema y con esto la posibilidad de determinar estrategias para mejorar el manejo de la Laguna del Valle de las Garzas (**LVG**).

Utilizando el programa Global Mapper, las coordenadas geográficas de la línea de costa obtenida a partir de la digitalización por medio de Google Earth, fueron convertidas de grados decimales a U.T.M., formato requerido para ser utilizado por el modelo Delft3D.

Por el momento, se obtuvo la batimetría de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior de la carta náutica de la Secretaría de Marina (SEMAR), la cual ya fue digitalizada utilizando el programa AUTOCAD. Se espera contar con dos batimetrías (época de lluvias y sequías) de la Laguna del Valle de las Garzas, las cuales serán proporcionadas por la Administración Portuaria Integral de Manzanillo (API-Manzanillo).

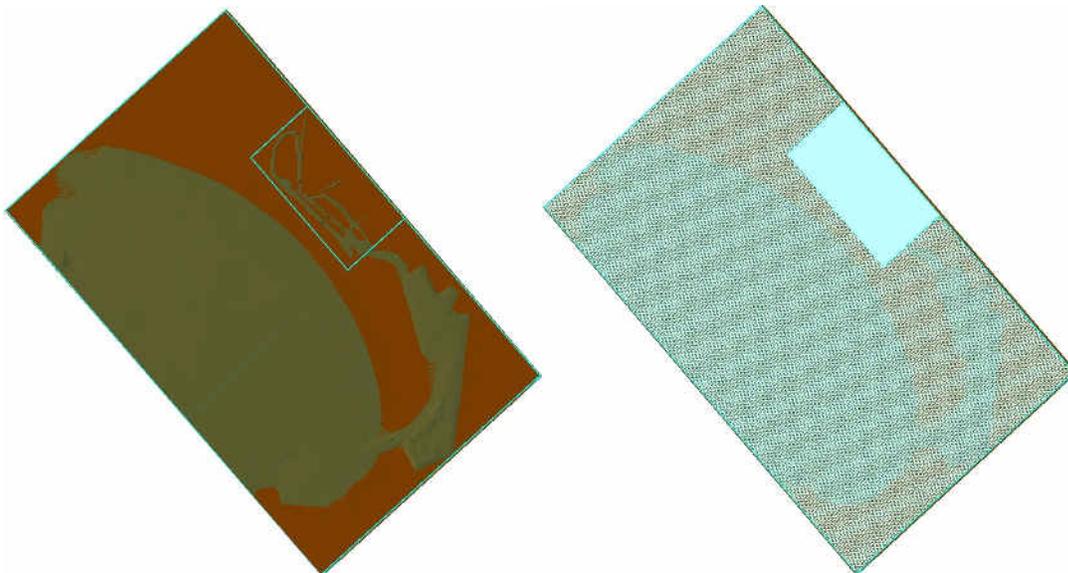
Es importante mencionar que los modelos numéricos son una aproximación de la realidad y si los datos de entrada, como condiciones iniciales y forzamientos son erróneos, los resultados también serán erróneos, lo que podría implicar la toma de decisiones con insuficiente base científica.

Para las primeras pruebas preliminares que se realizaron para el presente informe, se consideró la batimetría descrita en la sección anterior para la Bahía de Manzanillo y el Puerto Interior, sin embargo, para la laguna del Valle de las Garzas se consideró una profundidad constante de 2 m (caso hipotético) (**Figura 194**).



**Figura 194. Batimetría utilizada para prueba preliminar obtenida de carta náutica de la Bahía de Manzanillo y del Puerto Interior.**

Una vez introducidas la línea de costa en el modelo Delft3D, para las pruebas preliminares del presente informe, se generaron dos mallas con diferentes resoluciones. La malla con mayor resolución (7x7 m) se anidó en la de menor resolución (20 x 20 m), tal como se muestra en la **Figura 195**, con la finalidad de resolver la dinámica al interior de la laguna del Valle de las Garzas. Es importante resaltar que se utilizaron mallas anidadas para mejorar la resolución del dominio. Se estudia y se plantea tener una mayor resolución en el canal de comunicación entre el recinto portuario y la laguna.



