

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar**

Soluciones ingenieriles ante la elevación del mar para la implementación  
de un puerto espacial en la costa ecuatoriana

**PROYECTO INTEGRADOR MULTIDISCIPLINARIO**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Oceanográfico**

Presentado por:

**Jorge Daniel Iñiguez Noboa**

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi amada madre, Ab. Leonor Noboa Muñoz, por ser mi todo. Gracias por ser la mejor madre. ¡Juntos logramos lo que queremos!

A mi padre, Econ. Jorge Iñiguez Caicedo, por ser uno de mis pilares fundamentales.

A mi ESPOL, mi alma máter, por 5 años de aprendizajes y formación integral.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a Dios por la vida.

A mi tutor, Msc. Jonathan Cedeño, por la confianza depositada, el apoyo constante en la generación de este proyecto, los conocimientos brindados hacia mi como estudiante y ayudante.

A mi FEPOL 2016-2018, por ser la mejor etapa de mi vida universitaria y enseñarme que siempre se puede trabajar por el bienestar integral de tu comunidad.

A todos quienes han influido en mi vida, me han ayudado, confiado en mí y han aportado para ser una mejor persona.

A ustedes, ¡Muchas Gracias!

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Jorge Daniel Iñiguez Noboa y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Jorge Daniel Iñiguez Noboa

## EVALUADORES



Msc. Iván Saltos Andrade

PROFESOR DE LA MATERIA



Msc. Jonathan Cedeño Oviedo

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el mejor sitio de la costa ecuatoriana para la implementación de un puerto espacial y diseñar soluciones ingenieriles que lo protejan del incremento del nivel del mar. Se encuentra la altura de inundación producida por marea modelada con Delft 3D, marea extrema, Cambio Climático, Fenómeno de El Niño y Run-up de ola extrema. Este proyecto se realizó bajo el requerimiento de la compañía Leviathan Space Industries, quienes desean generar un puerto espacial privado en Ecuador para aprovechar su localización geográfica y generar beneficios económicos, sociales y académicos. Para el efecto, se dividió el proyecto en tres etapas: **(i)** selección del sitio por medio de la matriz de Lickert, **(ii)** generación de escenarios de inundación; y, **(iii)** diseño de soluciones ingenieriles aplicando metodologías de diseño de Oceanografía e Ingeniería Civil. Los resultados obtenidos por etapa fueron: **(i)** Chanduy como sitio óptimo para implementación del puerto espacial, **(ii)** altura máxima de inundación de 3.84 metros sobre el nivel medio del mar, **(iii)** aplicación de diques y canales para protección del puerto espacial. En función de lo anterior, en este proyecto se concluye que se debe proteger el puerto espacial mediante la construcción del dique y canal que abarca todo el puerto espacial, el cual tiene un costo total de 34.25 millones de dólares. Finalmente, basado en su principio de estudio de prefactibilidad, este proyecto recomienda realizar los estudios de factibilidad de lanzamiento de cohetes y estudios de estabilidad de taludes para Chanduy.

**Palabras Clave:** Puerto Espacial, Chanduy, Inundación, Soluciones Ingenieriles.

## **ABSTRACT**

*This paper aims to evaluate the best site on the Ecuadorian coast for the implementation of a spaceport and design engineering solutions that protect it from rising sea level. Flood height is calculated by modeled tide with Delft 3D, extreme tide, Climate Change, El Niño Phenomenon and Extreme Wave Run-up. This project was realized under the requirement of the company Leviathan Space Industries, who will generate a private spaceport in Ecuador to take advantage of its geographical location and generate economic, social and academic benefits. For this purpose, the project was divided into three stages: (i) site selection through the Lickert matrix, (ii) generation of flood scenarios and (iii) engineering solutions design applying Oceanography and Civil Engineering design methodologies. The results obtained by stage were: (i) Chanduy as optimal site for implementation of the spaceport, (ii) maximum flood height of 3.84 meters above mean sea level, (iii) application of dikes and channels for protection of the space port. Based on the above, this project concludes that the port must be protected through the construction of the dike and canal that covers the entire spaceport, which has a total cost of \$ 34.25 millions of dollars. Finally, based on its principle of prefeasibility study, this project recommends carrying out feasibility studies for rocket launch and slope stability studies for Chanduy.*

**Keywords:** Spaceport, Chanduy, Flood, Engineering Solutions.

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN .....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE PLANOS .....	XIV
CAPÍTULO 1 .....	15
1.    Introducción .....	15
1.1    Descripción del problema .....	18
1.2    Justificación del problema .....	20
1.3    Objetivos .....	23
1.3.1    Objetivo General .....	23
1.3.2    Objetivos Específicos.....	23
1.4    Marco teórico.....	24
1.4.1    Selecciones de sitio para implementación de puertos espaciales .....	24
1.4.2    Generación de escenarios de inundaciones.....	25
1.4.3    Modelamiento de Mareas.....	26
1.4.4    Fenómeno de El Niño en Ecuador .....	27
1.4.5    Cambio Climático Mundial y Regional .....	28
CAPÍTULO 2 .....	30
2.    Metodología.....	30
2.1    Metodología “Design Thinking” .....	30

2.2	Etapa 1: “Selección del Sitio” .....	32
2.3	Etapa 2: “Generación de Escenarios de Inundación” .....	35
2.3.1	Modelamiento de Mareas utilizando Delft 3D .....	36
2.3.1.1	Obtención de Datos de entrada para Delft 3D .....	38
2.3.1.1.1	Grilla.....	39
2.3.1.1.2	Batimetría.....	39
2.3.1.1.3	Condiciones Iniciales y de Borde.....	40
2.3.1.1.4	Rugosidad de Fondo .....	41
2.3.1.1.5	Puntos de Observación .....	41
2.3.1.1.6	Parámetros Físicos.....	42
2.3.1.2	Proceso de Validación y Calibración.....	43
2.3.2	Cálculo de Marea Extrema.....	44
2.3.3	Alturas de inundación por Fenómeno de El Niño y Cambio Climático ...	45
2.3.4	Cálculo de parámetros de Oleaje .....	45
2.3.5	Cálculo de Ola Extrema y Run up .....	46
2.3.6	Generación de Escenarios usando QGIS.....	47
2.4	Etapa 3: “Diseño de Soluciones Ingenieriles” .....	47
2.4.1	Cálculo del Peso de la Roca de Coraza .....	48
CAPÍTULO 3 .....		49
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	49
3.1	Selección del sitio.....	49
3.1.1	Matriz de Lickert.....	49
3.1.2	Entrevistas a Expertos .....	50
3.1.3	Mapas de información del puerto espacial en Chanduy .....	53
3.2	Escenarios de Inundación .....	57
3.2.1	Validación y calibración.....	57

3.2.2	Serie de tiempo de marea modelada .....	59
3.2.3	Marea Extrema .....	67
3.2.4	Alturas de inundación para Fenómeno de El Niño y Cambio Climático .	69
3.2.5	Oleaje, Ola Extrema y Run-up sobre la playa.....	71
3.2.6	Mapas de Inundación.....	76
3.3	Diseño de soluciones ingenieriles.....	81
3.3.1	Construcción detrás de la cota máxima de inundación.....	81
3.3.2	Dique y canales de aguas lluvias .....	81
3.3.2.1	Peso de la roca de coraza .....	82
3.3.2.2	Run-up sobre la estructura .....	83
3.3.2.3	Características del Dique y Canales de Aguas Lluvias. ....	84
3.3.2.4	Solución A, B y C.....	88
3.4	Análisis de Costos .....	92
3.4.1	Costos Etapa Proyecto .....	92
3.4.2	Costos Etapa Soluciones Ingenieriles .....	93
CAPÍTULO 4 .....		94
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	94
	Conclusiones.....	95
	Recomendaciones.....	97
BIBLIOGRAFÍA .....		98
APÉNDICES.....		102
	APÉNDICE A: Informe de Salida de Campo a Chanduy.....	103
	APÉNDICE B: Metodología Ola de Diseño .....	109
	APÉNDICE C: Valoración de los parámetros de la matriz de Lickert.....	119
	APÉNDICE D: Asomeramiento de la Ola de Diseño.....	137
	APÉNDICE E: Costos y Tiempos detallados de Soluciones Ingenieriles .....	140

APÉNDICE F: Evaluación de Impacto Ambiental ..... 147

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
HWL	High Water Level
MHWS	Mean High Water Spring
LWL	Low Water Level
MLWS	Mean Low Water Spring
MSL	Mean Sea Level
GEBCO	General Bathymetric Chart of the Oceans
ENSO	El Niño-Oscilación del Sur
IPCC	Intergovernmental panel on Climate Change
DIVA	Data-Interpolating Variational Analysis
CIP-RRD	Centro Internacional del Pacífico para la Reducción del Riesgo de Desastres
DEM	Modelo digital de elevación
FIMCM	Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar
GIS	Sistema de Información Geográfico
INOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada
SIPA	Sistema de Información Pública Agropecuaria
MATLAB	Matrix Laboratory
WW3	WAVE WATCH III
NOAA	Administración Nacional del Océano y la Atmósfera
NCEP	Centro Nacional de Predicción Ambiental
OPeNDAP	Open-source Project for a Network Data Access Protocol
SPM	Shore Protection Manual
CEM	Coastal Engineering Manual
SNAP	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
NMm	Nivel medio del mar
CC	Cambio Climático
ERFEN	Estudio Regional del Fenómeno de "El Niño"
SUIA	Sistema Único de Información Ambiental

## SIMBOLOGÍA

m	Metro
mm	Milímetro
Km	Kilómetro
NMm	Nivel Medio del Mar
°	Grados
$\xi$	Parámetro de Iribarren
$\alpha$	Ángulo de la pendiente de playa
$L_0$	Longitud de ola en aguas profundas
$\theta$	Ángulo de la pendiente de la estructura.
d	Profundidad
$H_0'$	Altura de ola en aguas profundas
$H_b$	Altura de ola rompiente
$d_b$	Profundidad de rompiente
$S_w$	Set up de ola
D	Nivel de agua máximo
$d_s$	Nivel de diseño
$w_r$	Peso específico seco de la roca
$S_r$	Gravedad específica de la roca en relación al agua de mar
$K_d$	Coefficiente de estabilidad
$\gamma_r$	Factor de reducción por influencia de la rugosidad de superficie.
$\gamma_b$	Factor de reducción por influencia de una berma.
$\gamma_h$	Factor de reducción por influencia de condiciones de aguas someras.
$\gamma_\beta$	Factor por influencia por ángulo de incidencia de las olas.
$\emptyset$	Diámetro de varilla de refuerzo

## ÍNDICE DE FIGURAS

Imagen 1-1 Esquema secuencial de procesos en un puerto espacial. Referencia: Seedhouse, 2017 .....	15
Imagen 1-2 Mapa de actores para la implementación del puerto espacial.....	19
Imagen 2-1 Proceso de Diseño - Design Thinking. Referencia: Suárez,2018 .....	31
Imagen 2-2 Criterios y subcriterios para selección de sitio de un puerto espacial. Adaptación de Dachyar & Purnomo,2018.....	34
Imagen 2-3 Módulos de Delft 3D. Adaptación de Deltares,2014.....	36
Imagen 2-4 Diagrama del proceso metodológico para modelamiento con Delft 3D. Adaptación de “Figure 2.1.- Diagram of the methodological process.” Espinoza, 2018 .....	38
Imagen 2-5 Grilla generada para modelamiento.....	39
Imagen 2-6 Grilla generada y batimetría para modelamiento. ....	40
Imagen 2-7 Puntos de observación en el modelo. ....	42
Imagen 3-1 Levantamiento de Información en Chanduy.....	54
Imagen 3-2 Área requerida para la construcción del Puerto Espacial en Chanduy. ..	55
Imagen 3-3 Instalaciones del Puerto Espacial en Ecuador. ....	56
Imagen 3-4 Marea Estación Posorja.....	60
Imagen 3-5 Marea Estación Libertad.....	61
Imagen 3-6 Correlación Estación Posorja.....	62
Imagen 3-7 Correlación Estación Libertad.....	63
Imagen 3-8 Mareas Modeladas - Libertad - Chanduy - Posorja.....	64
Imagen 3-9 Correlación entre Posorja y Chanduy. ....	65
Imagen 3-10 Correlación entre Libertad y Chanduy.....	66
Imagen 3-11 Niveles de Marea Extrema en Libertad.....	68
Imagen 3-12 Extrapolación de datos de oleaje según Draper.....	73
Imagen 3-13 Extrapolación de datos de oleaje según Log-Ln. ....	73
Imagen 3-14 Extrapolación de datos de oleaje según Log-Log. ....	74
Imagen 3-15 Extrapolación de datos de oleaje según Weibull.....	74
Imagen 3-16 Alturas de inundación en Chanduy para Marea Extrema. ....	77
Imagen 3-17 Alturas de inundación en Chanduy para Marea Máxima. ....	78

Imagen 3-18 Mapa de inundación A: Marea Extrema - Chanduy – Ecuador.....	79
Imagen 3-19 Mapa de Inundación B: Marea Máxima – Chanduy – Ecuador. ....	80
Imagen 3-20 Dimensiones del dique de protección para el Puerto Espacial. ....	86
Imagen 3-21 Dimensiones de los canales de aguas lluvias para el Puerto Espacial. ....	87
Imagen 3-22 Solución A: Protección del Puerto Espacial. ....	89
Imagen 3-23 Solución B: Protección del Puerto Espacial. ....	90
Imagen 3-24 Solución C: Protección del Puerto Espacial. ....	91
Imagen A-1 Muro de protección en la comuna de Chanduy. Referencia: Iñiguez,2019 .....	105
Imagen A-2 Comisión de la Salida de Campo. De izq. a der.: Luis Palacios, Jorge Iñiguez, Mijail Arias, Mónica López, Jonathan Cedeño. Referencia: Cedeño,2019. ....	105
Imagen A-3 Vuelo del Drone para creación de fotos. Referencia: Cedeño,2019 ....	106
Imagen A-4 Foto aérea de Engunga, Chanduy tomada por el drone. Referencia: López,2019.....	106
Imagen A-5 Foto aérea de Engunga, Chanduy tomada por el drone. Referencia: López,2019.....	107
Imagen A-6 Foto aérea de Engunga, Chanduy tomada por el drone. Referencia: López,2019.....	107
Imagen A-7 Ortofoto de Engunga, Chanduy tomada por el drone. Referencia: López,2019.....	108
Imagen B-8 Excedencia Vs. Valor Medio.....	112
Imagen B-9 Excedencia Vs. Valor Medio.....	112
Imagen B-10 Recta de regresión de Draper. ....	115
Imagen B-11 Recta de regresión de Weibull.....	116
Imagen B-12 Recta de regresión Log-Log. ....	117
Imagen B-13 Recta de regresión Log-Ln. ....	118
Imagen C-14 Levantamiento de información - Pedernales. ....	121
Imagen C-15 Levantamiento de información - Chanduy. ....	121
Imagen C-16 Levantamiento de información - Puná. ....	122
Imagen C-17 Uso y cobertura de suelos - Pedernales.....	122
Imagen C-18 Uso y cobertura de suelos - Chanduy. ....	123
Imagen C-19 Uso y cobertura de suelos - Puná. ....	123

Imagen C-20 Tipo de suelo - Pedernales. ....	124
Imagen C-21 Tipo de suelo - Chanduy. ....	124
Imagen C-22 Tipo de Suelo - Puná. ....	125
Imagen C-23 Topografía - Pedernales.....	125
Imagen C-24 Topografía - Chanduy. ....	126
Imagen C-25 Topografía - Puná. ....	126
Imagen C-26 Isoyetas de precipitaciones - Pedernales. ....	127
Imagen C-27 isoyetas de precipitaciones - Chanduy. ....	127
Imagen C-28 Isoyetas de precipitación - Puná. ....	128
Imagen C-29 Zonas sísmicas del Ecuador. Referencia: Código Ecuatoriano de Construcción .....	131
Imagen E-30 Cronograma Solución A: Dique y Canal. ....	144
Imagen E-31 Cronograma Solución B: Dique y Canal. ....	145
Imagen E-32 Cronograma Solución C: Dique y Canal. ....	146
Imagen F-33 Ubicación del Proyecto. ....	147
Imagen F-34 Registro del Proyecto según actividad. ....	149
Imagen F-35 Datos del proyecto. ....	149
Imagen F-36 Certificado de Intersección. Referencia: SUIA,2019. ....	150
Imagen F-37 Mapa de Certificado de Intersección. Referencia: SUIA,2019. ....	151

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Bibliografía sobre selecciones de sitio para implementación de puertos espaciales. ....	24
Tabla 1-2 Bibliografía sobre generación de escenarios de inundaciones.....	25
Tabla 1-3 Bibliografía sobre modelamiento de mareas en Ecuador.....	26
Tabla 1-4 Bibliografía sobre elevación del mar por Fenómeno de El Niño.....	27
Tabla 1-5 Bibliografía sobre Cambio Climático Mundial y Regional.....	28
Tabla 2-1 Parámetros a medir para selección del sitio del puerto espacial.....	32
Tabla 2-2 Escala de Lickert para selección del sitio.....	33
Tabla 2-3 Combinaciones de corridas para proceso de validación y calibración.....	43
Tabla 2-4 Parámetros de oleaje calculados de la data del WW3.....	46
Tabla 2-5 Mapas de inundación generados con diferentes escenarios.....	47
Tabla 3-1 Matriz de Lickert - 16 parámetros.....	49
Tabla 3-2 Matriz de Lickert - 5 criterios-12 subcriterios.....	50
Tabla 3-3 Resumen de entrevista a Msc. Gina Andrade.....	50
Tabla 3-4 Resumen de entrevista a Msc. Jonathan Cedeño.....	51
Tabla 3-5 Resumen de entrevista a PhD. María Del Pilar Cornejo.....	52
Tabla 3-6 Resumen de entrevista a Ing. Alejandro Chanabá.....	52
Tabla 3-7 Modelos del proceso de validación con sus parámetros estadísticas. En rojo: parámetros óptimos encontrados. En cuadro rojo: modelo seleccionado como óptimo para modelamiento.....	58
Tabla 3-8 Parámetros estadísticos de las estaciones mareográficas.....	59
Tabla 3-9 Comparación de estaciones con Chanduy.....	59
Tabla 3-10 R <sup>2</sup> para marea extrema.....	67
Tabla 3-11 Niveles de Marea Extrema en Libertad. En cuadro rojo: periodo de retorno utilizado.....	67
Tabla 3-12 Valores de elevación del nivel del mar por Cambio Climático.....	69
Tabla 3-13 Valores de elevación del nivel del mar por Fenómeno de El Niño.....	69
Tabla 3-14 Parámetros peak del Oleaje en Chanduy.....	71
Tabla 3-15 Parámetros de Oleaje a partir de Hs.....	71
Tabla 3-16 Olas extremas. En cuadro rojo: periodo de retorno utilizado.....	72

Tabla 3-17 Alturas de Escenarios de inundación.....	76
Tabla 3-18 Correcciones de niveles de referencia. Referencia: INOCAR. ....	76
Tabla 3-19 Análisis de Costos - Etapa Proyecto.....	92
Tabla 3-20 Resumen de Costos - Soluciones Ingenieriles.....	93
Tabla 3-21 Resumen de Tiempos de Construcción - Soluciones Ingenieriles.....	93
Tabla A-1 Parámetros de la muestra de suelo obtenida en la salida de campo. ....	104
Tabla B-2 Datos de oleaje obtenidos de Espín y Nath.....	109
Tabla B-3 Datos de oleaje obtenidos de Espín y Nath.....	110
Tabla B-4 Datos de oleaje. ....	110
Tabla B-5 Datos de oleaje ordenados.....	111
Tabla B-6 Datos de oleaje sin valores extremos.....	113
Tabla B-7 Datos de oleaje sin valores extremos.....	113
Tabla B-8 Métodos de extrapolación para cálculo de olas extremas. ....	114
Tabla B-9 Probabilidades de periodos de retorno.....	114
Tabla B-10 Olas extremas según Draper.....	115
Tabla B-11 Olas extremas según Weibull.....	116
Tabla B-12 Olas extremas según Log-Log. ....	117
Tabla B-13 Olas extremas según Log-Ln. ....	118
Tabla C-14 Parámetros a medir para selección del sitio del Puerto Espacial. ....	120
Tabla D-15 Datos de ola para asomeramiento. ....	137
Tabla E-16 Presupuesto de obra: Solución A. ....	141
Tabla E-17 Presupuesto de obra: Solución B. ....	142
Tabla E-18 Presupuesto de obra: Solución C. ....	143
Tabla F-19 Coordenadas del Proyecto. ....	147
Tabla F-20 Reformas del Libro VI del TULSMA.....	148

## ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Solución A para protección del Puerto Espacial

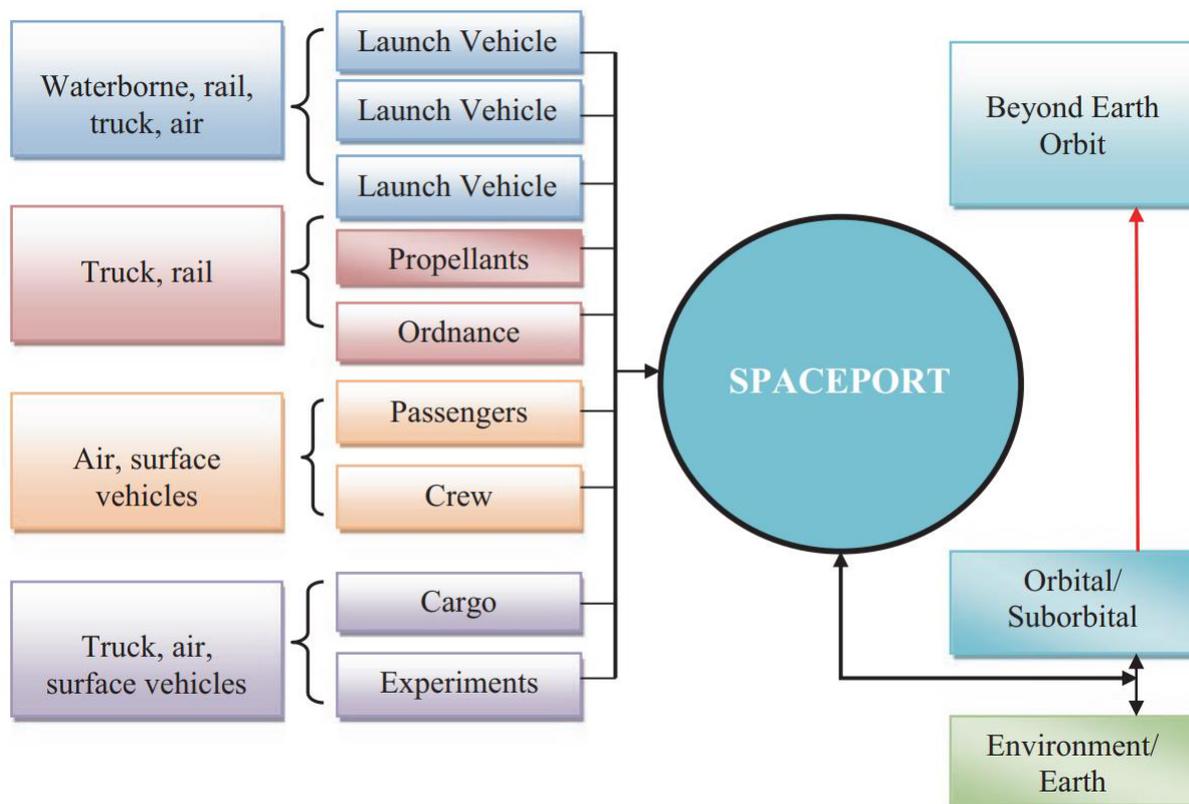
PLANO 2 Solución B para protección del Puerto Espacial

PLANO 3 Solución C para protección del Puerto Espacial

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Un puerto espacial es el grupo de instalaciones capacitadas para el lanzamiento o cooperación técnica de cohetes y aeronaves. En un puerto espacial convergen todos los elementos para un vuelo espacial. En primera instancia, llegan los componentes por aire, tren, agua o tierra. Después, los elementos son integrados para generar un vehículo de lanzamiento, se añade el combustible y la tripulación. Finalmente, el vehículo es lanzado al espacio para mantener su órbita. Se muestra un esquema en la Imagen 1-1.



**Imagen 1-1 Esquema secuencial de procesos en un puerto espacial. Referencia: Seedhouse, 2017**

Los puertos espaciales generan beneficios económicos, sociales y ambientales que fortalecen las diferentes divisiones políticas en un país, como lo ha hecho en Florida, USA. ([SpaceFlorida, Florida Spaceport System Plan 2018, 2018](#))

Según ([Seedhouse, 2017](#)), para el Gobierno Federal de los Estados Unidos, la localización de los puertos espaciales ha sido designada bajo los siguientes parámetros:

- Proximidad a la línea ecuatorial, por el aumento de la carga útil.
- Proximidad a la costa, porque reduce el peligro a la vida y la propiedad.
- Proximidad a una base militar, porque aumenta la seguridad.

El puerto espacial de Cabo Cañaveral es uno de los más grandes de USA, ha generado beneficios a la industria aeroespacial emergente. Se ha convertido en un nodo para el desarrollo del transporte humano al espacio, debido a la presencia de talento experimentado local, mano de obra innovadora, industrias de primera y proveedores. ([SpaceFlorida, Cape Canaveral Spaceport Master Plan, 2017](#))

Kourou es un puerto espacial localizado en Guayana Francesa, Sur América. Fue seleccionado entre 14 candidatos por el gobierno francés debido a que consideraron su ubicación geográfica como una ventaja para lanzamientos. Estar en las cercanías de la línea ecuatorial, le permite lanzar vehículos en órbitas geoestacionarias con el ahorro de masa y combustible; además, los vehículos lanzados obtienen velocidad adicional provista por la rotación de la Tierra. ([International Space University, 2011](#))

Leviathan Space Industries, empresa de Pompano Beach FL, USA, indica que el espacio es una ventana de oportunidades debido a que:

- Existe reducción de costos para lanzamiento de cohetes, por lo cual acceder al espacio es más fácil y económico.
- Los servicios de un satélite pueden cambiar.
- Las exploraciones de la Nasa resultan de públicas a privadas, lo que trae nuevas tecnologías e industrias.

La solución propuesta por Leviathan Space es generar un mercado consumidor del espacio. De esta manera se generan nuevas oportunidades como:

- Migrar los contaminantes de las industrias fuera de la Tierra.

- Oportunidades de investigación en ambientes estériles, artificiales, con gravedad cero y más seguros.
- Las compañías pueden mantener su modelo de negocios actual o adaptarlo a este nuevo mercado.
- Movilidad fuera del mundo para que las personas desarrollen hospitalidad y entretenimiento.
- Nuevas tecnologías, robótica, internet de las cosas, comunicaciones e inteligencia artificial.
- Conservación de energía, agua y comida.

Por lo cual, proponen generar un Puerto Espacial Privado en Ecuador para aprovechar su localización geográfica. De esta manera, Ecuador tendrá como beneficios:

- Inversión extranjera directa.
- Creación de un ecosistema aeroespacial.
- Ser pioneros de la revolución espacial.
- Generación de empleos.
- Transferencia de tecnologías.
- Oportunidad de investigaciones y nuevas carreras para universidades.
- Incremento de impuestos para proveedores asociados.
- Oportunidades de intercambio. ([Leviathan Space Industries, 2018](#))

Este proyecto tiene la modalidad de multidisciplinario debido al aporte del Sr. Luis Gustavo Palacios, estudiante de Ing. Civil – FICT y del suscrito, Sr. Jorge Iñiguez Noboa, estudiante de Oceanografía – FIMCM. El trabajo en conjunto permitió generar este proyecto que brinda soluciones ingenieriles ante el incremento del nivel del mar para la implementación de un puerto espacial en la costa ecuatoriana, basado en las necesidades de Leviathan Space Industries, mediante la metodología de “Design Thinking”.

## 1.1 Descripción del problema

De acuerdo con (IPCC, [Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014](#)), desde el periodo de 1901 – 2010, el nivel del mar se incrementó 0.19 m y la tasa promedio fue de 1.7 mm/año. Para el periodo entre 1993 – 2010, la tasa de incremento del nivel medio del mar es de 3.2 mm/año.

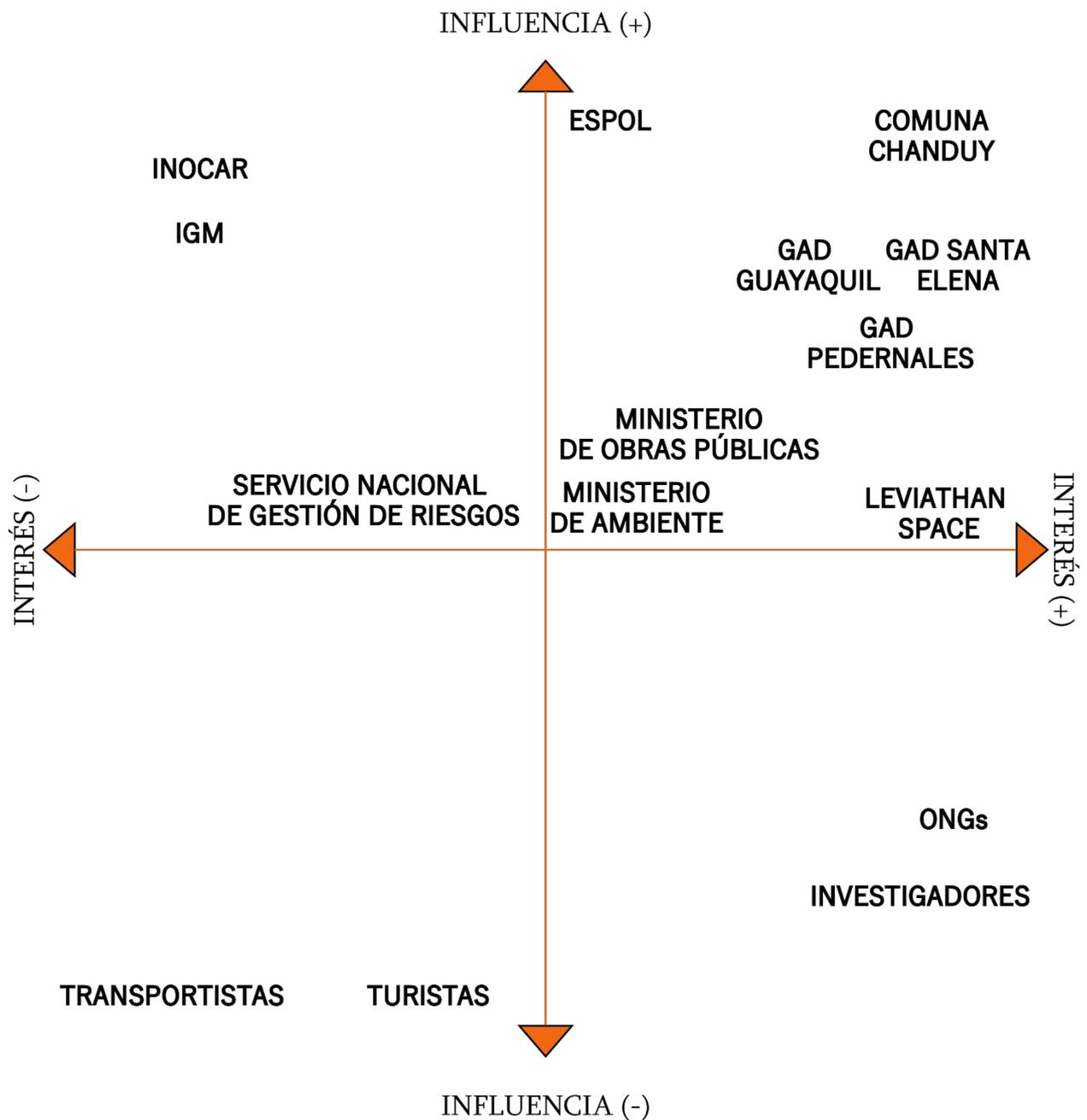
Según ([Cornejo, 2007](#)), utilizando el software DIVA bajo el escenario A1B, se predijo un incremento del nivel del mar para el 2100 de 0.95m en la zona de Guayas - Ecuador. Durante el año de publicación del reporte de Cornejo, Santa Elena pertenecía a la provincia del Guayas.

[Moreano et al. \(1986\)](#) indicó que en la estación La Libertad - Ecuador existió un aumento del nivel del mar debido al Fenómeno de El Niño 1982-83, correspondiente a +47cm durante enero 5 de 1983.

[Zambrano et al. \(2000\)](#) manifestó que en la estación La Libertad - Ecuador existió un aumento del nivel del mar debido al Fenómeno de El Niño 1997-98, correspondiente a +42cm durante diciembre 1997.

Leviathan Space consciente de estos valores, solicita a ESPOL realizar este proyecto para determinar cuál es la zona en la costa ecuatoriana donde deben implementar el puerto espacial, sin ser afectados por el incremento del nivel del mar y la generación de soluciones ingenieriles económicas que le permitan mitigar sus efectos.

Es necesario levantar un mapa de actores para conocer las personas, entidades, gremios, instituciones y personal que participarían del proceso de implementación del puerto espacial. Se pueden observar en la imagen 1-2.



**Imagen 1-2 Mapa de actores para la implementación del puerto espacial.**

Las restricciones de este proyecto se basan en:

- El sitio para implementación del puerto espacial deberá ser seleccionado entre Chanduy, Pedernales o Puná.
- El puerto espacial debe tener un mínimo de 400 Km<sup>2</sup>.

- Softwares y programas disponibles de versión libre o de aquellos que se posean sus licencias.
- La modelación de marea depende de:
  - Hardware: tiempo de cómputo y características del ordenador a utilizar.
  - Software: datos de entrada disponibles sobre batimetría, componentes astronómicas, rugosidad de fondo, viscosidad de Eddy, condiciones de borde.
  - Proceso de calibración y validación de datos modelados.
- El cálculo de marea extrema y ola de diseño depende de la información histórica disponible y accesible que brinde confianza estadística.
- La definición de los valores de incremento del nivel del mar por Cambio Climático y Fenómeno de El Niño depende de la información bibliográfica disponible y confiable aplicable a la zona de Ecuador.
- La generación de los escenarios de inundación depende de los DEM disponibles accesibles de la zona.
- Las soluciones ingenieriles dependen de los escenarios de inundación y del costo de construcción.

Basado en estos parámetros, se cuestiona:

- *¿Cuál es el sitio óptimo para la implementación de un puerto espacial en la costa ecuatoriana?*
- *¿Cuál será el nivel de inundación existente en un sitio de la costa ecuatoriana debido a marea máxima, incremento del nivel del mar por cambio climático, fenómeno de El Niño, marea extrema y run-up de una ola extrema?*
- *¿Cuáles serían las soluciones ingenieriles para afrontar los escenarios de inundación, con la finalidad de no afectar al puerto espacial de manera directa en sus instalaciones, ni de manera indirecta?*

## **1.2 Justificación del problema**

Leviathan Space es una compañía espacial de Florida, USA con la visión de crear un ecosistema espacial que mejore la libertad, el acceso, la independencia y la seguridad

para toda la humanidad. Ofrece a sus clientes facilidades para investigación, manufactura en el espacio y turismo espacial.

Leviathan Space tiene como proyecto la implementación de un puerto espacial en la línea ecuatorial, con la finalidad de maximizar el ahorro de combustible de los vehículos de lanzamiento y maximizar la carga útil. Por estas premisas, desean ubicarlo en Ecuador para aprovechar la velocidad de rotación de la línea ecuatorial.

Leviathan Space alega que se encuentran desarrollando el primer ecosistema aeroespacial y tecnológico permitiendo la futura exploración del sector privado y colonización. Posterior al puerto espacial, desean construir su primera estación espacial en órbita geoestacionaria. ([Leviathan Space Industries, 2018](#))

Leviathan Space desea implementar un puerto espacial en Ecuador, por lo cual preselecciona tres sitios: Chanduy, Pedernales y Puná debido a parámetros como poblaciones cercanas, distancia a grandes ciudades, accesibilidad al Océano Pacífico y posibilidad de expansión.

Leviathan Space se encuentra preocupado debido al incremento del nivel del mar que podría existir en la costa ecuatoriana y cómo afectaría al puerto espacial. Por estos motivos, bajo los requerimientos de Leviathan Space, se realiza este proyecto donde se proponen soluciones ingenieriles ante la elevación del mar que protejan al puerto espacial.

Este proyecto consta de 3 etapas. La primera es un estudio de prefactibilidad para la selección del mejor sitio utilizando la metodología de la matriz de Lickert basado en los siguientes criterios:

- Climatología
- Ambiente
- Seguridad
- Operación Técnica
- Economía

Adicionalmente, se valida el resultado de la matriz de Lickert por medio de entrevistas a expertos en oceanografía y logística.

De donde se obtiene a la zona de Chanduy como la mejor ubicación para la implementación del puerto espacial.

La segunda etapa calcula los niveles de inundación posibles en Chanduy debido a:

- Marea Máxima Modelada
- Incremento del nivel del mar por Cambio Climático
- Fenómeno de El Niño
- Marea extrema con periodo de retorno de 100 años
- Run up de Ola extrema con periodo de retorno de 100 años

Finalmente, la tercera etapa desarrolla soluciones ingenieriles de manera detallada para afrontar la inundación donde se incluyen el cálculo de costos y evaluación de impacto ambiental.

La viabilidad del proyecto se basa en los siguientes factores:

- Comisión de ESPOL encargada de realizar el proyecto: profesores investigadores y estudiantes.
- Modelo numérico para la modelación de mareas denominado Delft 3D Suite GUI – licencia hasta 2020.
- Sistema de cómputo numérico para manejo de datos denominado MATLAB 2016B.
- Software GIS para presentación de niveles de inundación y mapas temáticos denominados QGIS y ARCGIS, versión libre.
- Software de dibujo por computadora para presentación de planos denominado AUTOCAD 2D, versión estudiante.
- Software para análisis de estabilidad de estructuras considerando sismos denominado “Slide 6.0”, versión libre.
- Viáticos para visita al sitio por parte de la comisión de ESPOL.
- Drone DJI Matrice 100 para levantamiento de ortofoto.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar preliminarmente soluciones ingenieriles mediante la aplicación de metodologías de diseño de Ingeniería Civil y Oceanografía, a fin de mitigar los efectos de la elevación del nivel del mar debido a marea, Fenómeno de El Niño y Cambio Climático en un sector de la costa ecuatoriana para la implementación de un puerto espacial.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Seleccionar el mejor sitio de la costa ecuatoriana para la implementación de un puerto espacial mediante la aplicación de la metodología de Lickert. (Ing. Civil & Oceanografía)
- Modelar los cambios de marea utilizando el modelo numérico Delft 3D según el proceso de validación y calibración. (Oceanografía)
- Definir los incrementos del nivel del mar según Fenómeno de El Niño y Cambio Climático mediante la investigación bibliográfica. (Oceanografía)
- Calcular la marea extrema con un periodo de retorno de 100 años, para un sector en la costa ecuatoriana, utilizando data histórica de nivel del mar. (Oceanografía)
- Calcular la ola de diseño con un periodo de retorno de 100 años, su run-up y el peso de la roca de coraza de una protección costera, para un sector en la costa ecuatoriana, utilizando data histórica de nivel del mar. (Oceanografía)
- Generar mapas de inundación en un sector de la costa ecuatoriana, debido a los diferentes escenarios de incremento del nivel del mar. (Oceanografía)
- Identificar la ubicación y características técnicas de los materiales locales aptos para la construcción. (Ing. Civil)
- Diseñar estructuras para mitigar los efectos de inundaciones por incremento del nivel del mar y precipitaciones. (Ing. Civil)
- Estimar los costos y presupuesto de la construcción de las soluciones ingenieriles, por medio del análisis de precios unitarios y rubros. (Ing. Civil)
- Seleccionar el tipo de permiso ambiental de las soluciones ingenieriles según el SUIA y generación de un reporte ambiental acorde al permiso seleccionado. (Ing. Civil y Oceanografía)

## 1.4 Marco teórico

Este proyecto se basa en la selección de Chanduy como el mejor sitio para la implementación del puerto espacial, posteriormente, la generación de los escenarios de inundación y el diseño de las soluciones ingenieriles.

Por lo cual, es necesario revisar proyectos sobre:

- Selecciones de sitio para implementación de puertos espaciales.
- Generación de escenarios de inundaciones.
- Modelamiento de mareas.
- Fenómeno de El Niño en Ecuador.
- Elevación del Nivel del Mar por efecto de Cambio Climático (global, regional).

### 1.4.1 Selecciones de sitio para implementación de puertos espaciales

La selección del mejor sitio para implementar un puerto espacial se basa primordialmente en parámetros de climatología, ambiente, seguridad, operación técnica y economía; por lo cual es necesario determinar cuáles han sido los procedimientos utilizados para implementar un puerto espacial.

**Tabla 1-1 Bibliografía sobre selecciones de sitio para implementación de puertos espaciales.**

Título	Autores	Resumen	Aporte al proyecto	Referencia
<b>Spaceport Site Selection with Analytical Hierarchy Process Decision Making</b>	M. Dachyar H. Purnomo	Identificación de los factores importantes y la metodología para la selección del mejor lugar para un puerto espacial en Indonesia. Se utiliza el Proceso de Jerarquía Analítica.	Parámetros por calificar para selección del sitio de implementación del puerto espacial en la costa ecuatoriana	(Dachyar & Purnomo, 2018)

### 1.4.2 Generación de escenarios de inundaciones

Los escenarios que se generan en este proyecto se basan en variaciones del nivel del mar por marea, Fenómeno de El Niño, Cambio Climático y oleaje, basados en los parámetros más influyentes en la costa ecuatoriana.

Revisar estudios sobre generación de inundaciones, ayudará a determinar metodologías y parámetros adicionales que podrían ser utilizados.

**Tabla 1-2 Bibliografía sobre generación de escenarios de inundaciones.**

Título	Autores	Resumen	Aporte al proyecto	Referencia
<b>Creación de escenarios de inundación en la ciudad de Puntarenas ante el aumento del nivel mar</b>	M. Lizano O. Lizano	Generación de niveles de inundación por aumento del nivel del mar debido a cambio climático, Fenómeno de El Niño, apilamiento de oleaje y mareas astronómicas.  Se realizan escenarios para los siguientes 100 años basados en modelos, observaciones y mediciones en campo.	Parámetros adicionales aplicables para generación de inundaciones en la zona de Chanduy.	(Lizano & Lizano, 2010)
<b>Análisis de inundación causado por el aumento del mar en la región de Sixaola</b>	C. Huguenin R. Vega	Determinación de los efectos generados por el aumento del nivel del mar en una zona del Caribe.	Metodología aplicable para generación de escenarios de inundaciones.	(Huguenin & Vega, 2017)
<b>Modelamiento de zonas de inundación por medio de las herramientas Hec-ras, Geo-ras y ArcGIS, para el sector comprendido entre los municipios de corrales-paz de río a lo largo del río Chicamocha, en el departamento de Boyacá</b>	W. Mora R. Ochoa	Modelamiento de inundaciones por precipitaciones utilizando sistemas de información geográficos.	Posible proceso para presentación de los escenarios de inundación.	(Mora & Ochoa, 2016)

<b>Flood Risk Guayaquil</b>	J. Stenfert R. Bouman R. Nolthenius S. Joosten	Generación de inundaciones por medio del modelamiento de mares y cálculo de mareas extremas para la zona de Guayaquil.	Procedimiento para generación de escenarios de inundación.	Stenfert et al. (2016)
-----------------------------	---	--	--	------------------------

### 1.4.3 Modelamiento de Mareas

El estudio de las mareas es el núcleo principal de estudio de este proyecto. El modelamiento de mareas ha sido desarrollado por modelos numéricos utilizando las constituyentes diurnas y semidiurnas, por medio de softwares de modelado como DELFT 3D.

**Tabla 1-3 Bibliografía sobre modelamiento de mareas en Ecuador.**

Título	Autores	Resumen	Aporte al proyecto	Referencia
<b>Gulf of Guayaquil tidal simulation using delft3d hydrodynamic model during an el Niño event and normal conditions</b>	M. Espinoza	Modelamiento de mareas en la zona del golfo de Guayaquil durante un año denominado normal y un año con presencia de Fenómeno de El Niño, para comprar la amplitud de marea en ambos eventos.	Procedimiento de calibración y parámetros aplicables para modelamiento de mareas.	(Espinoza, 2018)
<b>Flood Risk Guayaquil</b>	J. Stenfert R. Bouman R. Nolthenius S. Joosten	Generación de inundaciones por medio del modelamiento de mares y cálculo de mareas extremas para la zona de Guayaquil.	Fuente para obtención de datos y procedimiento de modelación.	Stenfert et al. (2016)
<b>Delft 3D Flexible Mesh Modelling of the Guayas River and Estuary System in Ecuador</b>	P. Barrera	Modelamiento del río Guayas desde sus características hidrodinámicas y morfológicas.	Procedimiento para validación y calibración del modelo.	(Barrera, 2016)

#### 1.4.4 Fenómeno de El Niño en Ecuador

El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es un fenómeno natural de escala interanual que implica variaciones de la temperatura del mar en el Pacífico Ecuatorial. Es un evento acoplado entre la componente oceánica denominada “El Niño” y la componente atmosférica denominada “Oscilación del Sur”. Posee dos fases: Una cálida, El Niño, y una fría, La Niña. Debido al decaimiento de los vientos Alisios del Sudeste, a la migración zonal de la poza de agua cálida del Pacífico Occidental al Pacífico Central, y al desarrollo de anomalías de viento Oeste en el Pacífico Central-Occidental, la respuesta del océano es en términos de ondas de Kelvin, que tienen por efecto profundizar la termoclina ecuatorial, incrementar el contenido de calor (Temperatura Superficial del Mar) en los niveles superficiales y subsuperficiales, y de elevar el nivel del mar a lo largo del Pacífico ecuatorial y la costa Oeste de Sudamérica. (Cedeño, 2018a)

Este proyecto se basa en escenarios de inundación, por lo cual solo se estudiará la elevación del nivel del mar debido a la fase cálida del ENOS en la costa ecuatoriana.

**Tabla 1-4 Bibliografía sobre elevación del mar por Fenómeno de El Niño.**

Título	Autores	Resumen	Aporte al proyecto	Referencia
<b>El Niño 1982-83, su formación, su desarrollo y sus manifestaciones en aguas ecuatorianas.</b>	H. Moreano E. Zambrano R. Suescum N. Paredes	Descripción espacial y temporal del Fenómeno de El Niño 1982-83.	Definición de la de elevación del nivel del mar por Fenómeno de El Niño en +47cm.	Moreano et al. (1986)
<b>Variabilidad Oceanográfica en Ecuador Asociada con el Evento ENSO 1997-98</b>	E. Zambrano, R. Martínez, J. Garcés-Vargas	Descripción espacial y temporal del Fenómeno de El Niño 1997-98.	Elevación del nivel del mar por Fenómeno de El Niño en +42cm.	Zambrano et al. (2000)

### 1.4.5 Cambio Climático Mundial y Regional

El IPCC define al Cambio Climático como:

“Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo.” (IPCC, WGI - Glossary, 2014)

Los informes presentados por el IPCC muestran aumentos de la temperatura y del nivel del mar en una tasa mundial de 3.2mm/año, utilizando data de 1993 a 2010. El IPCC muestra en el AR5, 4 escenarios de incremento de la temperatura del nivel del mar mundial: RCP2.6, RCP 4.5, RCP6.0 y RCP8.5; donde cada uno produce una variación del nivel del mar. (IPCC, [Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014](#))

Es necesario conocer los diferentes escenarios de incremento del nivel del mar mundial y regional debido a cambio climático para poder generar los escenarios de inundación.

**Tabla 1-5 Bibliografía sobre Cambio Climático Mundial y Regional.**

Título	Autores	Resumen	Aporte al proyecto	Referencia
<b>Climate Change 2013: The Physical Science Basis</b>	IPCC	Evaluación completa en ciencia sobre cambio climático.	Definición de la elevación del nivel del mar por Cambio Climático al 2100 según escenarios planteados.	(IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014)

<p><b>Climate Change and Sea Level Rise: A Review of the Scientific Evidence</b></p>	<p>S. Dasgupta C. Meisner</p>	<p>Generación una revisión de las componentes que contribuyen al incremento del nivel del mar como expansión térmica, glaciares, Groenlandia y Antártica.</p>	<p>Para incremento del nivel del mar utilizan los valores del escenario AR4 del IPCC.</p>	<p>(Dasgupta &amp; Meisner, 2009)</p>
<p><b>Vulnerability Index to climate change in the Latin American and Caribbean Region</b></p>	<p>Mapplecroft</p>	<p>Cálculo de los índices de vulnerabilidad al cambio climático basado en amenazas relacionadas al cambio climático como ciclones tropicales, inundaciones, sequías y olas de calor</p>	<p>Calculan los índices de Ecuador para vulnerabilidad de cambio climático, exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, mostrando en su mayoría valores de alto riesgo.</p>	<p>(Mapplecroft, 2014)</p>
<p><b>Ecuador Case Study: Climate Change Impact on Fisheries</b></p>	<p>M.P. Cornejo</p>	<p>Evaluación económica, social y poblacional sobre los impactos en las pesquerías de Ecuador debido al Cambio Climático.</p>	<p>Definición del máximo de incremento del nivel del mar por Cambio Climático al 2100 para la zona de Guayas – Ecuador.</p>	<p>(Cornejo, 2007)</p>
<p><b>Climate Change Assessment for Esmeraldas, Ecuador: A Summary</b></p>	<p>R. Sierra S. Flores G. Zamora</p>	<p>Evaluación del Cambio Climático en Esmeraldas-Ecuador.</p>	<p>Para definición de elevación por Cambio Climático, utilizan los datos de (Cornejo, 2007).</p>	<p>Sierra et al. (2009)</p>

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

Según ([ESPOL, 2016](#)), una de las opciones de titulación será el proyecto integrador, donde los estudiantes validarán los conocimientos, habilidades o competencias que han adquirido durante la carrera. Se basa en identificar un problema referente al perfil profesional para luego analizarlo y resolverlo. No es un trabajo de generación de conocimientos porque buscará reforzar la habilidad de utilizar y agrupar distintos saberes.