**Figura 195. Mallas con una resolución de 20x20 m<sup>2</sup> para la Bahía de Manzanillo y el Recinto Portuario, mientras que para la laguna del Valle de las Garzas fue de 7x7 m<sup>2</sup>.**

Para este mes de julio, se implementó la batimetría descrita en la sección anterior para la Bahía de Manzanillo y el Puerto Interior. Para toda la laguna del Valle de las Garzas se consideraron profundidades de 2 m, tomando en cuenta la propuesta mostrada en la **Figura 196**, junto con los canales especificados en la **Figura 197**.



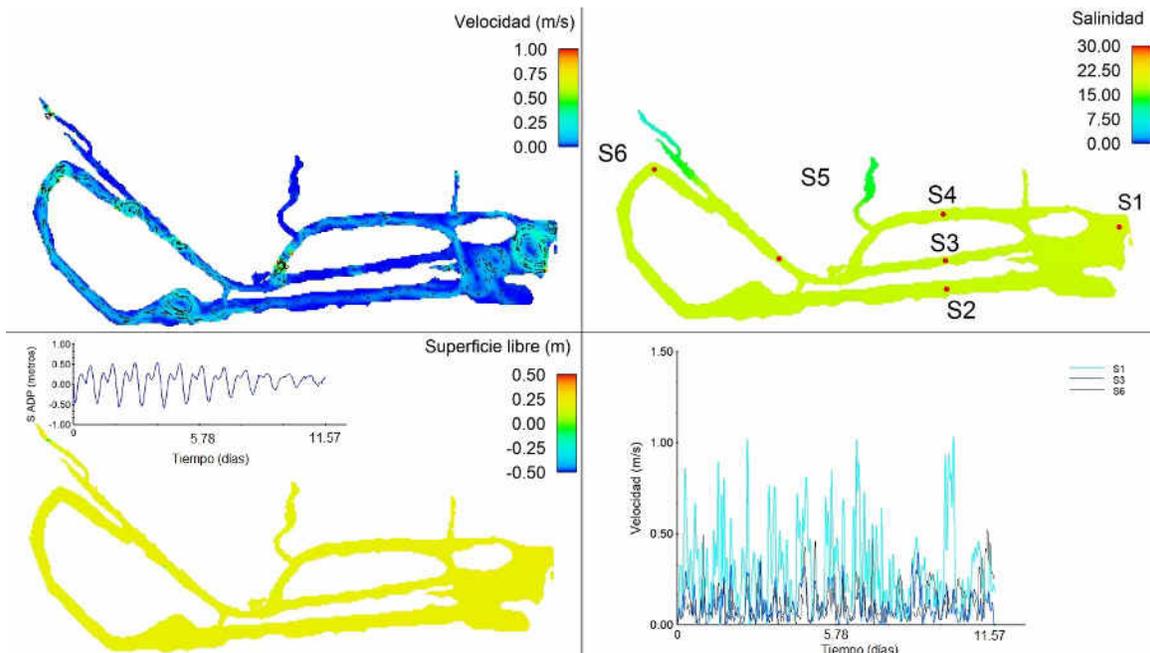
**Figura 196.** Cuerpo de agua implementado en DELFT 3D con profundidad constante de 2 metros.



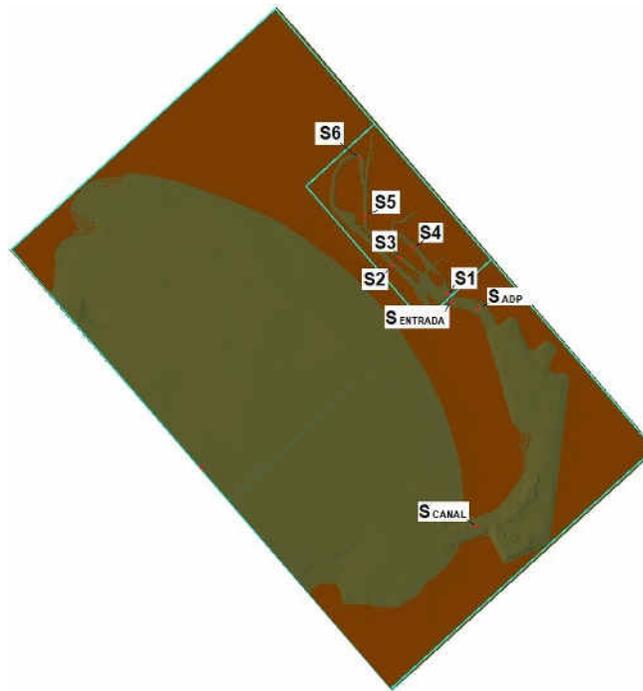
**Figura 197.** Canales auxiliares con profundidades constantes de 2 metros, anexados al Caso 2.