Para la carrera de Oceanografía, el proyecto integrador se desarrolla en la materia de Diseño Costero II, en la cual se aprenden las etapas de la metodología de “Design Thinking”, la misma que fue aplicada en este proyecto integrador multidisciplinario.

### 2.1 Metodología “Design Thinking”

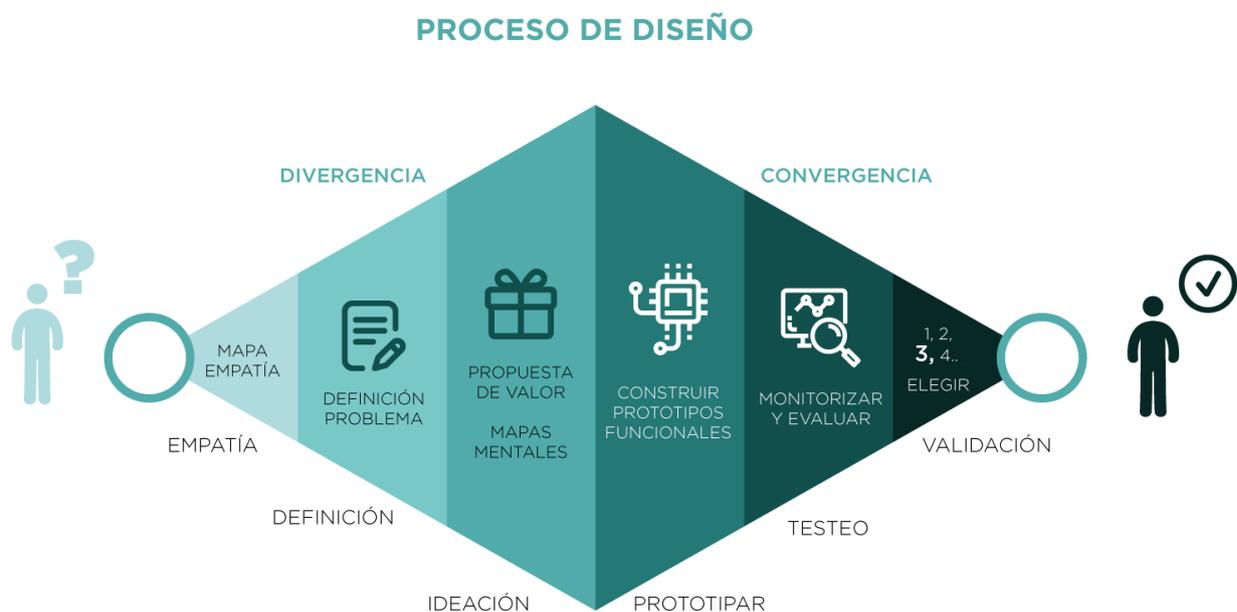
La metodología de Design Thinking tiene como objetivo centrarse en el usuario para generar ideas y soluciones innovadoras ante sus necesidades. De esta manera, las ideas generadas solucionan problemas reales del usuario, al involucrarlo de manera activa en todo el proceso creativo. ([Suárez, 2018](#))

La metodología de Design Thinking se concentra en el usuario, promueve el trabajo en equipo, incentiva a innovar, posee constantes validaciones con el usuario, aproxima a los involucrados al problema estudiado y motiva a las actividades blandas. Se observa el proceso de diseño en la Imagen 2-1. ([Saltos, 2019a](#))

En este proyecto se aplicó la metodología “Design Thinking” debido a que se siguieron los pasos de:

- Empatizar, por medio de reuniones constantes con la compañía Leviathan Space para conocer exactamente el problema que poseen.
- Definición, de la información obtenida de las reuniones, se logró comprender el problema que necesita ser resuelto.

- Ideación, se realizó una lluvia de ideas para identificar el mejor camino para abordar el problema.
- Prototipar, una vez determinado el mejor camino se procedió a realizarlo en etapas.
- Testeo, para cada etapa avanzada del prototipado, se presentó a Leviathan Space para obtener su retroalimentación.
- Validación, se presentó el diseño final que soluciona el problema, con la finalidad de ser aplicado por la compañía.



## DESIGN THINKING

**Imagen 2-1 Proceso de Diseño - Design Thinking. Referencia: Suárez,2018**

En la etapa de ideación, se determinó que el proyecto debe desarrollarse en tres etapas: selección del sitio, generación de escenarios de inundación y diseño de soluciones ingenieriles. A continuación, se describirá la metodología aplicada para cada etapa.

## 2.2 Etapa 1: “Selección del Sitio”

El primer problema que tenía Leviathan Space era definir en qué sitio se debería situar el puerto espacial, para lo cual habían preseleccionado tres sitios: Chanduy, Puná y Pedernales.

Se realizó un “brainstorming” de 16 parámetros que deberían medirse para determinar el mejor sitio, se observan en Tabla 2-1. La metodología utilizada para calificación de cada uno de los parámetros fue la escala de Lickert.

**Tabla 2-1 Parámetros a medir para selección del sitio del puerto espacial.**

<b>Parámetros</b>
Población
Uso de suelos
Infraestructura vial
Tipo de suelo
Reservas naturales
Puertos y aeropuertos
Fallas y sismicidad
Área
Topografía
Tsunami
Clima y meteorología
Incremento del Nivel del Mar
Turismo
Transporte
Áreas de Inundación por lluvias
Exposición al oleaje

La escala de Lickert otorga puntajes a cada parámetro según el criterio de cada participante de la comisión que se encuentre realizando el estudio. [Vásquez et al. \(2007\)](#)

Para este proyecto, la escala fue de 5 en casos óptimos para el proyecto y de 1 en casos pésimos para el proyecto, como se observa en la tabla 2-2.

**Tabla 2-2 Escala de Lickert para selección del sitio.**

<b>Criterio</b>	<b>Puntaje</b>
<b>Pésimo</b>	1
<b>Malo</b>	2
<b>Regular</b>	3
<b>Bueno</b>	4
<b>Óptimo</b>	5

De acuerdo con (Dachyar & Purnomo, 2018), existen 12 subcriterios agrupados en 5 criterios que son aceptados como factores que influyen en la selección de una localización para un puerto espacial en Indonesia. Estos 12 subcriterios fueron seleccionados mediante un cuestionario y entrevistas a expertos y tomadores de decisiones utilizando una escala de Lickert. Se observan con mayor detalle en la imagen 2-2.

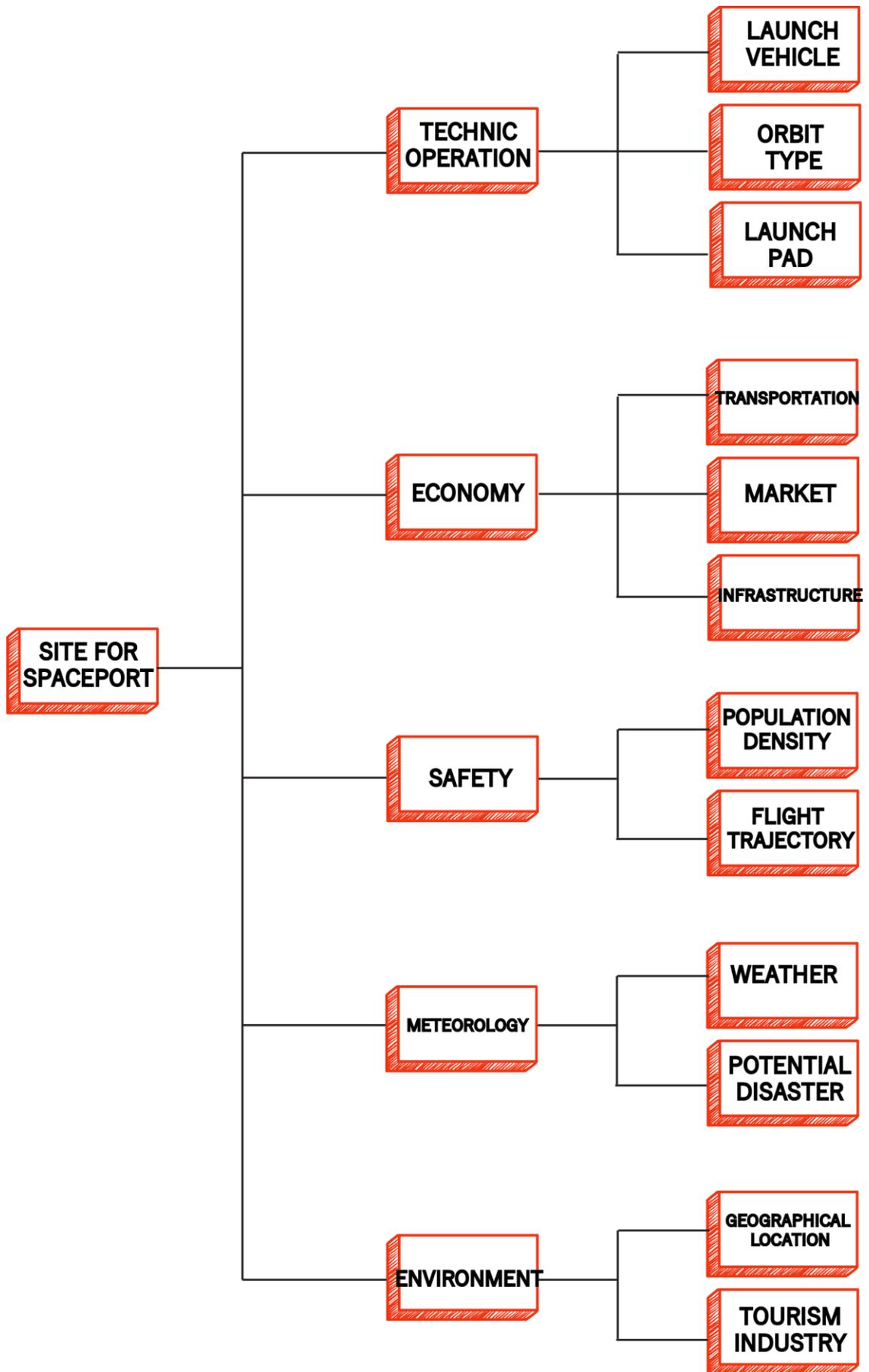


Imagen 2-2 Criterios y subcriterios para selección de sitio de un puerto espacial.  
Adaptación de Dachyar & Purnomo, 2018

De esta manera, se agruparon los 16 parámetros del “brainstorming” previamente calificados, en los 12 subcriterios por medio de media aritmética según correspondía. Para los subcriterios de: vehículo de lanzamiento, tipo de órbita, plataforma de lanzamiento, trayectoria de vuelo y mercado se otorgó el valor neutral (3) para cada sitio, debido a que no eran caso de estudio de este proyecto, según lo indicado por el cliente. Por lo cual, el sitio que obtenga la mayor puntuación era considerado como el sitio óptimo para el puerto espacial.

Para validar el resultado, se entrevistó a expertos en oceanografía y logística:

- Gina Andrade, Máster en Manejo de Recursos Costeros. Coordinadora de Vinculación FIMCM-ESPOL.
- Jonathan Cedeño, Máster en Oceanografía. Coordinador carrera Oceanografía. Delegado ESPOL ante Comité Nacional ERFEN (El Niño).
- María Del Pilar Cornejo, Ph.D. en Oceanografía Física y Meteorología. Decana FIMCM-ESPOL. Directora CIP-RRD.
- Alejandro Chanabá, Máster en Transporte y manejo. Subdecano FIMCM-ESPOL.

### **2.3 Etapa 2: “Generación de Escenarios de Inundación”**

El segundo problema que tenía Leviathan Space es la preocupación de que el puerto espacial que desea ser implementado en la costa ecuatoriana, pueda quedar debajo del agua por incremento del nivel del mar.

Se realizó escenarios de inundación tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Marea modelada hasta el 2029, por medio de Delft 3D
- Cambio Climático, por investigación bibliográfica sobre incremento del nivel mar mundial y regional.
- Fenómeno de El Niño, por investigación bibliográfica sobre incremento del nivel del mar local.
- Marea Extrema, por extrapolación de datos históricos otorgados por el INOCAR.
- Run up de Ola Extrema, por extrapolación de frecuencia absoluta de las olas en Chanduy y un run up de dicha ola extrema sobre la playa.

Se definió al peor escenario de inundación como la suma entre Cambio Climático, Fenómeno de El Niño, Run up de Ola Extrema y el valor máximo entre Marea modelada o Marea extrema.

### 2.3.1 Modelamiento de Mareas utilizando Delft 3D

Delft 3D es un conjunto de modelos numéricos tridimensionales desarrollado por el Instituto de investigación “Deltares” de Países Bajos. Este modelo numérico puede ser aplicado en 2D o 3D para modelado de flujo, transporte de sedimentos, olas, calidad de agua, procesos hidro-morfodinámicos y ecológicos en zonas costeras, ríos, lagos y estuarios. (Deltares, Functional Description, 2014)

Delft 3D consta de varios módulos de trabajo para los procesos e intereses. Los módulos se encuentran interconectados para el intercambio de información y resultados, se observan los módulos en la imagen 2-3. (Deltares, Functional Description, 2014)

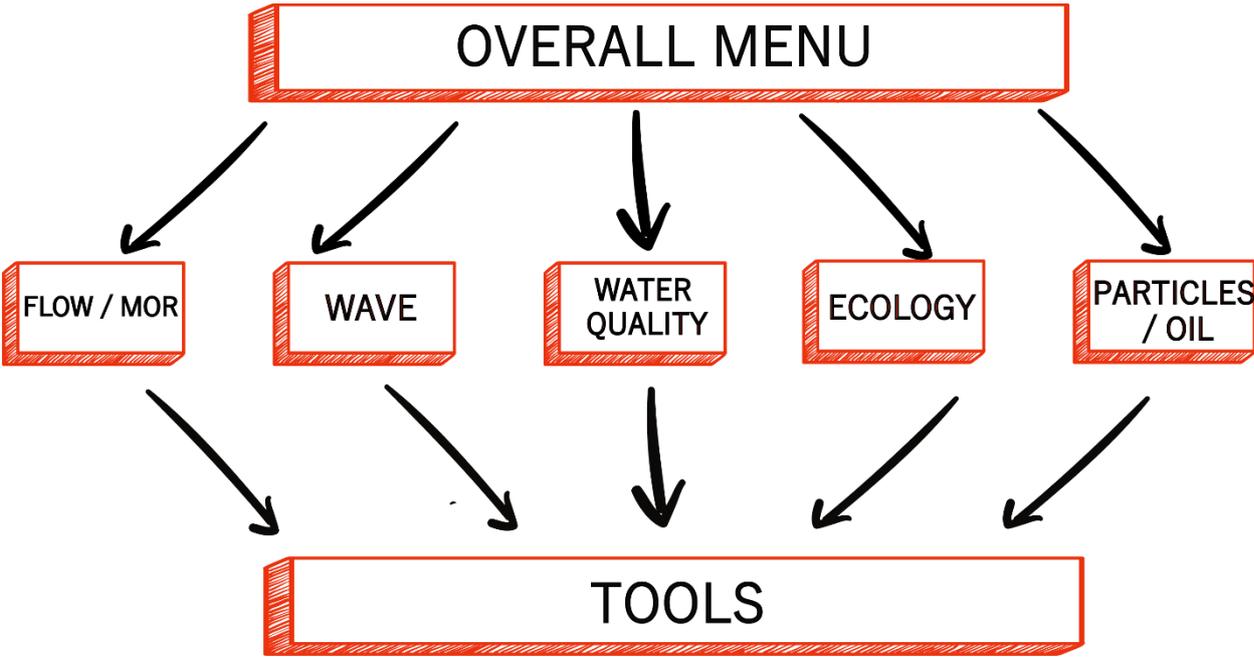


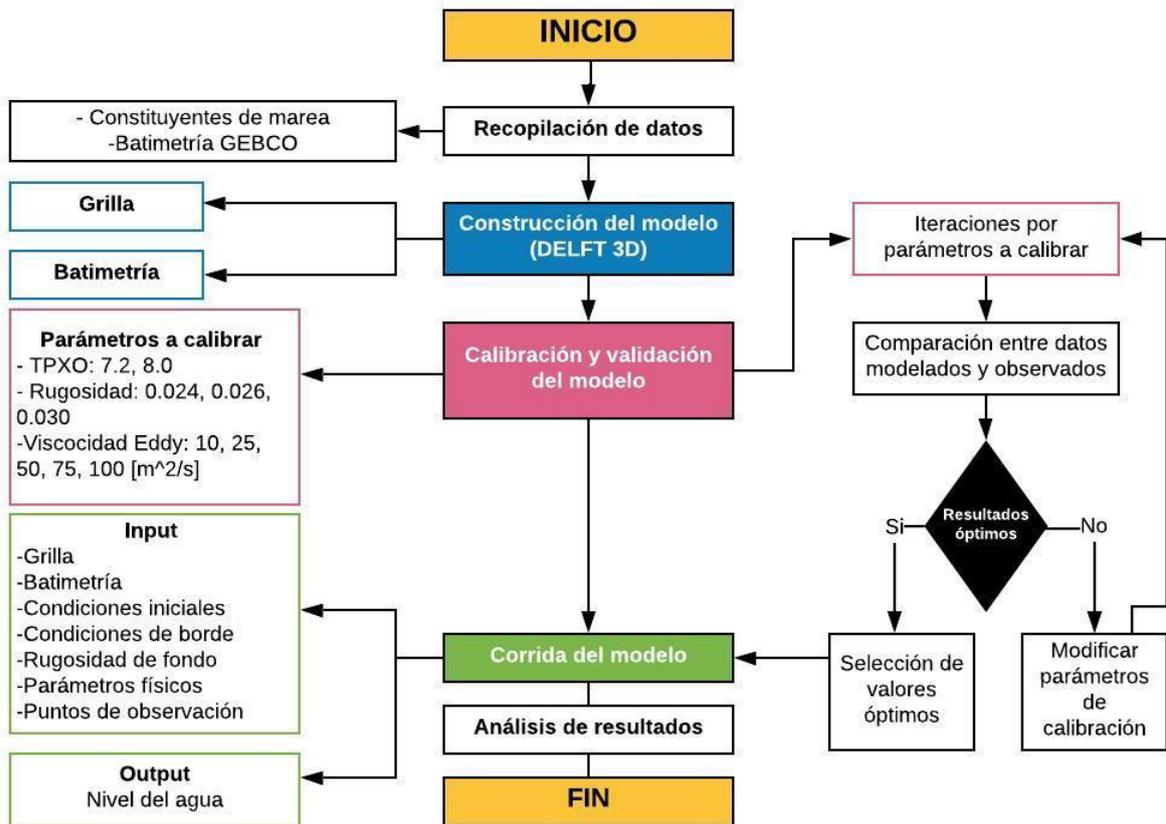
Imagen 2-3 Módulos de Delft 3D. Adaptación de Deltares,2014

Los módulos cubren procesos básicos como:

- FLOW, MOR2D y MOR3D: hidrodinámica, salinidad, temperatura, transporte de sedimentos y morfología.
- WAVE: propagación de onda corta usando SWAN.
- Water Quality: Calidad de agua de manera general.
- SED: transporte de sedimentos cohesivos y no-cohesivos.
- ECO: modelamiento ecológico y eutrofización.
- D-Waq PART: rastreo de partículas y modelado de derrames de aceites.

El módulo utilizado en este proyecto es el FLOW debido a que es un programa de simulación hidrodinámica multidimensional (2D y 3D) que calcula flujos no constantes y transporte como resultado de mareas y meteorología en una grilla rectilínea o curvilínea. Este módulo simula los movimientos del flujo en cuerpos de agua someros resolviendo las ecuaciones de Navier-Stokes para un fluido incompresible junto con las asunciones de Boussinesq. ([Deltares, Hydro-Morphodynamics, 2018](#))

En la imagen 2-4 se refleja el proceso a seguir para el modelamiento de mareas usando Delft 3D en este proyecto.



**Imagen 2-4 Diagrama del proceso metodológico para modelamiento con Delft 3D.**  
**Adaptación de “Figure 2.1.- Diagram of the methodological process.” Espinoza, 2018**

### 2.3.1.1 Obtención de Datos de entrada para Delft 3D

El archivo de entrada para el Delft 3D tiene extensión “.mdf” también llamado “Máster Definition Flow”, el mismo que contiene toda la información para ejecutar una simulación de flujo. (Deltares, Hydro-Morphodynamics, 2018)

Para generarlo es necesario crear un grupo de archivos:

- Grilla
- Batimetría
- Rugosidad de Fondo
- Condiciones Iniciales
- Condiciones de Borde

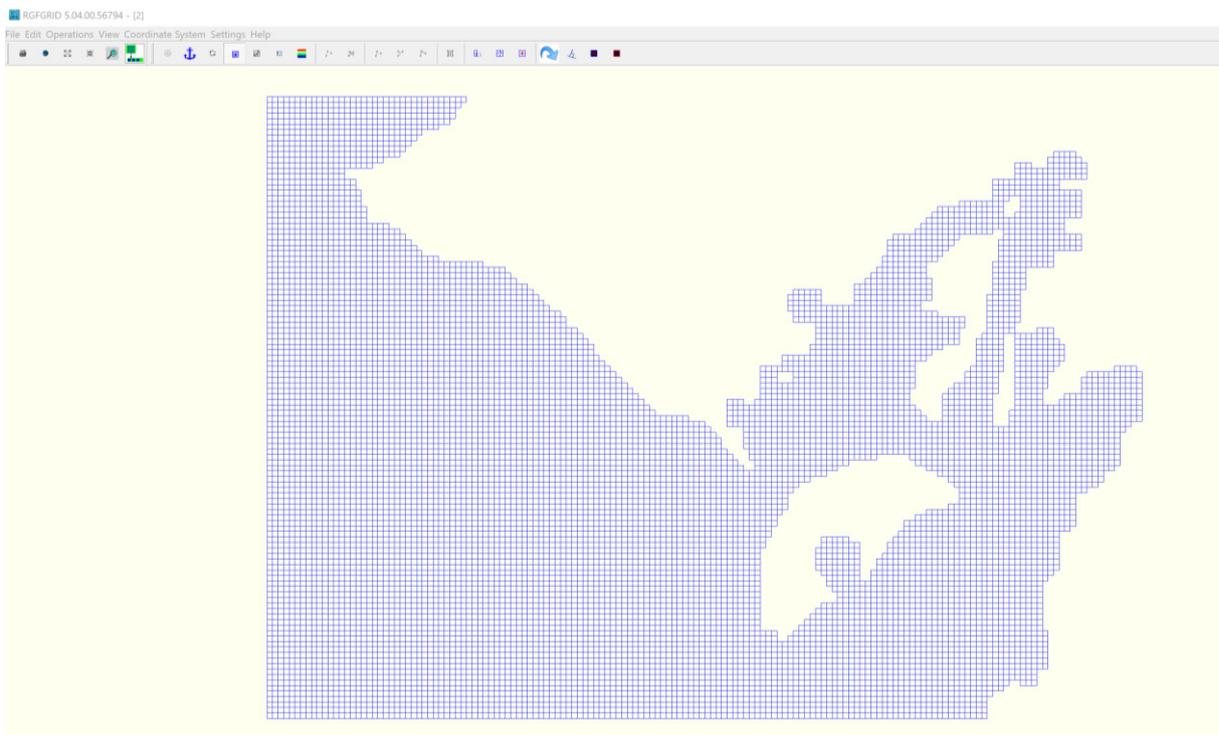
- Puntos de Observación

En el .mdf se guardan los parámetros físicos de:

- Constantes: gravedad, densidad de agua, densidad del aire
- Viscosidad: Viscosidad horizontal de Eddy.

#### 2.3.1.1.1 Grilla

Se generó una grilla que incluye a Salinas en el Norte, la cuenca del Río Guayas y la Isla Puná al sur. La grilla consta de 169 celdas en el sentido M y 113 celdas en el sentido N, cada celda tiene un delta de 1000m. Se muestra la grilla en la imagen 2-5.

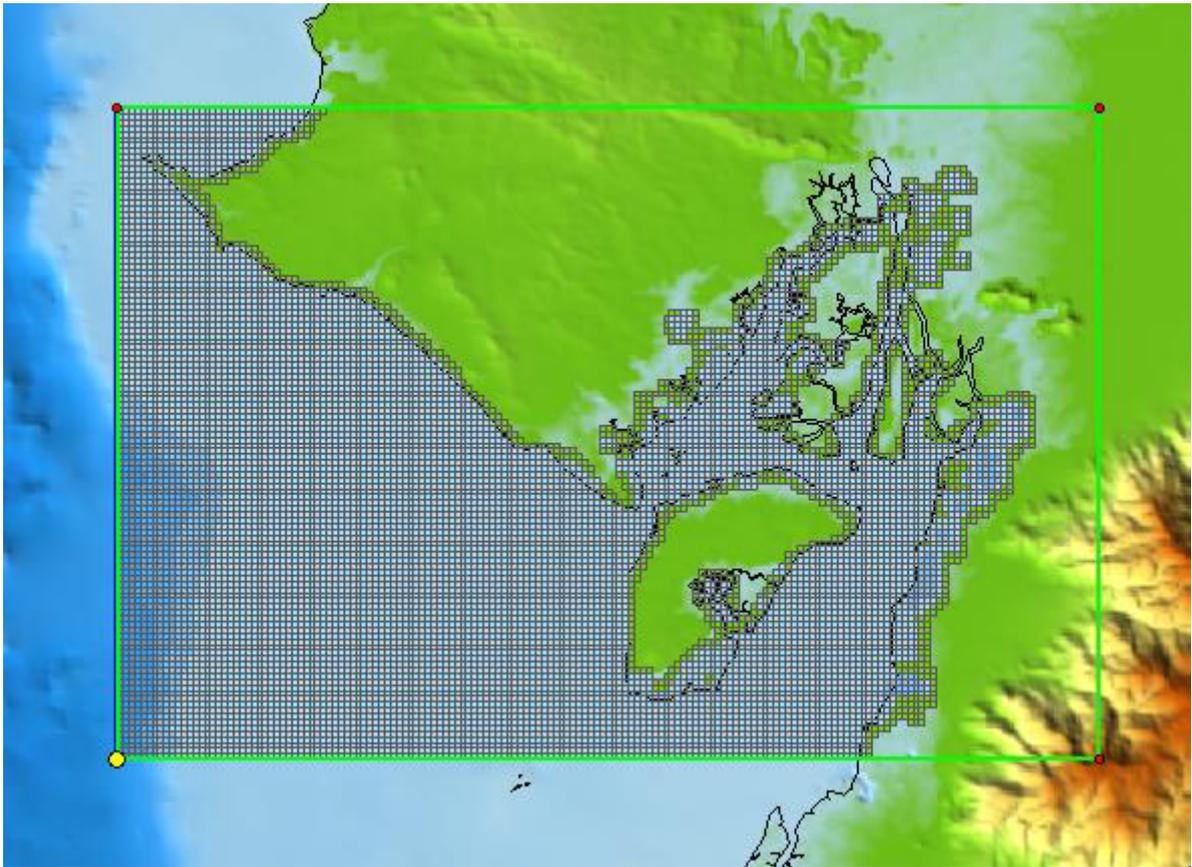


**Imagen 2-5 Grilla generada para modelamiento.**

#### 2.3.1.1.2 Batimetría

La batimetría se obtuvo del GEBCO, set de datos batimétricos cuadrículados, que es un modelo de terreno global para el océano. El GEBCO 08 fue publicado en noviembre del 2010 con una resolución espacial de 30 arco segundos. ([British Oceanographic Data Centre, 2018](#))

En la imagen 2-6, se puede observar la grilla junto con la batimetría.



**Imagen 2-6 Grilla generada y batimetría para modelamiento.**

#### *2.3.1.1.3 Condiciones Iniciales y de Borde*

Las “condiciones” representan la influencia del mundo externo que no es parte del modelo. Las “condiciones” es un grupo de datos donde se definen las condiciones iniciales, su ubicación, su tipo y todos los datos relacionado para la corrida de la simulación. Se debe definir el flujo, que puede estar forzado usando niveles de agua, gradientes de niveles de agua, corrientes, descargas o la invariante de Riemann; por el otro lado, el forzamiento hidrodinámico puede ser prescrito utilizando constituyentes armónicas o astronómicas o como series de tiempo. ([Deltares, Hydro-Morphodynamics, 2018](#))

El TPXO es una serie de modelos globales de mareas oceánicas, con el mejor ajuste al método de mínimos cuadrados, ecuaciones de mareas de Laplace y datos de altimetría.

Los métodos utilizados para calcular el modelo TPXO están descritos en ([Egbert & Erofeeva, 2002](#))

El modelo de este proyecto poseía tres condiciones iniciales localizadas al norte, al oeste y al sur de la grilla utilizando condiciones de niveles de agua; mientras que el forzamiento hidrodinámico fue generado por constituyentes astronómicas del TPXO.

Para este modelo, se utilizó dos versiones del TPXO:

- TPXO 7.2 utiliza M2, S2, O1, K1, N2, K2, P1 y M4.
- TPXO8.0 utiliza M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, MF, MM, M4, MS4 Y MN4.

La mejor versión fue escogida luego del proceso de calibración y validación.

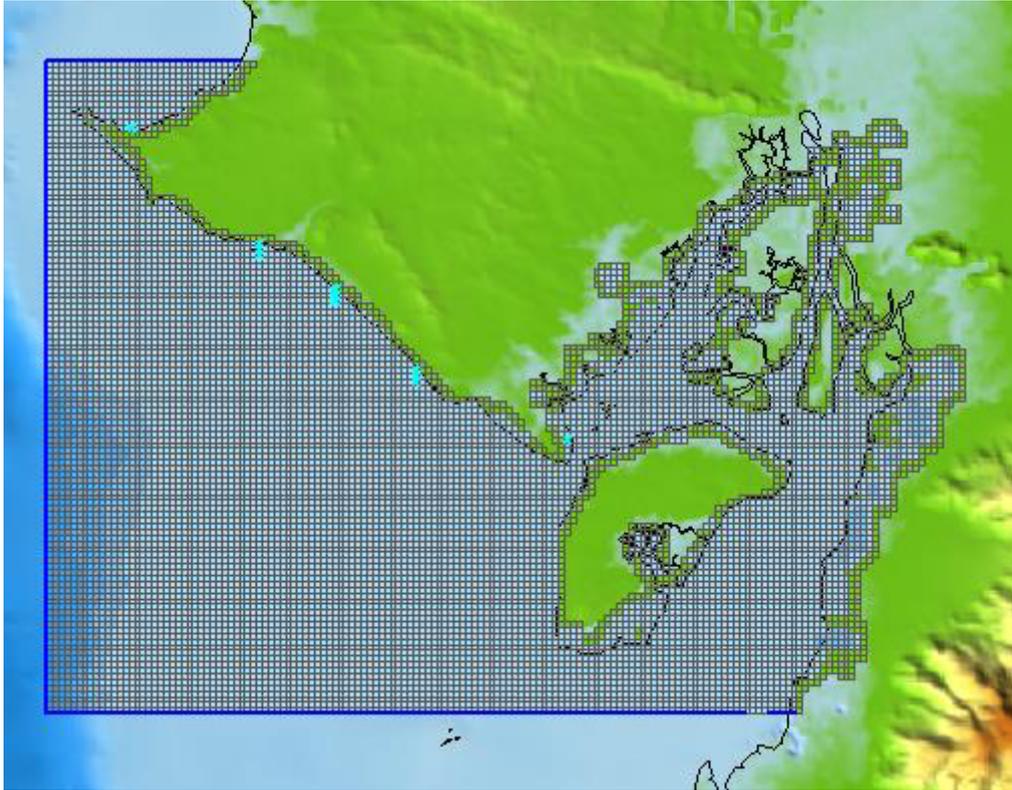
#### *2.3.1.1.4 Rugosidad de Fondo*

En ([Espinoza, 2018](#)), se encontró como el mejor valor para rugosidad de fondo de 0.030 [s/m <sup>1/3</sup>]. Por el otro lado, según ([Jacome de Solorzano & Llanos de Bonilla, 1989](#)) y ([Soledispa, 1987](#)) , muestran que los sedimentos en la zona de Chanduy son principalmente arena, lo que corresponde a valores entre 0.024 y 0.026 [s/m <sup>1/3</sup>].

Para este modelo se utilizó valores de rugosidad de fondo de 0.024, 0.026 y 0.030 [s/m <sup>1/3</sup>]; el mejor valor de rugosidad fue escogido luego del proceso de calibración y validación. Para rugosidad en tierra se utilizó un valor de 0.08 [s/m <sup>1/3</sup>].

#### *2.3.1.1.5 Puntos de Observación*

Se utilizó los mareógrafos de La Libertad y Posorja como puntos de observación para calibración y validación de resultados. Adicionalmente, se ubicaron puntos de observación en Chanduy para extracción de los datos modelados, como se muestra en la imagen 2-7.



**Imagen 2-7 Puntos de observación en el modelo.**

#### 2.3.1.1.6 Parámetros Físicos

Se definieron los parámetros físicos constantes de la siguiente manera:

- Gravedad =  $9.8 \text{ m/s}^2$
- Densidad de agua =  $1025 \text{ kg/m}^3$
- Densidad del aire =  $1.15 \text{ kg/m}^3$

El parámetro de viscosidad de Eddy puede variar entre un rango de  $10 \text{ m}^2/\text{s}$  a  $100 \text{ m}^2/\text{s}$  para áreas con variaciones grandes de mareas y un tamaño de grilla mayor a 100 metros, según (Deltares, *Hydro-Morphodynamics*, 2018).

Para este modelo se utilizó valores de viscosidad de Eddy de 10, 25, 50, 75 y  $100 \text{ m}^2/\text{s}$ ; el mejor valor de viscosidad fue escogido luego del proceso de calibración y validación.

### 2.3.1.2 Proceso de Validación y Calibración

Para el proceso de validación y calibración se efectuaron 30 modelos correspondientes a todas las combinaciones posibles entre los valores de TPXO, rugosidad de fondo y viscosidad de Eddy. Las 30 combinaciones posibles se observan en la tabla 2-3.

**Tabla 2-3 Combinaciones de corridas para proceso de validación y calibración.**

TPXO	Roughness [s/m <sup>1/3</sup> ]	Eddy Viscosity (m <sup>2</sup> /s)
7.2	0.024	10
		25
		50
		75
		100
	0.026	10
		25
		50
		75
		100
	0.030	10
		25
		50
		75
		100
8.0	0.024	10
		25
		50
		75
		100
	0.026	10
		25
		50
		75
		100
	0.030	10
		25
		50
		75
		100

Para validar los resultados se utilizaron tres indicadores estadísticos para relacionar la serie de tiempo modelada con la serie de tiempo real.

**Skill.-** Este indicador estandarizado refleja el nivel de exactitud en que los datos modelados estiman los reales. Se calcula con la ecuación 2,1. Valores de Skill=1 muestran perfecta relación entre los resultados del modelo y los datos reales.

$$s = 1 - \frac{\sum_1^n |X_{\text{mod}} - X_{\text{real}}|^2}{\sum_1^n (|X_{\text{mod}} - \bar{X}_{\text{real}}| + |X_{\text{real}} - \bar{X}_{\text{real}}|)^2} \quad (2,1)$$

donde n es la longitud de ambas series,  $X_{\text{mod}}$  son los resultados del modelo y  $X_{\text{real}}$  son los datos reales. (IHCantabria, 2016)

**Coefficiente R cuadrado.-** Tiene valores entre 0 a 1 e indica que tan bien los datos reales son replicados por el modelo. Valores cercanos a 1, indican mejores correlaciones. Se puede calcular en Matlab directamente con la ecuación 2,2 donde  $X_{\text{mod}}$  son los resultados del modelo y  $X_{\text{real}}$  son los datos reales. (Saltos, 2018b)

$$R^2 = (\text{corrcoef}(X_{\text{mod}}, X_{\text{real}})) * (\text{corrcoef}(X_{\text{mod}}, X_{\text{real}})) \quad (2,2)$$

**Error Cuadrático medio (RMSE).-** Representa la desviación absoluta entre los datos observados y modelados. Para valores mayores de RMSE, mayor la diferencia entre los datos modelados y reales. Se esperan valores de RMSE cercanos a 0. Se calcula con la ecuación 2,3 donde n es la longitud de ambas series,  $X_{\text{mod}}$  son los resultados del modelo y  $X_{\text{real}}$  son los datos reales. (IHCantabria, 2017)

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (X_{\text{mod}} - X_{\text{real}})^2}{n}} \quad (2,3)$$

### 2.3.2 Cálculo de Marea Extrema

Para el cálculo de la marea extrema se realizó una extrapolación de los máximos de marea registrado en 17 años comprendidos entre 2000 al 2016 en la estación de La

Libertad, utilizando las distribuciones probabilísticas de Gumbel Tipo I, Log Normal, Pearson III, Log Pearson III y Ln Pearson tipo III.

Dichos datos fueron entregados por el INOCAR hacia ESPOL mediante del Convenio Marco de Cooperación Interinstitucional entre ambas instituciones, a través del Oc. Jorge Nath.

### **2.3.3 Alturas de inundación por Fenómeno de El Niño y Cambio Climático**

La metodología de definición de las alturas de Cambio Climático y Fenómeno de El Niño fue la recopilación de data bibliográfica disponible.

Para Cambio climático se utilizó data mundial y regional, para ENOS se usó información local. Se escogió el incremento más elevado, de esa manera se generaron los máximos escenarios.

Adicionalmente, se realizó una investigación bibliográfica de los efectos del incremento del nivel del mar sobre los rangos de marea.

### **2.3.4 Cálculo de parámetros de Oleaje**

Para generar estructuras en la zona costera, es necesario conocer los valores de los parámetros que describen al oleaje de la zona; por lo cual, se contempló el análisis de datos de olas (altura, periodo y dirección) obtenidos del WW3.

El WAVE WATCH III (WW3) es un modelo discreto acoplado de olas de tercera generación desarrollado por la NOAA y el NCEP. Se basa en representaciones espectrales discretas del espectro completo de oleaje de viento y fondo. ([Cedeño, 2016b](#))

Para este proyecto se utilizó OPeNDAP como protocolo de acceso para los datos. Los datos obtenidos comprenden un periodo de tiempo del 31 de enero de 1996 a 30 de noviembre del 2017 en la boya virtual más cercana a Chanduy, localizada en 81.2° W, 3° S. Los datos fueron procesados utilizando Matlab para obtener los parámetros mostrados en la tabla 2-4, según la metodología del CEM.

**Tabla 2-4 Parámetros de oleaje calculados de la data del WW3.**

Altura de ola (H)
Promedio de un tercio de las olas más altas (H1/3 o Hs)
Promedio del 10% de las olas más altas (H1/10)
Promedio del 1% de las olas más altas (H1/100)
Altura máxima esperada (Hmáx)
Hs peak
Ts peak
Ángulo peak

### 2.3.5 Cálculo de Ola Extrema y Run up

Debido a que el estado del mar es un proceso aleatorio no estacionario, se puede utilizar la variabilidad de los parámetros de ondas a corto plazo para determinar las alturas máximas posibles a ocurrir para un periodo de tiempo definido. (Allauca & Cardín, 1987)

El método de predicción de olas extremas se basa en la extrapolación de su distribución de frecuencias por medio del procedimiento de una recta de ajuste, junto con el cálculo de la probabilidad de un evento en cierto periodo de tiempo. (Allauca, 1985)

Conocer la recurrencia de estos eventos extremos tiene aplicaciones en los diseños de protección costera que soporten estas condiciones. La metodología detallada para el cálculo de olas extremas se puede encontrar en el Apéndice B.

Se utilizó los datos obtenidos en la **sección 2.3.4. Cálculo de parámetros de oleaje** para calcular la ola extrema mediante las metodologías de Draper, Weibull, Log-Log y Log-Ln; según muestra (Espín & Nath, 1992). Se escogió la ola con periodo de retorno de 100 años según la metodología de Draper por poseer la mayor correlación.

Para calcular el Run up, se calculó el generado por la ola extrema con periodo de retorno de 100 años en la cercanía de la playa utilizando la ecuación de Hunt. (Hunt, 1959)

$$R = \tan \alpha \sqrt{H L_0} = \xi H; 0 < \xi \leq 2.3 \quad (2,4)$$

El parámetro de Irribarren se calcula con la ecuación 2,5.

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}} \quad (2,5)$$

Donde:

- R=run up
- $\xi$ =Parámetro de Iribarren
- $\alpha$ =ángulo de la pendiente
- $L_0$ =longitud de ola en aguas profundas

### 2.3.6 Generación de Escenarios usando QGIS

Definidas las alturas de inundación, se generaron escenarios de inundación utilizando un software de Sistema de Información Geográfica denominado QGIS con un DEM obtenido del SIPA.

Los mapas creados se resumen en la tabla 2-5.

**Tabla 2-5 Mapas de inundación generados con diferentes escenarios.**

Escenarios	Mapa A	Mapa B
1	Marea Extrema	Marea Máxima
2	Marea Extrema + ENOS	Marea Máxima + ENOS
3	Marea Extrema + Cambio Climático	Marea Máxima + Cambio Climático
4	Marea Extrema + ENOS + Cambio Climático	Marea Máxima + ENOS + Cambio Climático
5	Marea Extrema + ENOS + Cambio Climático + Run up de Ola Extrema	Marea Máxima + ENOS + Cambio Climático + Run up de Ola Extrema

### 2.4 Etapa 3: “Diseño de Soluciones Ingenieriles”

El tercer problema que presentaba Leviathan Space era como mitigar los efectos de los escenarios de inundación, por lo cual, se diseñaron diferentes soluciones ingenieriles.

La primera solución se basó en logística, como construir el puerto detrás de la cota más alta de inundación.

La segunda solución fue la generación de diques que contengan la columna de agua junto con canales de aguas lluvias, para evitar la inundación por precipitación. Para el diseño del dique, se realizó una combinación de metodologías constructivas entre Ingeniería Civil y Oceanografía.

Era necesario realizar una salida de campo a la zona para levantamiento de información. El informe técnico de la salida de campo se puede encontrar en el Apéndice A.

#### 2.4.1 Cálculo del Peso de la Roca de Coraza

El dique necesita protección del oleaje incidente, por lo cual es necesario utilizar una coraza de enrocado. Para el cálculo de la roca de coraza se realizará a partir de la fórmula de Hudson, ecuación 2,5 ([SPMII-Coastal Engineering Research Center, 1984](#))

$$W = \frac{w_r H^3}{K_d (S_r - 1)^3 \cot \theta} \quad (2,5)$$

En donde,

- $W$  es el peso de la roca de coraza.
- $H$  es la altura de la ola de diseño que llega al pie de la estructura.
- $\theta$  es el ángulo de la pendiente de la estructura.
- $S_r$  es la gravedad específica de la roca en relación al agua de mar
- $K_d$  es el coeficiente de estabilidad
- $w_r$  es el peso específico seco de la roca

Para el cálculo del run up sobre el dique, se utilizará la metodología presentada en el CEM. ([US Army Corps of Engineers, 2003](#))

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados de este proyecto se presentan según las etapas planteadas en el “Capítulo 2: Metodología”:

- Etapa 1: “Selección del Sitio”
- Etapa 2: “Generación de escenarios de inundación”
- Etapa 3: “Diseño de Soluciones ingenieriles”

### 3.1 Selección del sitio

Para seleccionar el mejor sitio de implementación del puerto espacial, se utilizó la metodología de la **sección 2.2 Etapa 1: “Selección del Sitio”**, donde se generó una matriz de Lickert y se validó con entrevista a expertos.

#### 3.1.1 Matriz de Lickert

Se calificó los 16 parámetros generados en el “brainstorming” bajo la escala de 5 como óptimo para el proyecto y 1 como pésimo. La metodología detallada para la valoración de los parámetros de la matriz de Lickert se puede encontrar en el Apéndice C.

De esta manera, se generó la tabla 3-1, donde se obtuvo a Chanduy como sitio óptimo para el proyecto.

**Tabla 3-1 Matriz de Lickert - 16 parámetros.**

Matriz de Lickert			
<u>Parámetros</u>	<u>Pedernales</u>	<u>Chanduy</u>	<u>Puná</u>
Población	3	4	5
Uso de suelos	4	4	2
Infraestructura vial	4	5	1
Tipo de suelo	4	4	2
Reservas naturales	3	5	5
Puertos y aeropuertos	3	4	3
Fallas y sismicidad	1	2	3
Área	4	4	2
Topografía	2	3	4
Tsunami	3	3	3
Clima y meteorología	3	4	4

Incremento del Nivel del Mar	4	5	2
Turismo	3	4	4
Transporte	3	5	2
Áreas de Inundación por lluvias	5	3	2
Exposición al oleaje	2	3	5
<b>Total</b>	<b>51</b>	<b>62</b>	<b>49</b>

Posteriormente, se procedió a agrupar los 16 parámetros anteriores en los 12 subcriterios según la metodología planteada en (Dachyar & Purnomo, 2018), en donde la tabla 3-2 vuelve a reflejar a Chanduy como sitio óptimo.

**Tabla 3-2 Matriz de Lickert - 5 criterios-12 subcriterios.**

Criterios	Subcriterios	Sitios		
		Pedernales	Chanduy	Puná
<b>Operación Técnica</b>	Vehículo de Lanzamiento	3	3	3
	Tipo de órbita	3	3	3
	Plataforma de Lanzamiento	3	3	3
<b>Economía</b>	Transportación	3	4	2
	Mercado	3	3	3
	Infraestructura	4	4	1
<b>Seguridad</b>	Densidad poblacional	3	4	5
	Trayectoria de vuelo	3	3	3
<b>Climatología</b>	Clima	3	4	4
	Vulnerabilidad	3	3	3
<b>Ambiente</b>	Localización geográfica	3	4	3
	Turismo	3	4	4
<b>Total</b>		<b>37</b>	<b>42</b>	<b>37</b>

### 3.1.2 Entrevistas a Expertos

Para validar el resultado de la matriz de Lickert, se realizaron entrevistas a expertos. En las tablas 3-3 a 3-6, se resumen las respuestas de los entrevistados.