Se anexa un video donde se muestran los resultados preliminares, obtenidos de la simulación hipotética, del modelo acoplando el modelo hidrodinámico y el módulo de salinidad, así como las variaciones del nivel del agua (**Anexo 1**). Además, se anexa una imagen del video donde (**Figura 198**), de acuerdo con los resultados preliminares, en el cuadro superior izquierdo se muestra la circulación. La escala de colores indica la intensidad, con un intervalo entre 0 y 1 m/s. La velocidad máxima se dio en el sensor numérico S1, en la boca de la laguna, donde el radio hidráulico se reduce, llegando a superar en tres ocasiones 1 m/s (cuadro inferior derecho). Se observó que la velocidad en los sensores numéricos S3 y S6 osciló entre 0 y 40 cm/s aproximadamente. En el cuadro superior derecho se observa la posición de los sensores, del S1 al S6, así como el mapa sinóptico de salinidad en el último paso de tiempo de la simulación (12 días).

En el cuadro inferior izquierdo se muestra la superficie libre, con respecto al NMM, así como una gráfica donde se muestra la marea en el punto donde se encuentra ubicado el ADP, como referencia para conocer la fase de la marea al momento de cada paso de tiempo del video. Las posiciones de los sensores numéricos se pueden observar en la **Figura 199**.

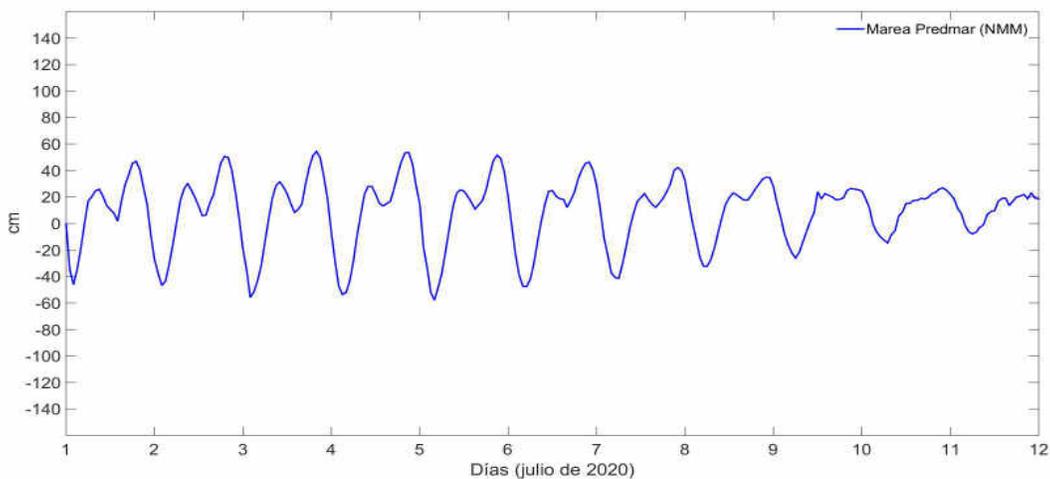


**Figura 198. Circulación (m/s), comportamiento de la salinidad y variación del nivel de agua, durante el tiempo de simulación en la Laguna del Valle de las Garzas y zonas adyacentes.**



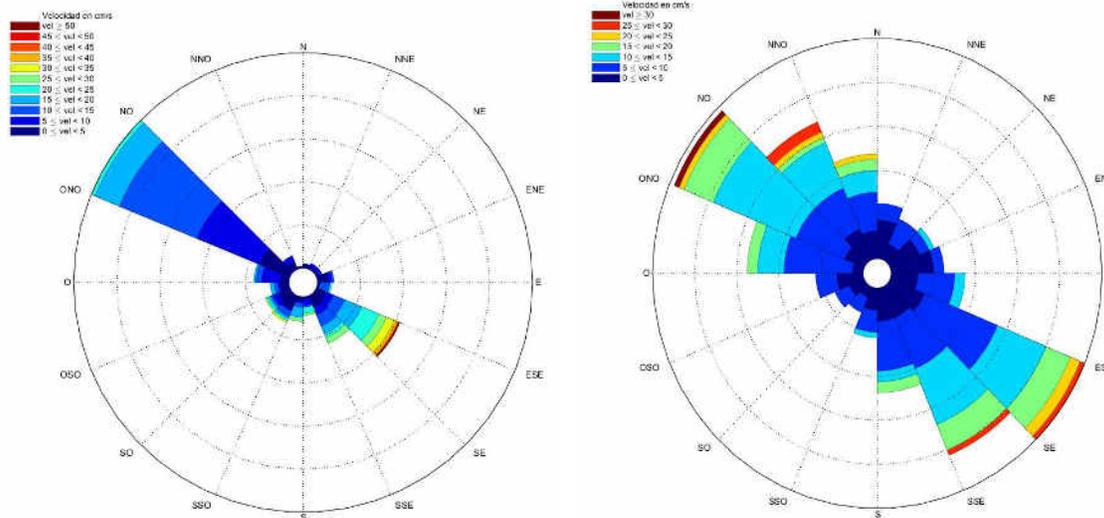
**Figura 199. Posición de los sensores numéricos (puntos prueba) en la Laguna del Valle de las Garzas.**