**Tabla 3-3 Resumen de entrevista a Msc. Gina Andrade.**

**MSc. Gina Andrade, Docente Oceanografía, ESPOL**

1. Basado en su experiencia profesional, ¿Qué consideraciones tendría usted para el posicionamiento del puerto espacial?

Lugar alto, planicie, sin obstáculos para evitar inundaciones.  
Clima y meteorología estables y predecibles. Con buena visibilidad, nubosidad casi cero. Accesible

<p>2. <i>¿Cuál cree que sería el mejor sitio para el posicionamiento de un puerto espacial en Ecuador: Chanduy, Puná o Pedernales?</i></p>	<p>Debería ser Chanduy, por ser alto y no está desarrollado poblacionalmente.</p> <p>Puná no es accesible y se necesitaría un puente.</p> <p>Si fuera Pedernales, debería ser más arriba, hacia Cojimíes, debido a que es más abierta y más plana.</p>
<p>3. <i>¿Considera usted que el CC y el incremento del nivel del mar son parámetros que pueden afectar al puerto espacial?</i></p>	<p>Si se localiza en Chanduy, no, sobre todo si se encuentra arriba entre la carretera y el pueblo.</p>
<p>4. <i>¿Qué estrategias utilizaría para afrontar estos parámetros?</i></p>	<p>Por vulnerabilidad a incremento del nivel del mar:</p> <p>Protección a olas de tormenta y deslave. Lo bueno que en esa zona no hay personas.</p> <p>Debido a que es zona comunal, se debe involucrar a la comunidad antes y después.</p>

**Tabla 3-4 Resumen de entrevista a Msc. Jonathan Cedeño.**

***Msc. Jonathan Cedeño, Coordinador Oceanografía, ESPOL***

<p>1. Basado en su experiencia profesional, ¿Qué consideraciones tendría usted para el posicionamiento del puerto espacial?</p>	<p><i>Facilidades para llegada del material. Provechoso para cadena productiva de la región. Perfil atractivo de inversiones. Área despejada para evitar caída de restos en zonas pobladas Zonas de poco riesgo sísmico, incendios, deslaves, inundaciones.</i></p>
<p>2. <i>¿Cuál cree que sería el mejor sitio para el posicionamiento de un puerto espacial en Ecuador: Chanduy, Puná o Pedernales?</i></p>	<p><i>Chanduy, se encuentra cerca de Guayaquil por lo cual puede integrar a la ciudad con servicios y personal calificado.</i></p> <p><i>Pedernales tiene sismicidad elevada</i></p> <p><i>Puná no tiene conexión con tierras y se debería revisar el estado de los servicios básicos</i></p>
<p>3. <i>¿Considera usted que el CC y el incremento del nivel del mar son parámetros que pueden afectar al puerto espacial?</i></p>	<p><i>De manera preliminar, no porque se podía implementar el puerto en los acantilados medios a altos.</i></p> <p><i>Podría socavar la base de los acantilados.</i></p>
<p>4. <i>¿Qué estrategias utilizaría para afrontar estos parámetros?</i></p>	<p><i>Estabilización de acantilados</i></p> <p><i>Revisar la situación de propiedad de comunas</i></p>

**Tabla 3-5 Resumen de entrevista a PhD. María Del Pilar Cornejo.**

**PhD. María Del Pilar Cornejo, Decana FIMCM, ESPOL**

1. Basado en su experiencia profesional, ¿Qué consideraciones tendría usted para el posicionamiento del puerto espacial?	<i>Acceso, Tipo de suelo, Altura sobre el nivel del mar respecto a MHWS, Afectaciones por Fenómeno de El Niño, Mano de obra calificada, Servicios básicos, Internet, Precipitación, Inundaciones, Tsunami.</i>
2. ¿Cuál cree que sería el mejor sitio para el posicionamiento de un puerto espacial en Ecuador: Chanduy, Puná o Pedernales?	<i>Pedernales: acceso y servicios básicos</i>  <i>Chanduy: Conflictos comunales</i>  <i>Puná: Tipo de suelo</i>  <i>“Sin hace la matriz, no podría indicar el mejor sitio”</i>
3. ¿Considera usted que el CC y el incremento del nivel del mar son parámetros que pueden afectar al puerto espacial?	<i>Se debería revisar la batimetría, el tipo de ola y la altura de la zona.</i>
4. ¿Qué estrategias utilizaría para afrontar estos parámetros?	<i>Dependerá si se encuentra en zona alta, si hay agua porque debería ser una zona seca.</i>

**Tabla 3-6 Resumen de entrevista a Ing. Alejandro Chanabá.**

**Ing. Alejandro Chanabá, Subdecano FIMCM, ESPOL**

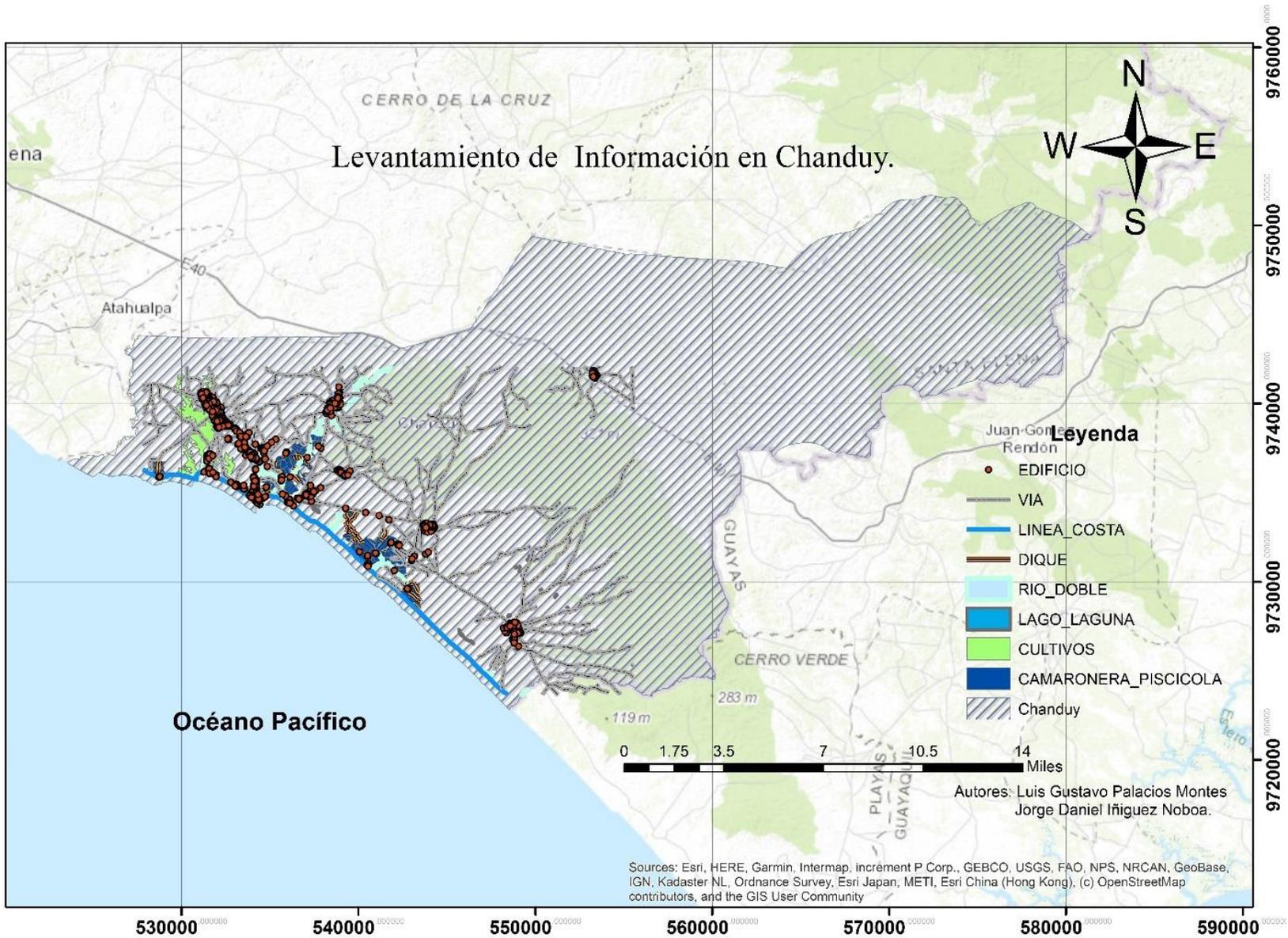
1. Basado en su experiencia profesional, ¿Qué consideraciones tendría usted para el posicionamiento del puerto espacial?	<i>Área despejada como desértico o playa alejada, Sin población, Seguridad en acceso por tierra y mar, No turístico, Amplio, Cercanía de un muelle con característica para recibir las embarcaciones, Buena visibilidad, No ventoso, Infraestructura de servicios básicos, Seguridad, Subestación eléctrica.</i>
2. ¿Cuál cree que sería el mejor sitio para el posicionamiento de un puerto espacial en Ecuador: Chanduy, Puná o Pedernales?	<i>Chanduy debido a que no es turística, tiene grandes terrenos, fácil acceso y poblado pequeño.</i>  <i>Pedernales no por paso de droga y camaroneras.</i>  <i>Puná imposible por su fauna, flora, camaroneras, vida silvestre y la contaminación a futuro.</i>
3. ¿Considera usted que el CC y el incremento del nivel del mar son parámetros que pueden afectar al puerto espacial?	<i>El incremento del nivel del mar si, ocasiona problemas, pero no tantos como en Pedernales y Puná.</i>  <i>El puerto debe estar en parte alta.</i>
4. ¿Qué estrategias utilizaría para afrontar estos parámetros?	<i>Social, que se les va a decir a las personas, conversar.</i>  <i>De ser posible, tenerlos alejados y decir que es un cuartel.</i>  <i>Técnico, movimiento de tierras.</i>

### **3.1.3 Mapas de información del puerto espacial en Chanduy**

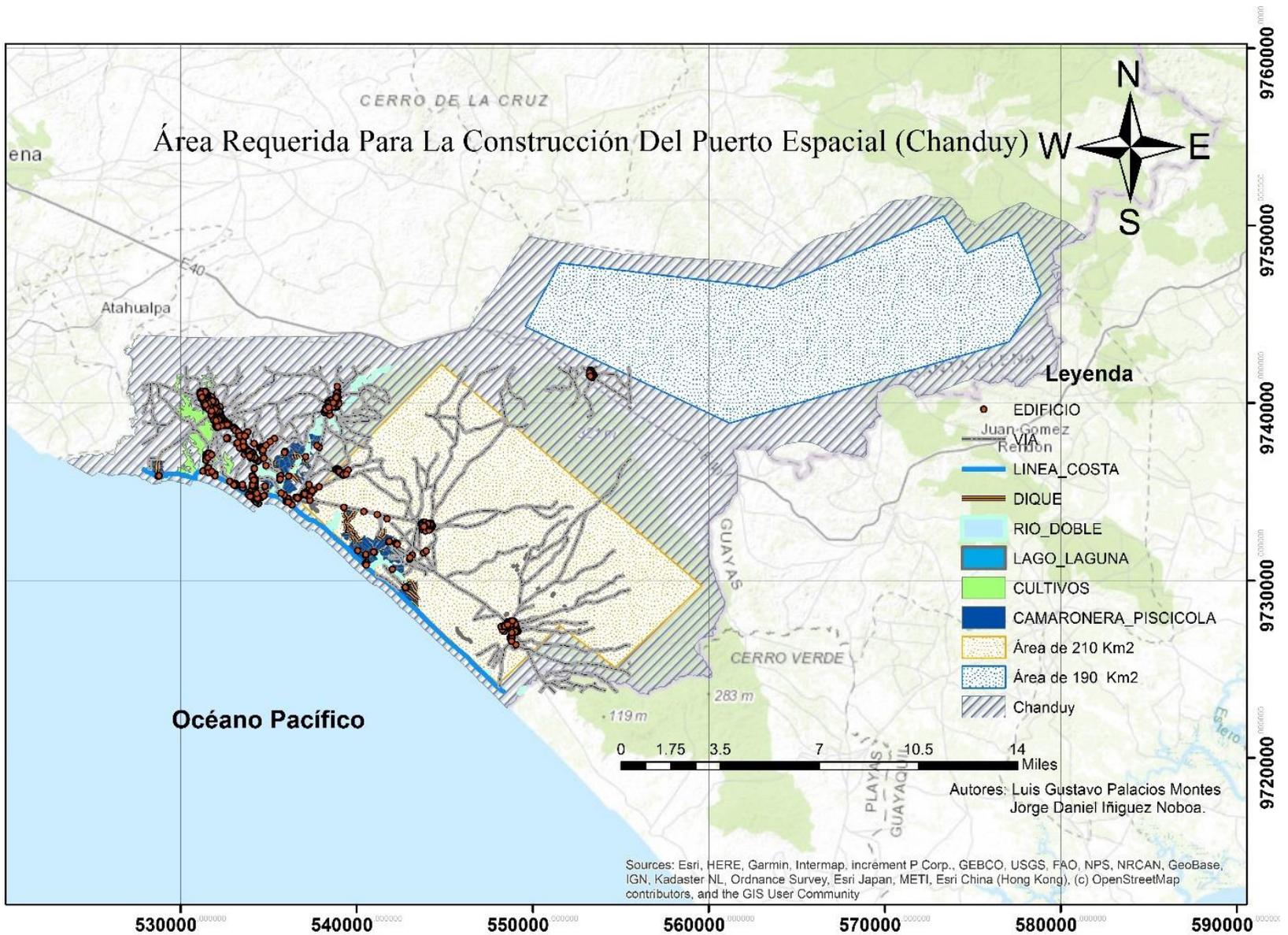
Luego de seleccionar el mejor sitio para la implementación del puerto espacial, se procedió a realizar un levantamiento de información de la zona seleccionada, Chanduy. Se puede observar la información en la imagen 3-1 y la imagen C-15.

Posteriormente, se procedió a generar los polígonos que permitan tener los 400Km<sup>2</sup> mínimos requeridos por el cliente. Se observa en la imagen 3-2 que el puerto espacial estaría donde actualmente hay vías; cabe recalcar, que estas vías son de tierras generadas para movilización en las camaroneras.

Finalmente, se realizó una distribución espacial de las instalaciones del puerto en el área seleccionada. Se puede observar la distribución en la imagen 3-3.



**Imagen 3-1 Levantamiento de Información en Chanduy.**



**Imagen 3-2 Área requerida para la construcción del Puerto Espacial en Chanduy.**

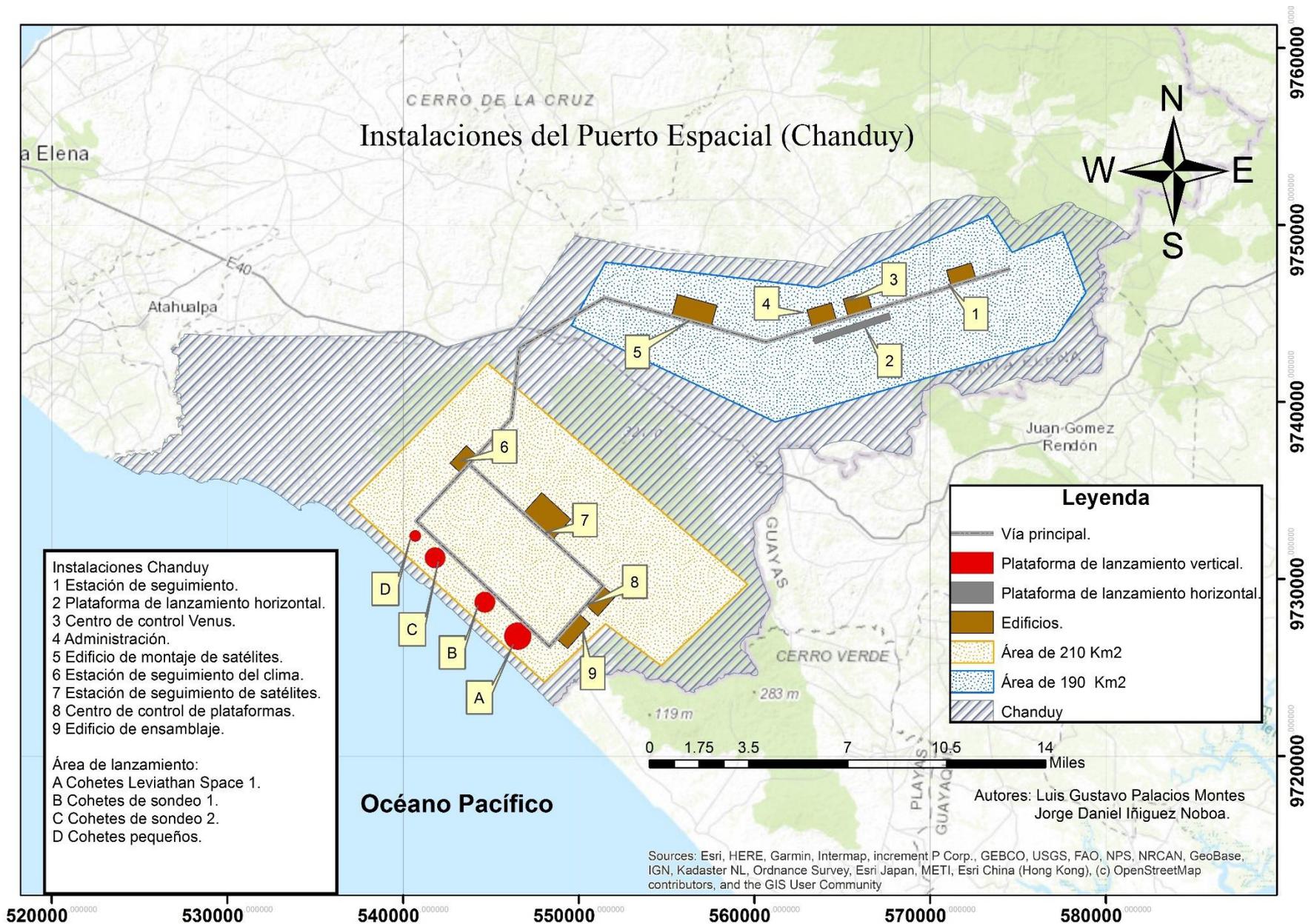


Imagen 3-3 Instalaciones del Puerto Espacial en Ecuador.

## 3.2 Escenarios de Inundación

Para generar los escenarios de inundación se utilizó la metodología presentada en la **sección 2.3 Etapa 2: “Generación de Escenarios de Inundación”**. Los escenarios se generaron a partir de los siguientes resultados obtenidos.

### 3.2.1 Validación y calibración

Conforme a la **sección 2.3.1.2 Proceso de validación y calibración**, se generaron 30 modelos a los cuales se calcularon los parámetros estadísticos de Skill, Coeficiente R cuadrado y RMSE para cada estación (Libertad y Posorja).

Se determina como combinación óptima a aquella que posee  $TPXO=8.0$ , Rugosidad de fondo  $=0.024 [s/m^{1/3}]$  y Viscosidad de Eddy  $=10 [m^2/s]$ ; debido a que posee los mejores valores en los parámetros de RMSE y Skill; respecto a su valor R cuadrado se encuentra muy cercano al máximo valor. Se puede observar los resultados en la tabla 3-7.

Todos los modelos se generaron con la misma grilla, batimetría, puntos de observación, parámetros físicos y periodo de tiempo correspondiente a un mes, de esta manera solo los parámetros de TPXO, rugosidad de fondo y viscosidad de Eddy generaban cambios en el modelo.

Tabla 3-7 Modelos del proceso de validación con sus parámetros estadísticas. En rojo: parámetros óptimos encontrados. En cuadro rojo: modelo seleccionado como óptimo para modelamiento.

TPXO	Roughness [s/m ^1/3]	Eddy Viscosity [m^2/s]	La Libertad			Posorja			Promedio		
			R^2	RMSE	Skill	R^2	RMSE	Skill	R^2	RMSE	Skill
7.2	0.024	10	0.9896	0.0625	0.9973	0.9744	0.1719	0.9810	0.9820	0.1172	0.9892
		25	0.9896	0.0625	0.9973	0.9746	0.1735	0.9806	0.9821	0.1180	0.9890
		50	0.9896	0.0625	0.9973	0.9748	0.1763	0.9799	0.9822	0.1194	0.9886
		75	0.9896	0.0625	0.9973	0.9748	0.1791	0.9791	0.9822	0.1208	0.9882
		100	0.9896	0.0625	0.9973	0.9747	0.1820	0.9783	0.9822	0.1223	0.9878
	0.026	10	0.9896	0.0625	0.9973	0.9733	0.1881	0.9766	0.9815	0.1253	0.9870
		25	0.9896	0.0625	0.9973	0.9735	0.1896	0.9761	0.9816	0.1261	0.9867
		50	0.9896	0.0625	0.9973	0.9737	0.1922	0.9753	0.9817	0.1274	0.9863
		75	0.9896	0.0625	0.9973	0.9737	0.1949	0.9745	0.9817	0.1287	0.9859
		100	0.9896	0.0625	0.9973	0.9736	0.1976	0.9736	0.9816	0.1301	0.9855
	0.030	10	0.9896	0.0624	0.9973	0.9711	0.2161	0.9674	0.9804	0.1393	0.9824
		25	0.9896	0.0624	0.9973	0.9713	0.2175	0.9669	0.9805	0.1400	0.9821
		50	0.9896	0.0624	0.9973	0.9714	0.2198	0.9660	0.9805	0.1411	0.9817
		75	0.9896	0.0624	0.9973	0.9715	0.2222	0.9651	0.9806	0.1423	0.9812
		100	0.9896	0.0624	0.9973	0.9714	0.2245	0.9642	0.9805	0.1435	0.9808
8.0	0.024	10	0.9898	0.0621	0.9973	0.9760	0.1718	0.9810	0.9829	0.1170	0.9892
		25	0.9898	0.0621	0.9973	0.9762	0.1735	0.9805	0.9830	0.1178	0.9889
		50	0.9898	0.0620	0.9973	0.9764	0.1764	0.9798	0.9831	0.1192	0.9886
		75	0.9898	0.0620	0.9973	0.9763	0.1793	0.9789	0.9831	0.1207	0.9881
		100	0.9898	0.0620	0.9973	0.9762	0.1823	0.9781	0.9830	0.1222	0.9877
	0.026	10	0.9898	0.0620	0.9973	0.9749	0.1884	0.9764	0.9824	0.1252	0.9869
		25	0.9898	0.0620	0.9973	0.9751	0.1900	0.9759	0.9825	0.1260	0.9866
		50	0.9898	0.0620	0.9973	0.9752	0.1927	0.9751	0.9825	0.1274	0.9862
		75	0.9898	0.0620	0.9973	0.9752	0.1955	0.9742	0.9825	0.1288	0.9858
		100	0.9898	0.0620	0.9973	0.9751	0.1982	0.9734	0.9825	0.1301	0.9854
	0.030	10	0.9898	0.0620	0.9973	0.9725	0.2170	0.9670	0.9812	0.1395	0.9822
		25	0.9898	0.0619	0.9974	0.9727	0.2184	0.9665	0.9813	0.1402	0.9820
		50	0.9898	0.0619	0.9974	0.9729	0.2208	0.9656	0.9814	0.1414	0.9815
		75	0.9898	0.0619	0.9974	0.9729	0.2232	0.9646	0.9814	0.1426	0.9810
		100	0.9898	0.0619	0.9974	0.9728	0.2256	0.9637	0.9813	0.1438	0.9806

### 3.2.2 Serie de tiempo de marea modelada

Después del proceso de calibración y validación, se procedió a realizar los datos de entrada para modelar 10 años de datos de marea para la zona. La serie de tiempo modelada comprende desde 24 de septiembre del 2019 hasta el 24 de septiembre del 2029.

Para determinar la validez del modelo, se comparó la serie de tiempo modelada con la serie real para las estaciones mareográficas (Libertad y Posorja), se puede observar ambas estaciones en las imágenes 3-4 y 3-5. Adicionalmente, se calcularon los parámetros estadísticos para cada estación como se observa en las imágenes 3-6 y 3-7. En la tabla 3-8, se resumen los parámetros estadísticos de ambas estaciones.

**Tabla 3-8 Parámetros estadísticos de las estaciones mareográficas.**

	R <sup>2</sup>	RMSE	Skill
<b>Libertad</b>	0.9818	0.0800	0.9952
<b>Posorja</b>	0.9782	0.1485	0.9849

Debido a tener valores óptimos, se extrajeron los datos de Chanduy, específicamente para la zona donde se ubicaría el puerto espacial. Se graficaron los datos de las tres zonas en la imagen 3-8. Luego, se comparó la serie de tiempo de Chanduy con la de Libertad y Posorja, para conocer cual serie de tiempo se asemeja más a la de Chanduy. Se puede observar la comparación y los resultados de los parámetros estadísticos en las imágenes 3-9, 3-10 y en la tabla 3-9.

Se concluye que la serie de tiempo de Chanduy es semejante a la serie de tiempo de Libertad. Se obtiene como máxima marea de Chanduy el valor de 1.28 m respecto al nivel medio del mar.

**Tabla 3-9 Comparación de estaciones con Chanduy.**

Comparación con Chanduy		
<b>Libertad</b>	R <sup>2</sup>	0.9996
	RMSE	0.0119
	Skill	0.9998
<b>Posorja</b>	R <sup>2</sup>	0.5800
	RMSE	0.3861
	Skill	0.8639

# Marea - Estación Posorja

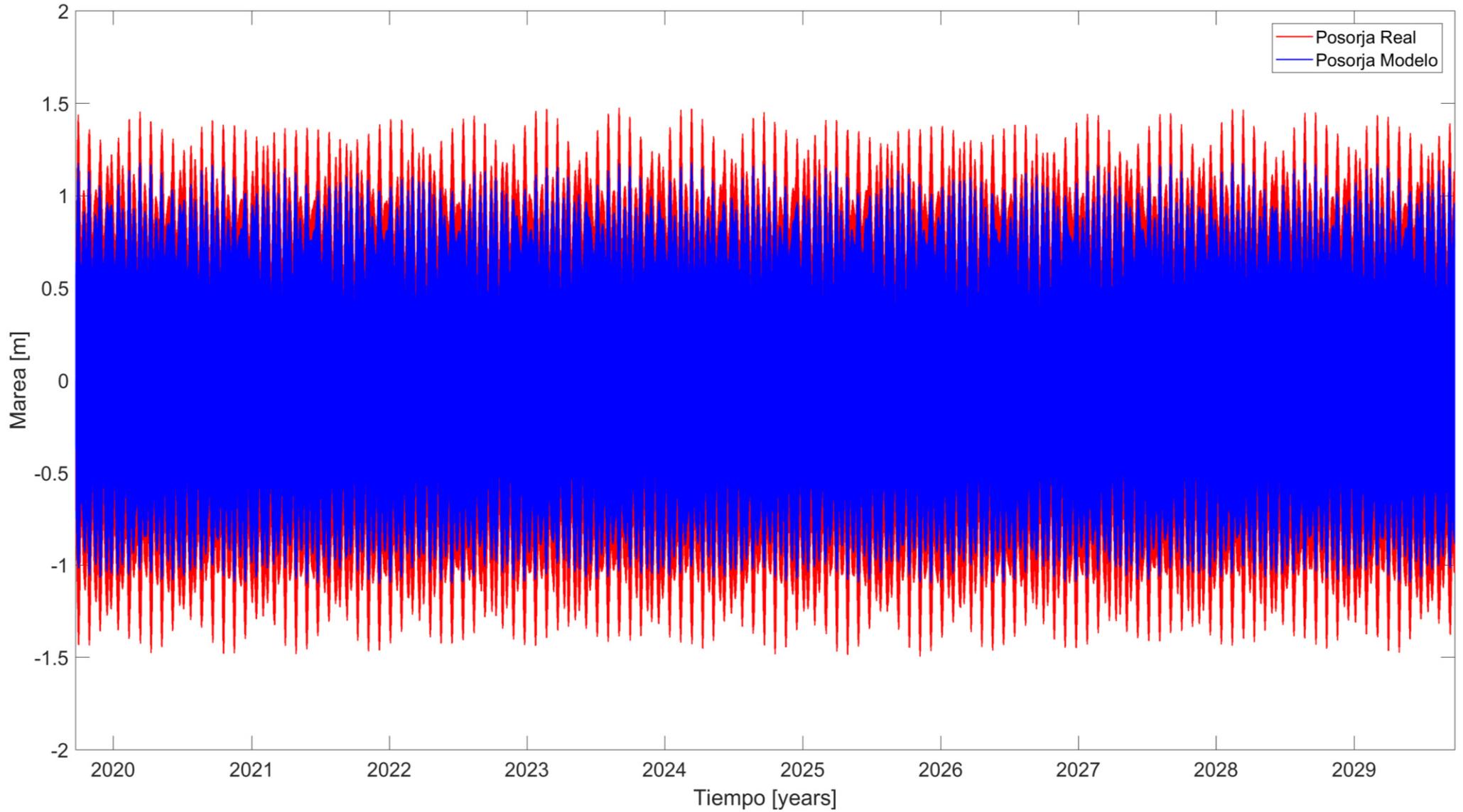


Imagen 3-4 Marea Estación Posorja.

# Marea - Estación Libertad

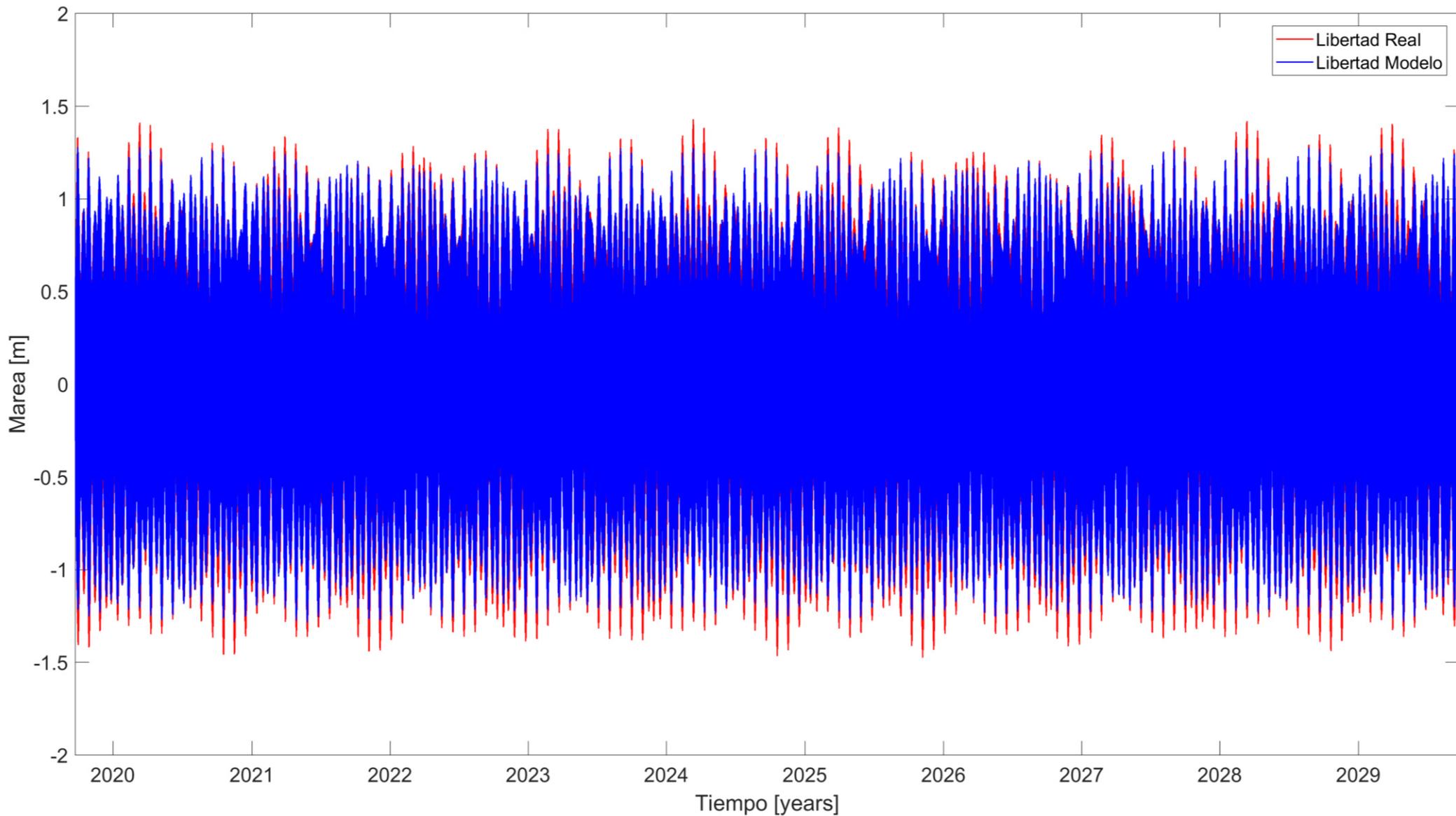


Imagen 3-5 Marea Estación Libertad.

# Correlación - Estación Posorja

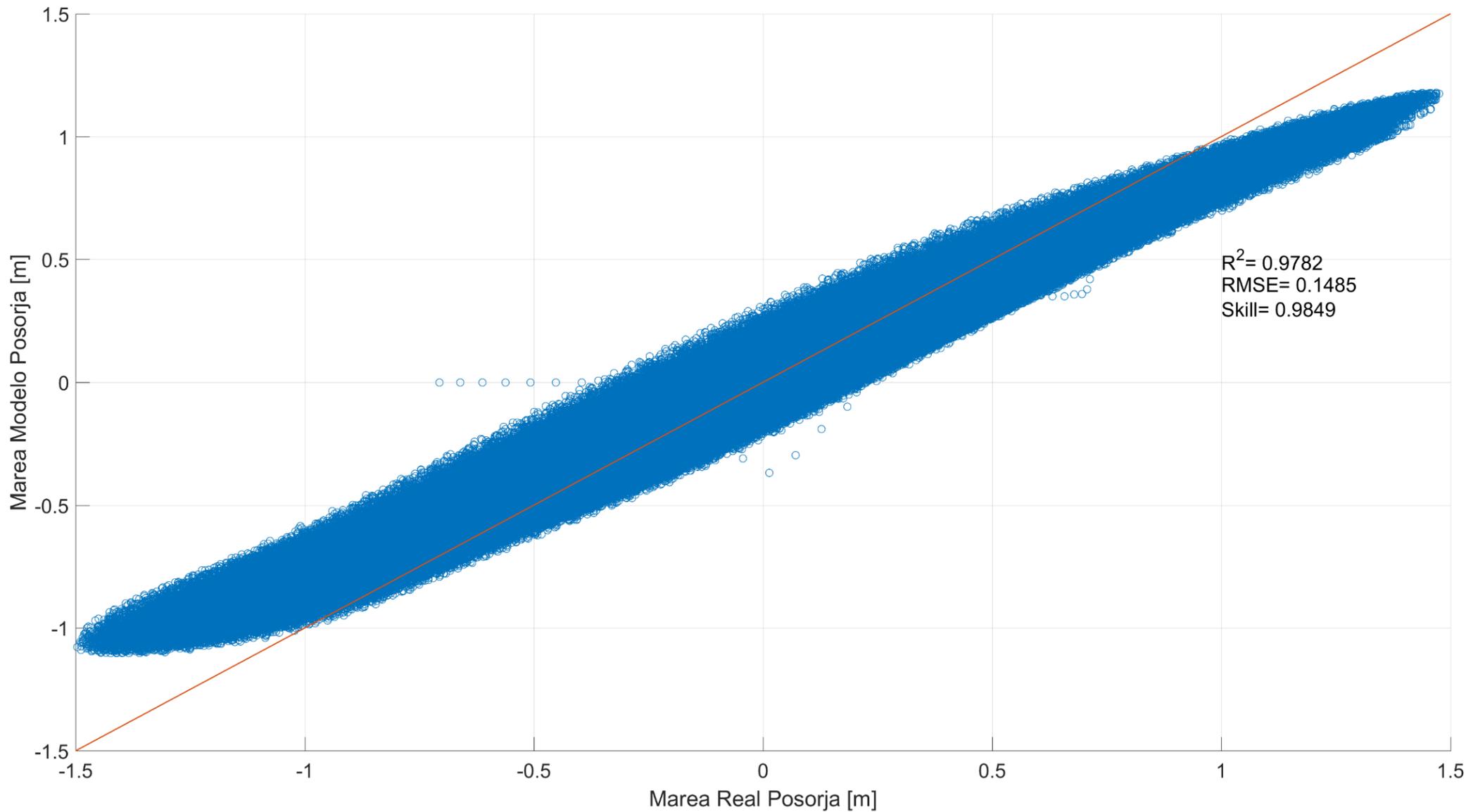


Imagen 3-6 Correlación Estación Posorja.

## Correlación - Estación Libertad

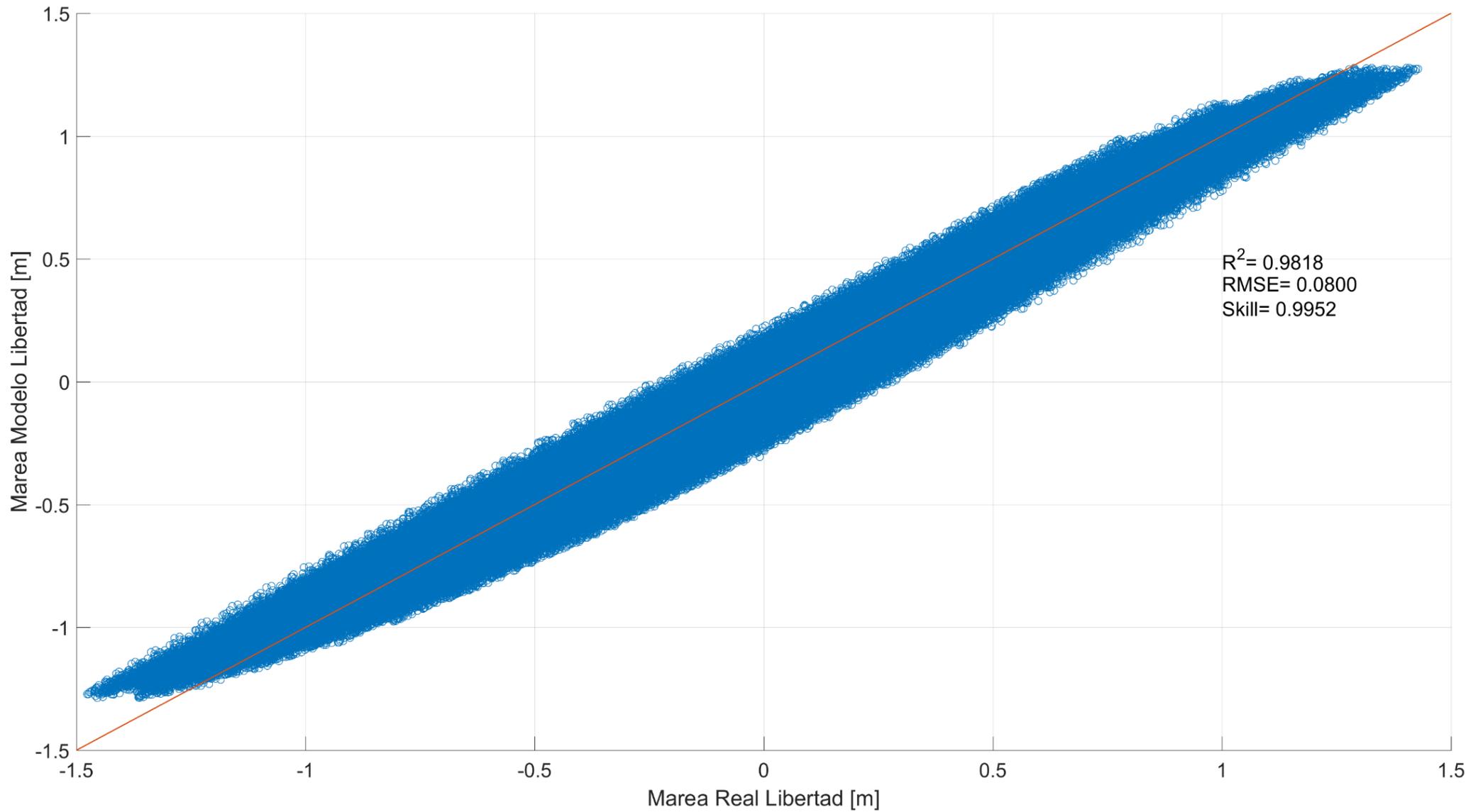


Imagen 3-7 Correlación Estación Libertad.

### Mareas Modeladas: Libertad - Chanduy - Posorja

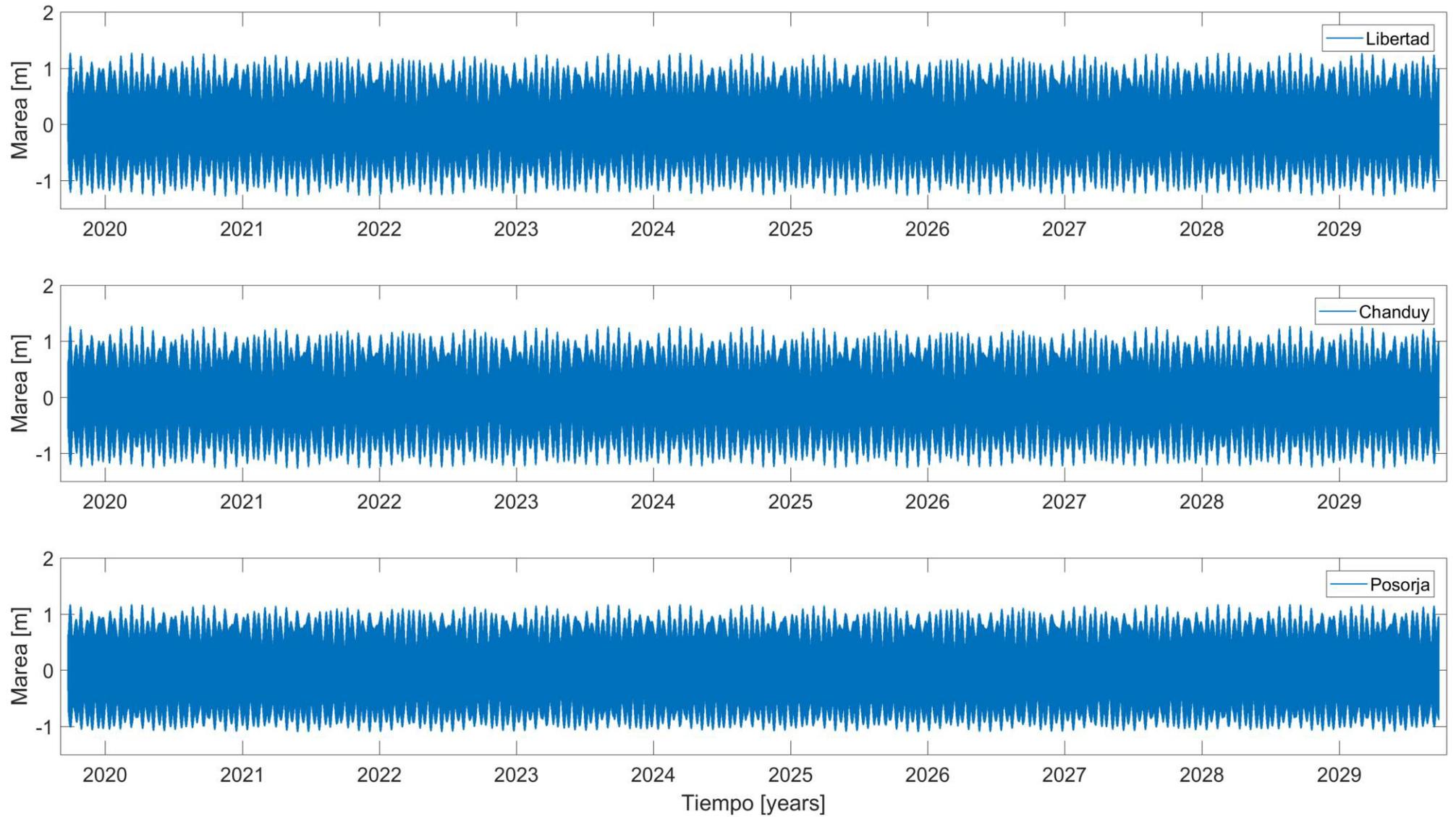


Imagen 3-8 Mareas Modeladas - Libertad - Chanduy - Posorja.

## Correlación - Posorja Vs. Chanduy

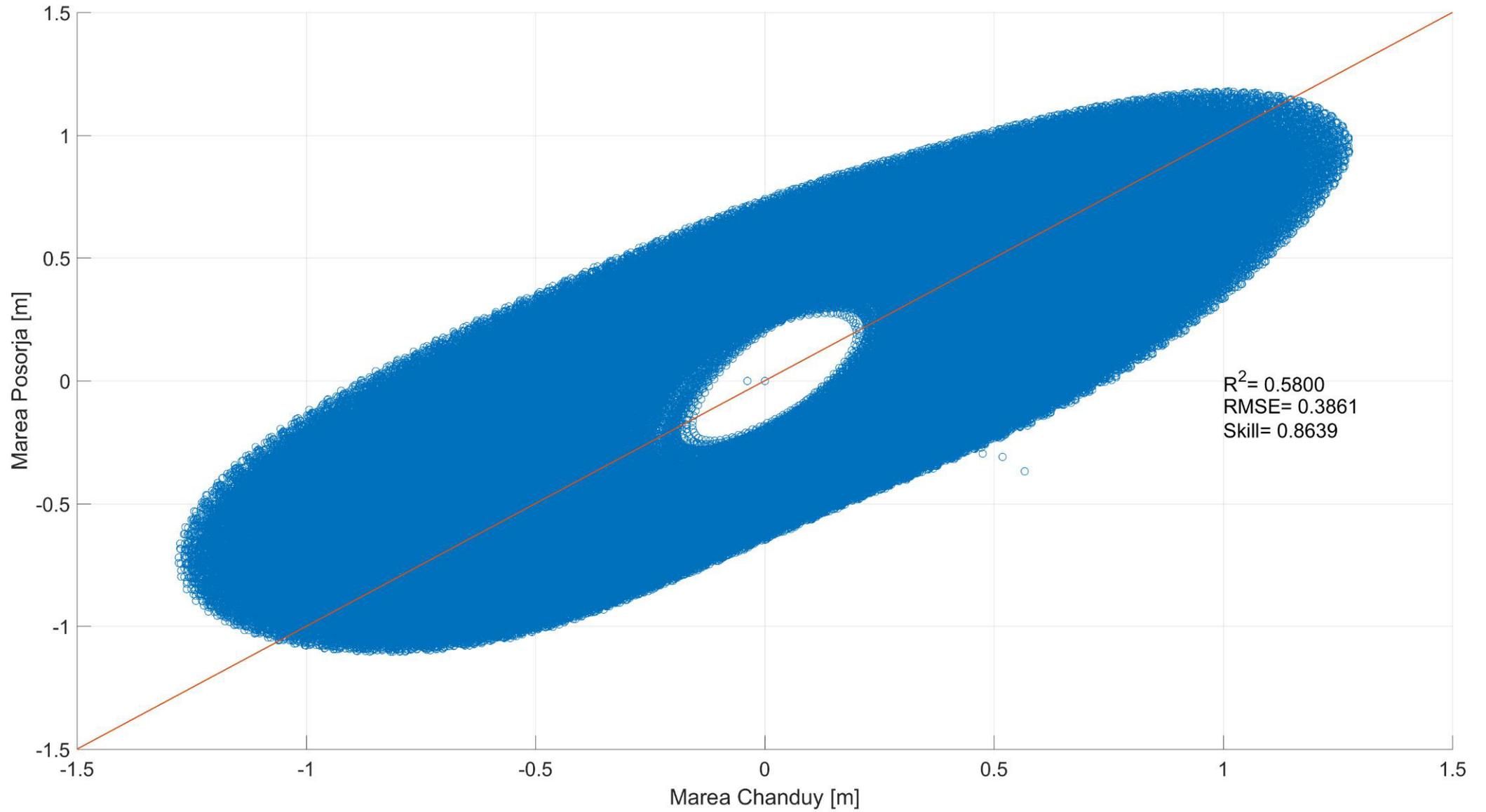


Imagen 3-9 Correlación entre Posorja y Chanduy.

## Correlación - Libertad Vs. Chanduy

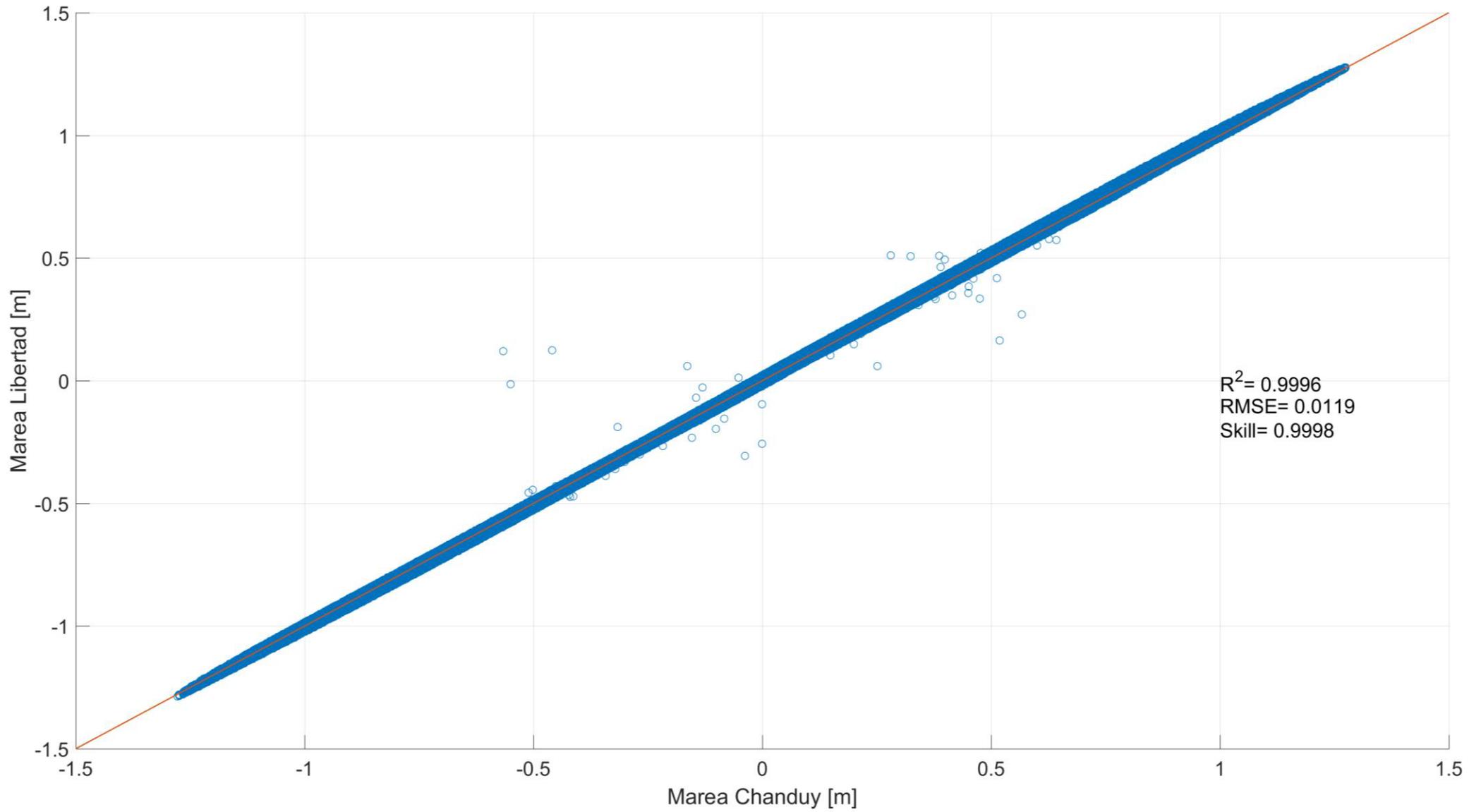


Imagen 3-10 Correlación entre Libertad y Chanduy.

### 3.2.3 Marea Extrema

Para el cálculo de marea extrema, se utilizó cinco distribuciones probabilísticas: Gumbel, Log Normal, Pearson tipo III, Log Pearson tipo III y Ln Pearson tipo III. En la tabla 3-10, se observan los valores de  $R^2$  para cada uno.

Se utilizaron los datos de 17 años proporcionados por el INOCAR de la estación La Libertad, debido a que es la estación más cercana con el mínimo de datos que proporcionen una confianza estadística; además, porque basado en los resultados de la **sección 3.2.2. Serie de tiempo de marea modelada**, la serie de Chanduy es similar a la de Libertad.

**Tabla 3-10  $R^2$  para marea extrema.**

	Gumbel	Log Normal	Pearson III	Log Pearson III	Ln Pearson III
<b><math>R^2</math></b>	0.9991	0.9769	0.9986	0.9996	0.9996

En la tabla 3-11 se observan los valores obtenidos para cada metodología con diferentes periodos de retorno. Para este proyecto, se utilizó un periodo de retorno de 100 años y a pesar de que la metodología de Gumbel no es la que posee el mayor  $R^2$ , se utiliza el valor de 1.828 m respecto al nivel medio del mar como marea extrema, debido a que presenta el mayor valor. En la imagen 3-11, se puede observar el gráfico de interpolación de mareas.