Para este informe de julio, se consideró las condiciones de forzamiento de marea, obtenidas de <http://predmar.cicese.mx/>. El periodo de simulación comprendió del 1 al 12 de julio de 2020 (**Figura 200**).



**Figura 200. Pronóstico de marea para Manzanillo, del 1 al 12 de julio de 2020.**

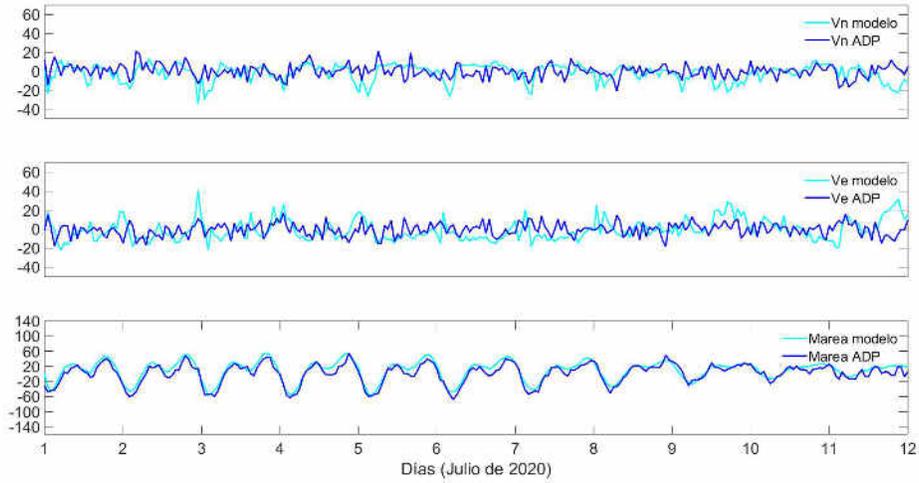
En la **Figura 201**, se muestra la rosa de corrientes obtenida con datos horarios del modelo hidrodinámico numérico y la rosa de corrientes obtenida con el ADP, para el mismo periodo (primeros 23 días de julio).



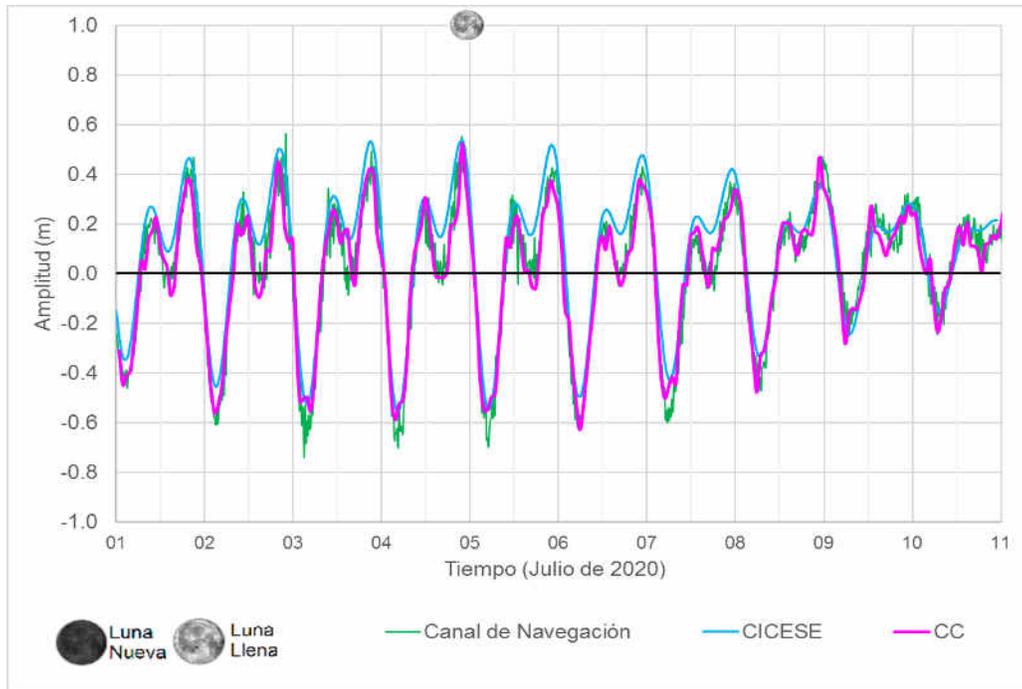
**Figura 201.** Rosa de corrientes obtenidas mediante el modelo hidrodinámico numérico (izquierda) y la rosa de corrientes obtenida con el ADP (derecha) (julio 2020).