**Tabla 3-11 Niveles de Marea Extrema en Libertad. En cuadro rojo: periodo de retorno utilizado.**

Niveles en Libertad = WL (msnm)					
Tr (años)	Gumbel	Log normal	Pearson tipo III	Log Pearson tipo III	Ln Pearson tipo III
2	1.432	1.443	1.426	1.423	1.423
5	1.538	1.526	1.515	1.514	1.514
10	1.608	1.572	1.574	1.577	1.577
25	1.697	1.622	1.648	1.660	1.660
50	1.762	1.655	1.702	1.723	1.723
75	1.801	1.673	1.733	1.761	1.761
<b>100</b>	<b>1.828</b>	<b>1.685</b>	<b>1.755</b>	<b>1.787</b>	<b>1.787</b>
150	1.866	1.702	1.786	1.826	1.826
200	1.893	1.714	1.808	1.854	1.854
300	1.931	1.729	1.839	1.893	1.893
400	1.958	1.740	1.860	1.922	1.922
500	1.978	1.748	1.877	1.944	1.944
1000	2.043	1.773	1.929	2.015	2.015

### Niveles Máximos: Estación Libertad

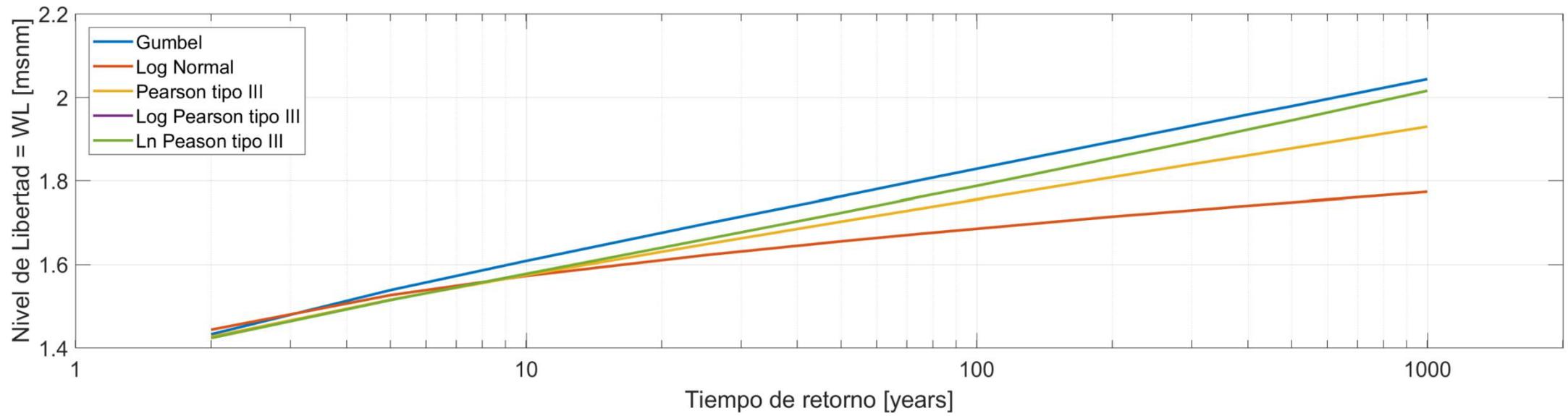


Imagen 3-11 Niveles de Marea Extrema en Libertad.

### 3.2.4 Alturas de inundación para Fenómeno de El Niño y Cambio Climático

Para obtener la altura de Cambio Climático por bibliografía, se escogió la máxima predicción al 2100, que se encuentre más cercana al Ecuador, se utilizó el valor de +95cm. Se pueden observar los valores en la tabla 3-12.

**Tabla 3-12 Valores de elevación del nivel del mar por Cambio Climático.**

Título	Autores	Metodología/Escenarios	Tasa Anual [mm/yr]	Valor al 2100 [m]	Referencia
<b>Climate Change 2013: The Physical Science Basis</b>	IPCC <sup>1</sup>	Data 1901- 2010	1.7 [1.5–1.9]	0.14[0.12-0.15] *	(IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014)
		Data 1993 - 2010	3.2 [2.8–3.6]	0.26[0.22-0.29] *	
		RCP 2.6	4.4 [2.0-6.8]	0.44[0.28-0.61]	
		RCP 4.5	6.1 [3.5-8.8]	0.53[0.36-0.71]	
		RCP 6.0	7.4 [4.7-10.3]	0.55[0.38-0.73]	
		RCP 8.5	11.2[7.5-15.7]	0.74[0.52-0.98]	
<b>Tendencias del nivel del mar en el litoral del Pacífico Sur Oriental</b>	M. Contreras J. Cevallos R. Torres	Data 1949 – 2016 Libertad – Santa Elena, Ecuador	5.7[5.6-5.8]	0.45[0.44-0.46] *	Contreras-López et al. (2017)
<b>Estudio del Nivel Medio del Mar en Puerto Bolívar</b>	Leonor Vera	Data 1970 – 2002 Puerto Bolívar – El Oro, Ecuador	5	0.40*	(Vera, 2003)
<b>Ecuador Case Study: Climate Change Impact on Fisheries</b>	María Del Pilar Cornejo	DIVA/A1B Guayas, Ecuador	-----	0.95[0.90-1.00]	(Cornejo, 2007)

Para obtener la altura de Fenómeno de El Niño se escogió la máxima elevación en la estación Libertad presentada en bibliografía, se utilizó el valor de +47cm. Se pueden observar los valores en la tabla 3-13.

**Tabla 3-13 Valores de elevación del nivel del mar por Fenómeno de El Niño.**

Título	Autores	Resumen	Aporte al proyecto	Referencia
<b>El Niño 1982-83, su formación, su desarrollo y sus manifestaciones en aguas ecuatorianas.</b>	H. Moreano E. Zambrano R. Suescum N. Paredes	Descripción espacial y temporal del Fenómeno de El Niño 1982-83.	Definición de la elevación del nivel del mar por Fenómeno de El Niño en +47cm.	Moreano et al. (1986)

<sup>1</sup> La información de los escenarios es obtenida de la tabla 13.5 del AR5.

\*Valor calculado tomando en cuenta 80 años hasta el 2100.

<b>Variabilidad Oceanográfica en Ecuador Asociada con el Evento ENSO 1997-98</b>	E. Zambrano, R. Martínez, J. Garcés-Vargas	Descripción espacial y temporal del Fenómeno de El Niño 1997-98.	Elevación del nivel del mar por Fenómeno de El Niño en +42cm.	Zambrano et al. (2000)
--	--	--	---	------------------------

Según [Pickering et al. \(2017\)](#), el incremento del nivel del mar tiene los siguientes efectos en el rango de marea:

- La marea en los mares de plataforma (sección del mar que se encuentra por encima de la plataforma continental o insular) alrededor del mundo, cambia con un incremento del nivel del mar; se generan respuestas sustanciales localizadas en la marea que son significativas en la costa este de América, noroeste de Europa, costa norte de Rusia, a través de Asia y Australasia.
- La respuesta de la marea es compleja, muestra incrementos y disminuciones de su amplitud.
- Genera cambios significativos en las constituyentes semidiurnas (M2 & S2) que ocurre en la mayoría de los mares de plataforma a nivel mundial, mientras que grandes cambios en las constituyentes diurnas (K1 & O1) están limitadas a mares alrededor de Asia.
- Permitir la recesión de la costa amplifica la respuesta de la marea. Sin embargo, las nuevas áreas de marea tendrán implicaciones de riesgo por inundaciones.

Este estudio tuvo como limitación que solo se pudo estudiar el efecto de recesión por incremento del nivel del mar en escenarios mayores a 1 metro.

Según [Devlin, et al. \(2017\)](#), el incremento del nivel del mar tiene los siguientes efectos en el rango de marea:

- La variabilidad de la máxima marea astronómica está significativamente correlacionada con la variabilidad del nivel del mar.
- Aproximadamente, el 35% de un total de 152 estaciones del Océano Pacífico y del Mar del sur de China, muestran valores mayores a +/- 50mm de cambio de marea por metro de fluctuación del nivel del mar.

- Regiones con incremento o disminuciones de marea, muestran la relación no-lineal con las variaciones del nivel del mar, potencialmente esto amplifica o mitiga el riesgo por inundación causado por el incremento del nivel del mar.
- En Hawái, grandes valores positivos significativos de  $\delta - HAT$  (aproximación del cambio de la máxima marea astronómica por unidad de incremento del nivel del mar) son debido a correlaciones de anomalía de marea de M2.
- En la costa del Pacífico de Japón, excepto Okada y Hanasaki, todos los  $\delta - HAT$  significativos son negativos, lo que sugiere un mecanismo común.
- En el lado oeste del Mar del Sur de China, se muestran grandes valores negativos de  $\delta - HAT$  en Malaysia, relacionados con la variabilidad estacional de las mareas debido a estratificaciones, vientos monzones estacionales y profundidad del agua.

### 3.2.5 Oleaje, Ola Extrema y Run-up sobre la playa

Se extrajeron los datos de oleaje del WW3 para obtener los valores que se muestran en las tablas 3-14 y 3-15, donde se observa una altura significativa de ola más probable de 1.55 m y H1/3 de 1.67 m, en aguas intermedias.

**Tabla 3-14 Parámetros peak del Oleaje en Chanduy.**

Parámetros Peak	Valores
Hs [m]	1.55
Ts [s]	13
Ángulo [ ]	212.5

**Tabla 3-15 Parámetros de Oleaje a partir de Hs.**

Altura de ola (H)	H a partir de Hs [m]
Promedio de un tercio de las olas más altas (H1/3)	1.67
Promedio del 10% de las olas más altas (H1/10)	2.12
Promedio del 1% de las olas más altas (H1/100)	2.79
Altura máxima esperada (Hmáx)	3.11

Posteriormente, se utilizaron los datos para calcular la ola extrema según las metodologías de Draper, Weibull, Log-Log y Log-Ln. En las imágenes 3-12 a 3-15, se pueden observar las extrapolaciones de los datos de oleaje para el cálculo de la marea extrema.

En la tabla 3-16, se pueden observar los valores de olas extremas para cada periodo de retorno y metodología.

Para este proyecto, se utilizó un periodo de retorno de 100 años según la metodología de Draper debido a que posee la mayor correlación, obteniendo un valor de ola de diseño de 4.97 m en aguas intermedias.

**Tabla 3-16 Olas extremas. En cuadro rojo: periodo de retorno utilizado.**

Tr (años)	Ola Extrema [m]			
	Draper	Log-Ln	Log-Log	Weibull
1	3.52	3.85	3.85	3.84
10	4.24	5.33	5.33	5.30
25	4.53	6.06	6.06	6.02
50	4.75	6.69	6.69	6.63
100	4.97	7.37	7.37	7.30

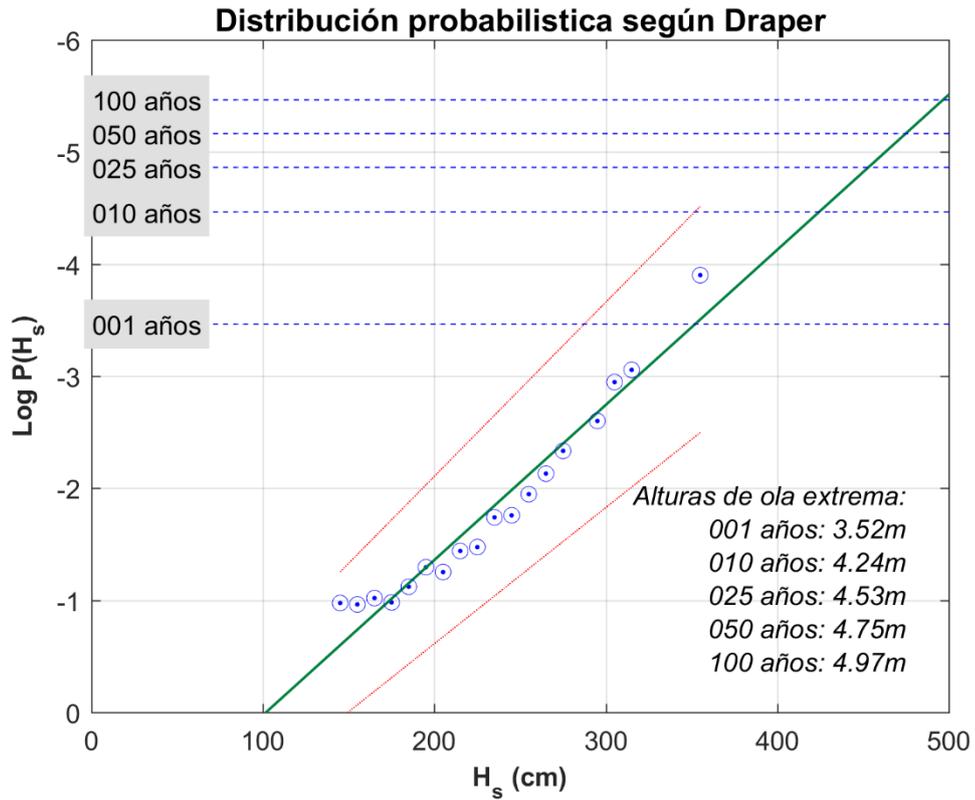


Imagen 3-12 Extrapolación de datos de oleaje según Draper.

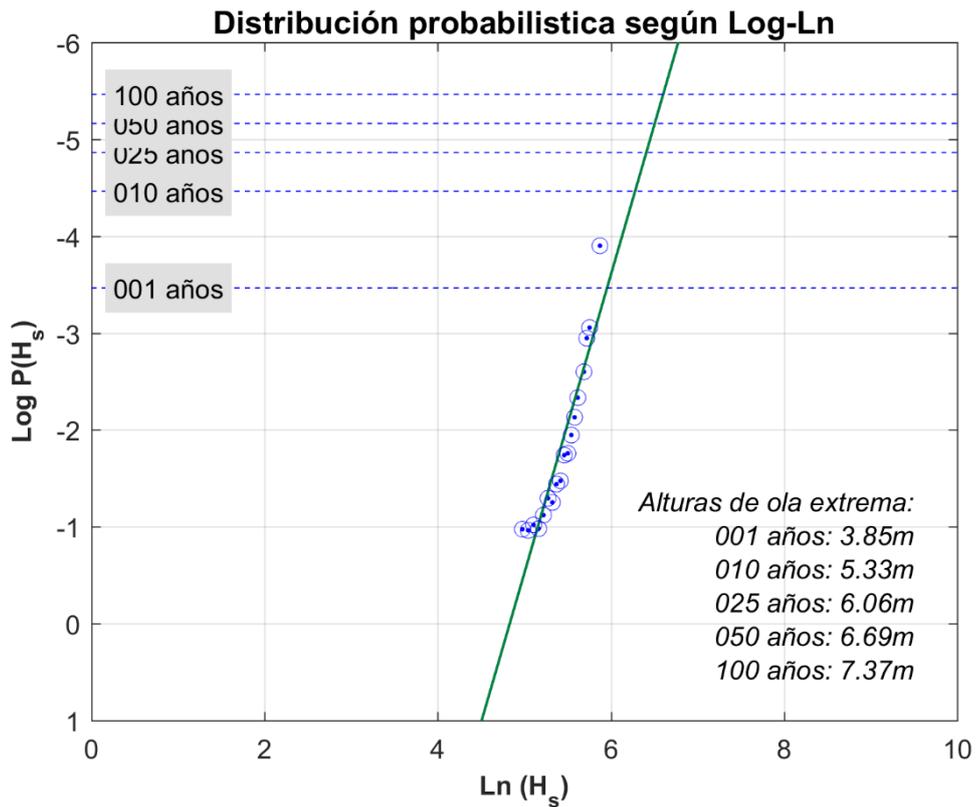


Imagen 3-13 Extrapolación de datos de oleaje según Log-Ln.

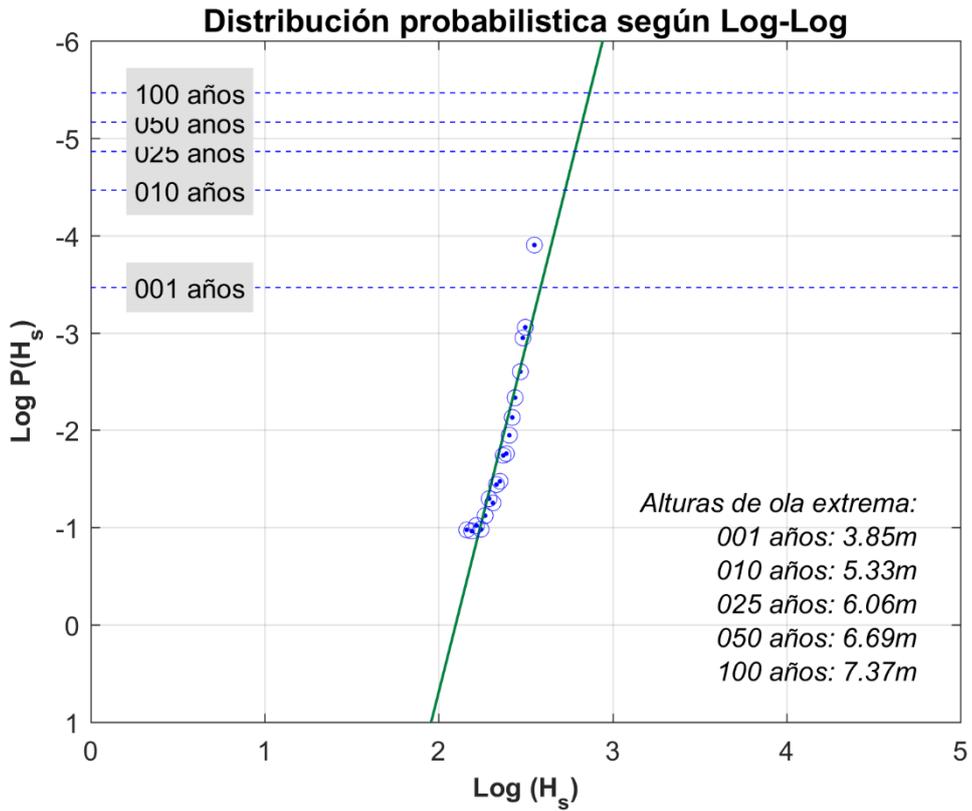


Imagen 3-14 Extrapolación de datos de oleaje según Log-Log.

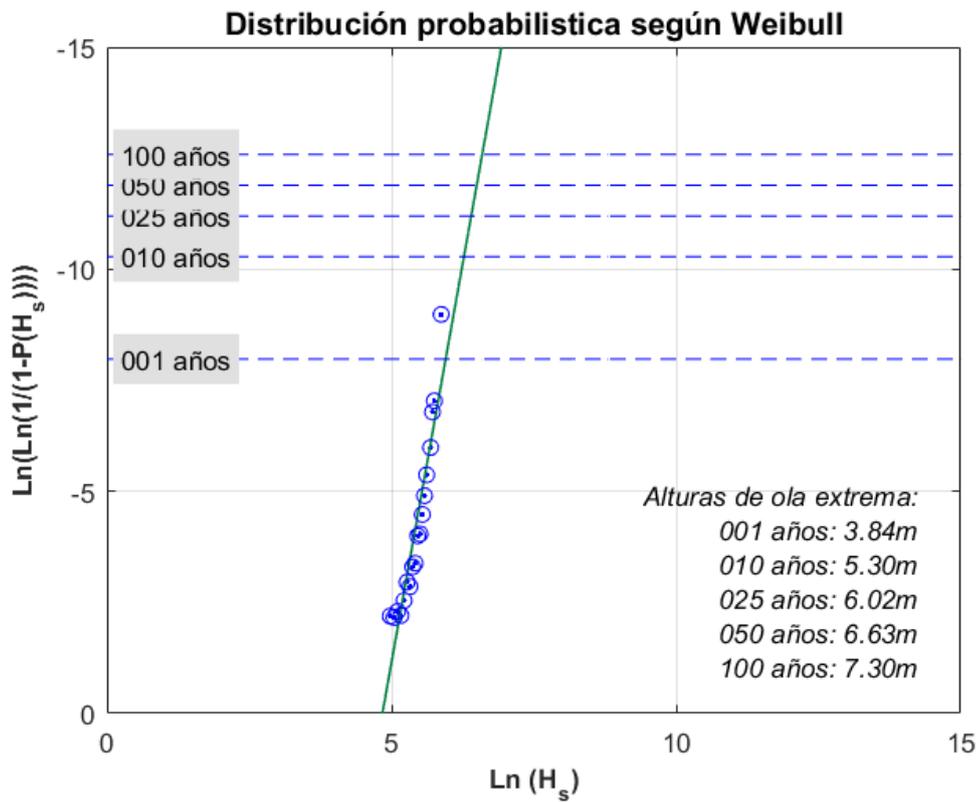


Imagen 3-15 Extrapolación de datos de oleaje según Weibull.

Para el cálculo del run-up de la ola de diseño sobre la playa, se realizó el asomeramiento de esta ola hasta una profundidad de columna de agua de 3.10 m. La metodología detallada para el asomeramiento de la ola de diseño se puede encontrar en el Apéndice D. Del proceso de asomeramiento, se obtiene una ola con altura de 3.30m.

Se determinó la pendiente de la playa para el escenario de marea extrema y de marea máxima por medio del DEM, de donde se obtiene un valor de  $m=1/50$  para el caso de marea extrema y de  $m=1/46.2$  para marea máxima.

Utilizando la ecuación 2,4 se obtuvo que:

$$R = \tan \alpha \sqrt{H L_0} = \xi H ; 0 < \xi \leq 2.3$$

Previamente, se revisó el cumplimiento del parámetro de Iribarren con la ecuación 2,5.

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}}$$

#### Marea Extrema

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}}$$

$$\xi = \frac{\left(\frac{1}{50}\right)}{\sqrt{3.3/(1.56 * 13^2)}}$$

$$\xi = 0.18 \ll\text{Si Cumple}\gg$$

$$R = \tan \alpha \sqrt{H L_0}$$

$$R = \left(\frac{1}{50}\right) \sqrt{3.3 (1.56 * 13^2)}$$

$$R = 0.59 \text{ m}$$

#### Marea Máxima

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}}$$

$$\xi = \frac{\left(\frac{1}{46.2}\right)}{\sqrt{3.3/(1.56 * 13^2)}}$$

$$\xi = 0.19 \ll\text{Si Cumple}\gg$$

$$R = \tan \alpha \sqrt{H L_0}$$

$$R = \left(\frac{1}{46.2}\right) \sqrt{3.3 (1.56 * 13^2)}$$

$$R = 0.64 \text{ m}$$

### 3.2.6 Mapas de Inundación

Los mapas de inundación se generaron de la combinación de los diferentes escenarios, como se muestra en la tabla 3-17 y las correcciones para los niveles de referencia se utilizaron los datos proporcionados por el INOCAR mostrados en la tabla 3-18; para el caso de Chanduy se utilizó los valores de corrección de Anconcito, por ser el más cercano geográficamente.

Se denominó “Mapa A” aquel que utiliza la marea extrema, se lo puede observar en la imagen 3-18 y “Mapa B” con marea máxima en la imagen 3-19. En las imágenes 3-16 y 3-17 se puede observar las alturas de inundación para los mapas A y B.