En la **Figura 202** se muestra un comparativo del nivel del agua y las velocidades zonal y meridional obtenidas con datos del modelo numérico y los datos registrados por el medidor de corrientes **ADP**, ambos para la primera semana de julio, es decir, el mismo periodo del 1 al 12 de julio de 2020,

En la **Figura 203**, se muestra un comparativo del nivel del agua en dos diferentes sitios de medición, como el Canal de Navegación (CN) y el Canal de Comunicación (CC), así como, la predicción del nivel de marea pronosticada por el CICESE para los primeros 11 días de julio 2020). Se observó claramente la relación del nivel del mar asociado a la variación de las mareas, que presentan dos mareas altas y dos bajas (pleamar y bajamar), donde en el Canal de Navegación (CN) se presentó un nivel máximo en pleamar de 0.57 m y un nivel mínimo de -0.74 m, en Canal de Comunicación (CC) un máximo de 0.52 m y un mínimo de -0.63 m.



**Figura 202. Comparativo de las series de tiempo de las velocidades zonal y meridional del modelo numérico y los datos obtenidos con el ADP (julio 2020).**



**Figura 203. Nivel de marea registrada por CICESE (estación Manzanillo), en Canal de Navegación (CN) y Canal de Comunicación (CC) del 1 al 11 de julio de 2020.**

Los resultados aquí mostrados son resultados preliminares, ya que aún no se está utilizando la batimetría real en todo el dominio, únicamente se tienen algunos valores reales de la sección de interconexión entre el puerto y la laguna.

## **VII. Tendencia de la Calidad Ambiental.**

La laguna está prácticamente azolvada, se reduce a un par de canales artificiales en su mayor superficie de agua. La vegetación ha cubierto el espacio lagunar. El depósito del producto del dragado de los canales en las tarquinas o en taludes en la misma laguna, no es el sitio adecuado.

La influencia de la marea en el sistema lagunar es muy baja y solo en una pequeña área adyacente a la comunicación marina, la dirección de la corriente prácticamente siempre es de la laguna hacia el mar. El cuerpo de agua lagunar está compuesto por un par de canales rodeados de extensas áreas de vegetación que llevan aguas negras al mar.

## **VIII. Sugerencias para Mejorar la Calidad Ambiental.**

La propagación de la onda de marea debe permitir que el ingreso de agua de mar mantenga las condiciones salobres del ecosistema y permita mantener una buena calidad de agua intersticial para mantener saludable a toda la vegetación de manglar y en general halófila existente, particularmente en época de estiaje. Además, debe integrar una estructura trófica lagunar que brinde servicios ambientales. Para ello es necesario dragar y ampliar la superficie de agua de la laguna, en base a estudios de modelación hidráulica.

## **IX. Conclusiones**

Después de realizar 4 simulaciones hidrodinámicas numéricas (velocidad de corriente, salinidad, tiempo de residencia y niveles de agua) con diferentes escenarios (con gavión y sin gavión, solo con canales, asoleadero para cocodrilos, zonas de alimentación de aves y algunas islas, entre otros aspectos) se sugiere, considerar la última simulación que es la propuesta de dos islas ya que se observó que la circulación no se afecta y es benéfica para la flora y fauna que existe en la laguna del Valle de las

Garzas (los detalles de las mediciones y simulaciones se muestran en los informes mensuales de agosto 2019 a julio 2020).

Por otra parte, se incrementó el tiempo de simulación para poder apreciar con mayor claridad la relación de las variaciones entre el modelo hidrodinámico y el perfilador de corrientes (ADP).

Es necesario delimitar el océano, el puerto y la laguna, para lo cual se considera sumamente necesaria la adecuada batimetría de la laguna y así poder tener resultados más realistas, de los flujos entre el océano y los cuerpos costeros.

Los resultados aquí mostrados son preliminares, ya que aún no se está utilizando la batimetría real en todo el dominio, únicamente se tienen algunos valores reales de la sección de interconexión entre el puerto y la laguna y del océano.

## VII. Bibliografía

- Barajas-Reyes J. L., 1985. Régimen de Mareas y Corrientes en las Bahías de Manzanillo y Santiago, Colima. Tesis. Instituto Oceanográfico del Pacífico. Secretaría de Marina, Armada de México.
- Carbajal Noel y Galicia Pérez Marco A., 2002. Earthquake-Induced Helmholtz Resonance in Manzanillo Lagoon, México. Revista Mexicana de Física. Vol. 48. No. 3. pag. 192-196.
- Clemente-Ramírez, R., 1991. Análisis de la Corriente Superficial de Marea en dos Puntos Fijos de la Bahía de Manzanillo, Colima. Tesis. Universidad de Colima. México.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE), 2008. Manifestación de Impacto Ambiental. Modalidad Regional. Proyecto Terminal de Gas Natural Licuado de Manzanillo. Comisión Federal de Electricidad-Universidad de Colima. México. México, D. F.
- Galicia-Pérez Marco A., Gaviño-Rodríguez J. y Torres-Orozco E., 2008. Aspectos de la Circulación Marina y el Oleaje en la Bahía de Manzanillo. Rev. IRIDIA No. 5. Universidad de Colima.
- Galicia-Pérez, Marco A., 1987. Modelación Hidrodinámica Numérica de las Bahías de Manzanillo y Santiago. Tesis de Maestría. U. N. A. M. México.
- Galicia-Pérez, Marco A., 1994. Aspectos de Modelación Numérica Tridimensional de la Bahía de Manzanillo. GEOS, Vol. 14, No. 5. Unión Geofísica Mexicana.
- Galicia-Pérez, M. A. y Gaviño, R. J., 1996. Estudio Numérico de Refracción de Oleaje y Circulación en la Costa de Colima. GEOS, Vol. 16, No. 4. U. G. M.
- Galicia-Pérez, M. A., y Gaviño, R., 2001. Análisis Espectral de Algunos Parámetros Meteorológicos en Manzanillo, Colima. GEOS, VOL. 21, No. 4. U. G. M.

- Gaviño-Rodríguez, J. y Galicia-Pérez, M. A., 1993. Modelación Hidrodinámica Numérica de Algunos Cuerpos de Agua de la Zona Económica Exclusiva de México. Reporte Interno CEUNIVO-Universidad de Colima. México. 155 pp.
- Gaviño-Rodríguez, J. y Galicia-Pérez, M. A., 1994. Estudio de Refracción de Oleaje en la Bahía de Manzanillo. Reporte Interno CEUNIVO-Universidad de Colima.
- Gaviño-Rodríguez, J. y Galicia-Pérez, M. A., 1995. Estudio de Refracción de Oleaje y de Oscilaciones del Nivel de Agua (seiches) en el Puerto Interior de San Pedrito en Manzanillo, Col. Reporte Interno CEUNIVO-Universidad de Colima.
- J.I.C.A. (Agencia Japonesa para la Cooperación Internacional), 1985. Draft Final Report for the Study on the Development Project of the Port of Manzanillo in the United Mexican States.
- Peña-Valle, J., 2001. Análisis Espectral del Oleaje Incidente en las Bahías de Manzanillo. Tesis. Instituto Oceanográfico del Pacífico. Secretaría de Marina. Armada de México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), 2001. PRY. PROYECTO; PUE. Puertos; 1. Estudios; 07. Estudios de Transporte Litoral; Caracterización Mineralógica y Granulometría de los Sedimentos. México.
- Secretaría de Marina, 1973. Estudio Geográfico de la Región de Manzanillo. Dirección General de Oceanografía. Secretaría de Marina. México.
- Wentworth, C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. Jour. Geol. 377-392. 30.