**Tabla 3-17 Alturas de Escenarios de inundación.**

Alturas de Inundación referidos al NMM		
Escenarios	A	B
Marea Extrema [m]	1.83	-----
Marea Máxima [m]	-----	1.28
Cambio Climático [m]	0.95	0.95
Fenómeno de El Niño [m]	0.47	0.47
Run-up Ola de diseño [m]	0.59	0.64
<b>Total</b>	<b>3.84</b>	<b>3.34</b>

**Tabla 3-18 Correcciones de niveles de referencia. Referencia: INOCAR.**

Correcciones referidas al NMM local		
	MLWS[-m]	MHWS[+m]
<b>Libertad</b>	1.35	1.05
<b>Anconcito</b>	1.13	0.88
<b>Libertad</b>	1.31	1.03

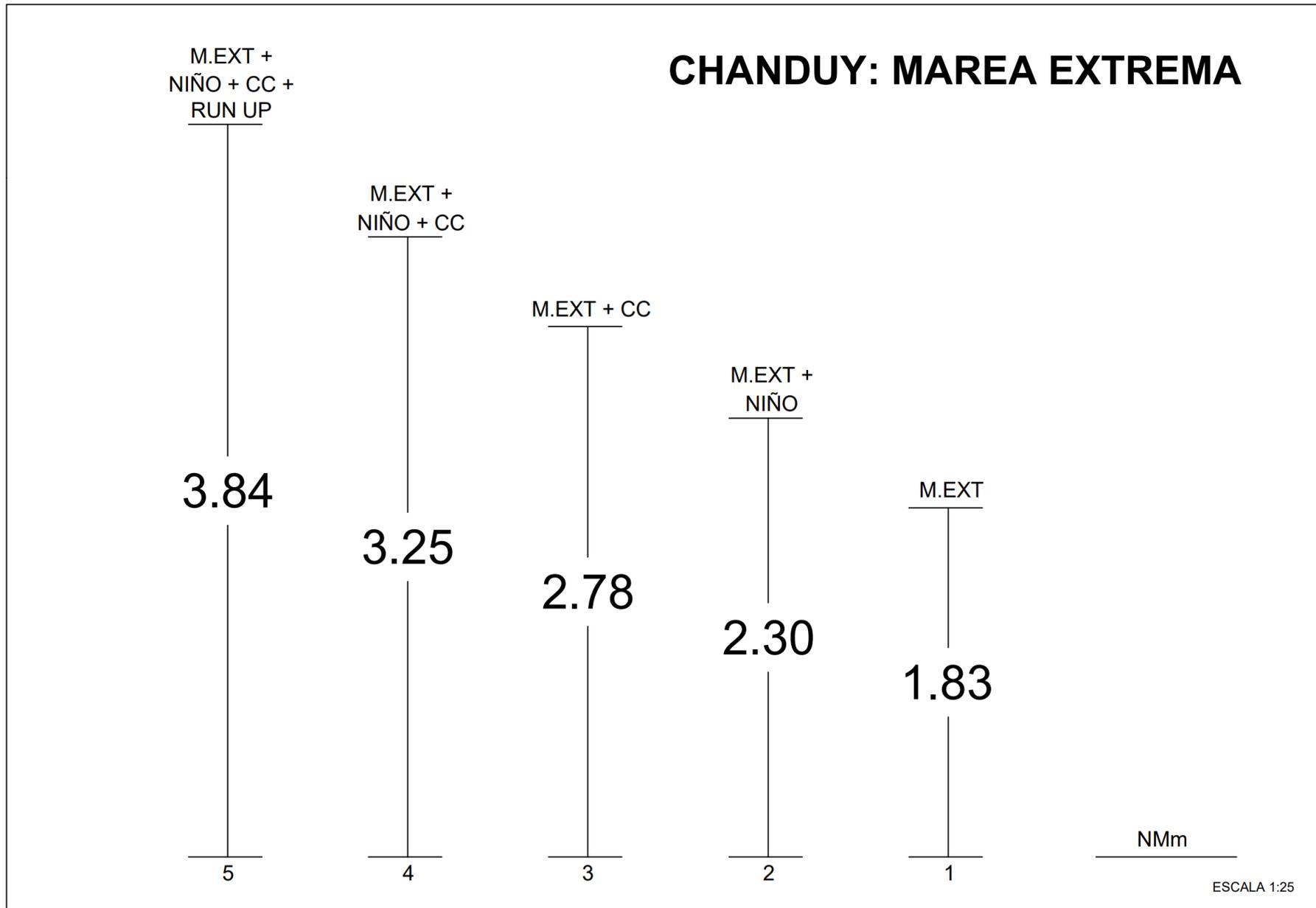


Imagen 3-16 Alturas de inundación en Chanduy para Marea Extrema.

# CHANDUY: MAREA MÁXIMA

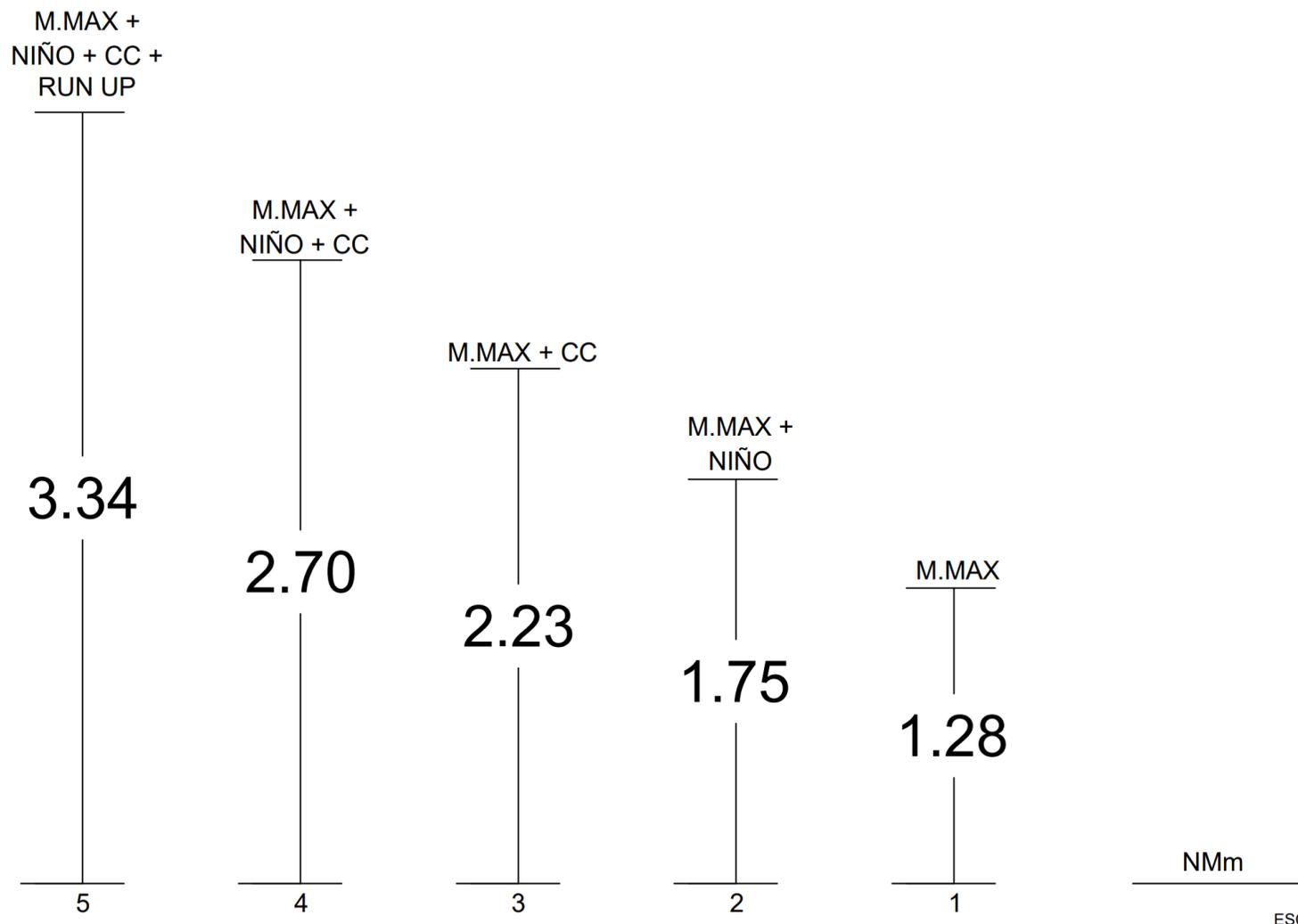
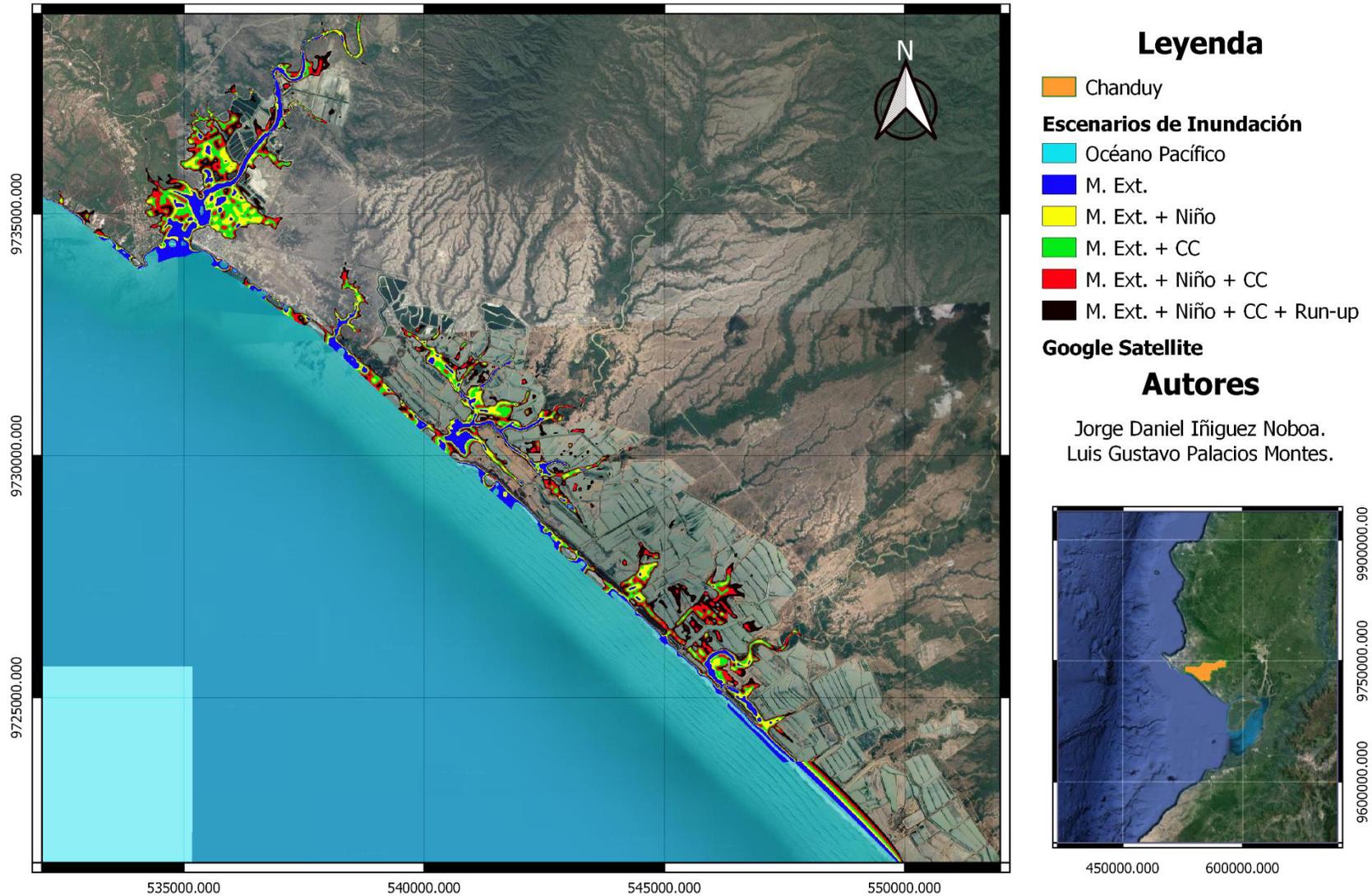
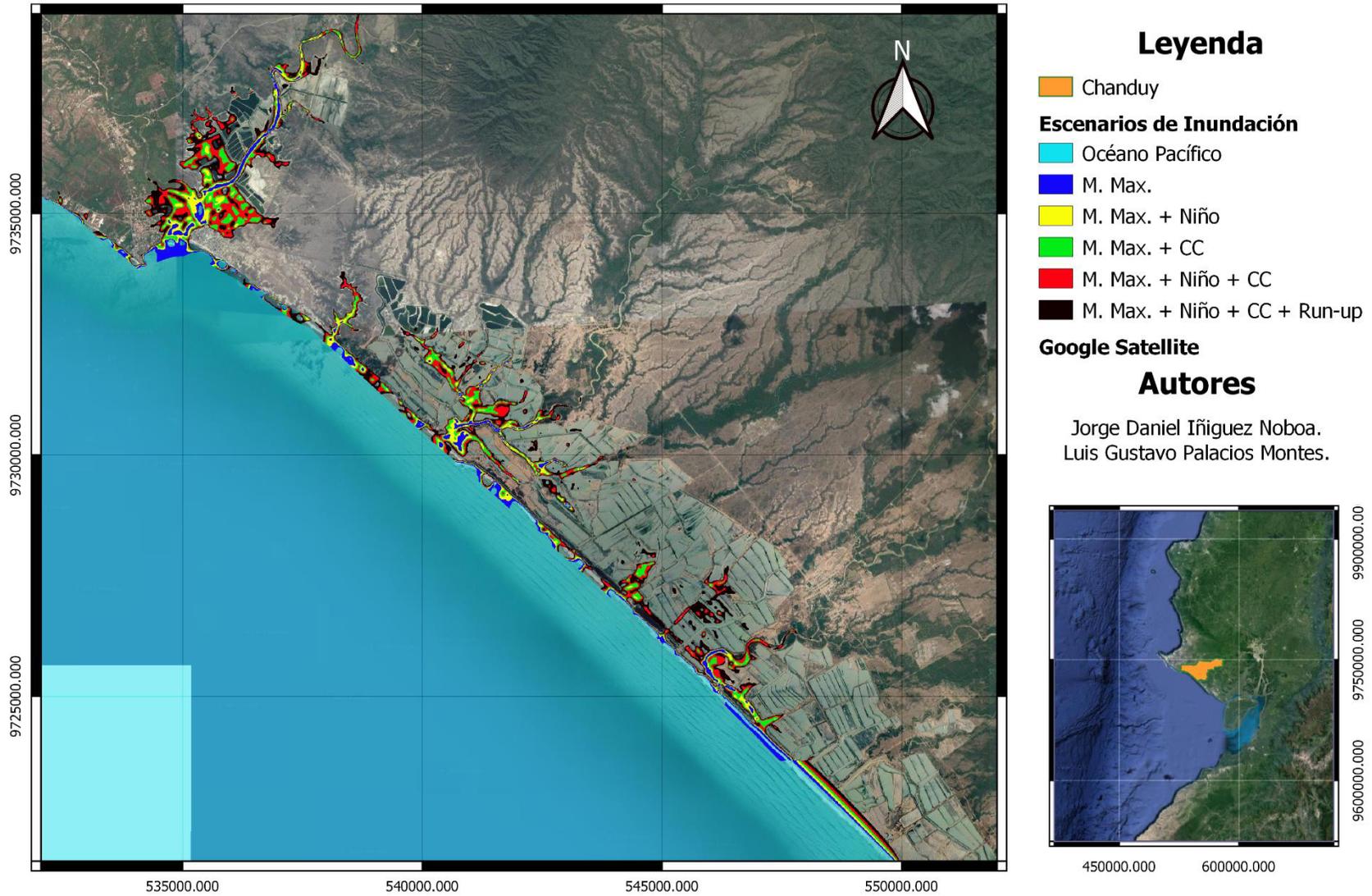


Imagen 3-17 Alturas de inundación en Chanduy para Marea Máxima.



**Imagen 3-18 Mapa de inundación A: Marea Extrema - Chanduy – Ecuador.**



**Imagen 3-19 Mapa de Inundación B: Marea Máxima – Chanduy – Ecuador.**

### **3.3 Diseño de soluciones ingenieriles**

Para mitigar los efectos del incremento del nivel del mar, se desarrollaron soluciones ingenieriles que podrían ser implementadas por Leviathan Space.

Estas soluciones pueden ser:

- Construcción del puerto espacial detrás de la cota máxima de inundación.
- Construcción de dique con canales de aguas lluvia.
  - El dique con canales puede ser construido en dos etapas: 2 diques y 2 canales(soluciones A y B) o como un solo conjunto (solución C).

#### **3.3.1 Construcción detrás de la cota máxima de inundación**

La primera solución ingenieril sería la construcción del puerto espacial por detrás de la cota máxima de inundación. De esta manera, no se generan gastos por construcción de estructuras, pero se pierde aproximadamente 36.34 Km<sup>2</sup> del área del puerto espacial, lo que representa una pérdida de 17.30% para el polígono de 210 Km<sup>2</sup> y 09.09% para todo el puerto espacial (400 Km<sup>2</sup>). Además, el agua ingresa entre 2.5 y 2.8 Km medidos desde la línea de costa y la existencia de futuros procesos de erosión.

#### **3.3.2 Dique y canales de aguas lluvias**

Para proteger el puerto espacial se diseñaron diques en conjunto con canales de aguas lluvias, para esto se presentan 3 combinaciones:

- Solución A es el dique y su canal que protejan la etapa noroeste del puerto espacial.
- Solución B es el dique y su canal que protejan la etapa sureste del puerto espacial.
- Solución C es el dique y su canal que protejan todo el puerto espacial.

Las soluciones A y B pueden trabajar por separado, para proteger la etapa que esté funcionando o trabajar en conjunto.

El dique funcionaría para resistir la columna de agua, pero también debe estar protegido ante el oleaje incidente, por lo cual el mismo fue diseñado con la combinación de metodologías constructivas de Ing. Civil y Oceanografía.

Para la protección del dique de oleaje extremo se calculó el peso de la roca de coraza necesaria y el run-up sobre la estructura para determinar la cota de coronación.

### 3.3.2.1 Peso de la roca de coraza

Para el cálculo de la roca de coraza se utilizó la ecuación de Hudson, misma que considera daño estructural menor del 5% y rebase mínimo. El peso de las rocas de la primera capa puede estar en un rango de  $0.75W-1.25W$ , donde el 50% de las rocas individuales deben pesar más de  $W$ . ([SPMII-Coastal Engineering Research Center, 1984](#))

Se usó la ecuación 2,5:

$$W = \frac{w_r H^3}{K_d (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

Se utilizaron los siguientes valores para cada parámetro:

- $H=3.3\text{m}$
- $\tan \theta = \frac{1}{2}$
- $w_r = 2300 \text{ kg/m}^3$  perteneciente a la cantera “El Tablazo”
- $S_r = 2.24$  con densidad de agua de mar  $1025\text{kg/m}^3$
- $K_d = 4$ , debido a que, según el Apéndice D, el nivel de agua de diseño  $d_s=3.10\text{m}$  y la ola de diseño rompe a una profundidad de  $7.16\text{m}$  y la ola  $H1/10$  a  $3.46\text{m}$ , por lo cual las olas llegan rotas a la estructura. Según la *Tabla 7-8 “Valores sugeridos de para uso en determinar el peso de roca de coraza”* del ([SPMII-Coastal Engineering Research Center, 1984](#))

Por lo tanto:

$$W = \frac{w_r H^3}{K_d (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

$$W = \frac{2300 (3.3)^3}{4 (2.24 - 1)^3 (2)}$$

$$W = 5368.101397 \text{ kg}$$

$$W = 5.4 \text{ tons}$$

Se utiliza roca de 5.4 toneladas.

### 3.3.2.2 Run-up sobre la estructura

La pendiente de la estructura es de 1:2 para garantizar su estabilidad y reducir la ocupación de la playa. Para impedir el sobrepaso de agua por encima de la misma, se calculó la altura de la obra basado en el run-up de la ola.

El Coastal Engineering Manual presenta las ecuaciones del run up, conforme a investigaciones experimentales generadas por varios autores.

El run up está en función del parámetro de Iribarren, el ángulo de incidencia de la onda y las características de la superficie (perfil, rugosidad, porosidad). Se considera pendientes impermeables a las pertenecientes a diques, revestimientos y rompeolas con superficie impermeable como asfalto y concreto o superficies rugosas como rocas de coraza sobre material de núcleo fino. ([US Army Corps of Engineers, 2003](#))

El dique generado no permitirá el paso de agua por lo cual se considera como una estructura impermeable. Dada las características de la estructura: pendiente recubierta con rocas de coraza y núcleo impermeable, según figura VI-5-11 del CEM, plantea el uso de la ecuación VI-5-3 basado en Battjes, 1974.

La ecuación VI-5-3 del CEM se presenta en este proyecto como ecuación 3,1.

$$\frac{R_{ui\%}}{H_s} = (A\xi + C)\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta \quad (3,1)$$

Donde:

$R_{ui\%}$  = Run up excedido por porcentaje i de olas incidentes.

A,C= Coeficientes que dependen de  $\xi$  y i.

$\gamma_r$  = factor de reducción por influencia de la rugosidad de superficie.

$\gamma_b$  = factor de reducción por influencia de una berma.

$\gamma_h$  = factor de reducción por influencia de condiciones de aguas someras.

$\gamma_\beta$ =factor por influencia por ángulo de incidencia de las olas.

Utilizando la tabla VI-5-2 del CEM, para calcular  $R_{u2\%}$  con  $\xi=4.47$  debido a pendiente de la estructura de 1:2 y ola de 3.3 m al pie de la estructura, se obtiene:

- $A=-0.2$
- $C=4.5$

Utilizando la tabla VI-5-3 del CEM, se obtiene  $\gamma_r=0.55$ . Según la ecuación VI-5-8 del CEM, se obtiene que  $\gamma_b$  varía entre 0.6 y 1.0. Se utilizó 0.8 por similitud al factor resultante. Para  $\gamma_h$  y  $\gamma_\beta$  se utiliza 1.

Por lo que el Run up es igual a:

$$\frac{R_{ui\%}}{H_s} = (A\xi + C)\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta$$
$$\frac{R_{u2\%}}{H_s} = (-0.2(4.47) + 4.5)(0.55)(0.8)(1)(1)$$
$$\frac{R_{u2\%}}{H_s} = 1.58664$$
$$R_{u2\%} = (1.58664)(3.3m)$$
$$R_{u2\%} = 5.23 m$$

Por facilidad, se utilizó  $R_{u2\%}=5.20$  m.

Según los cálculos realizados en el Apéndice D, el nivel de la playa en la base de la estructura= 1m (respecto al nivel medio del mar), el nivel de diseño  $d_s= 3.10$ m y el  $R_{u2\%}=5.20$  m; por lo cual la cota de coronación de la estructura (respecto al nivel medio del mar) será 9.30m.

### 3.3.2.3 Características del Dique y Canales de Aguas Lluvias.

Las características generales del dique son:

- Roca de coraza de 5.4 tons.
- Pendiente expuesta al oleaje de 1:2
- Pendiente protegida del oleaje de 1:1.5
- Núcleo impermeable de arcilla.
- Filtro de granulometría variada entre la coraza y el núcleo.

Las características generales del canal son:

- Espesor= 0.30 m
- Ancho de solera= 3 m
- Profundidad total= 3.4 m medidos desde el terreno natural.
- Espejo de agua= 10.5 m
- Tirante normal= 2.5 m
- Caudal= 15.65 m<sup>3</sup>/s
- Pendiente=1:1.5
- Configuración de varilla en solera, debido a esfuerzo de flexión =  $\emptyset$  12mm cada 20cm.
- Hormigón de resistencia mínima de 350 kg/cm<sup>2</sup> con resistencia a sulfatos para evitar corrosión.
- Recubrimiento mínimo= 7cm

Se puede observar las dimensiones del dique en la imagen 3-20 y del canal en la imagen 3-21.

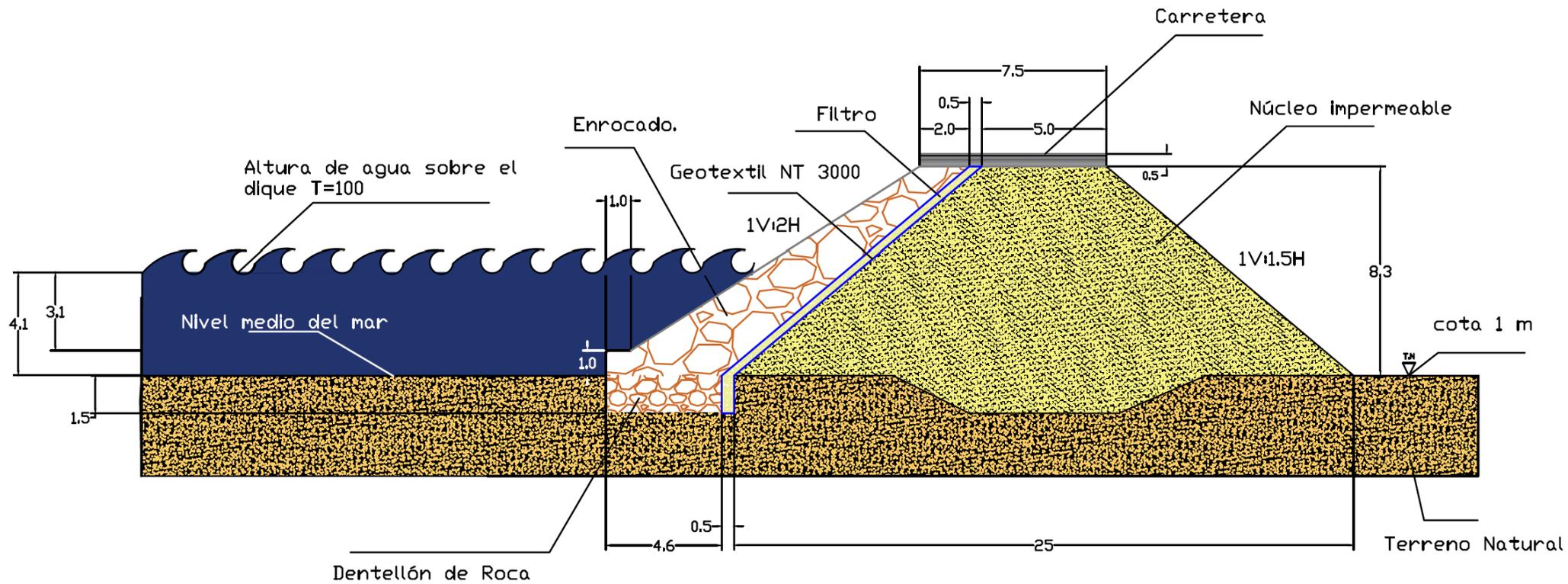


Imagen 3-20 Dimensiones del dique de protección para el Puerto Espacial.

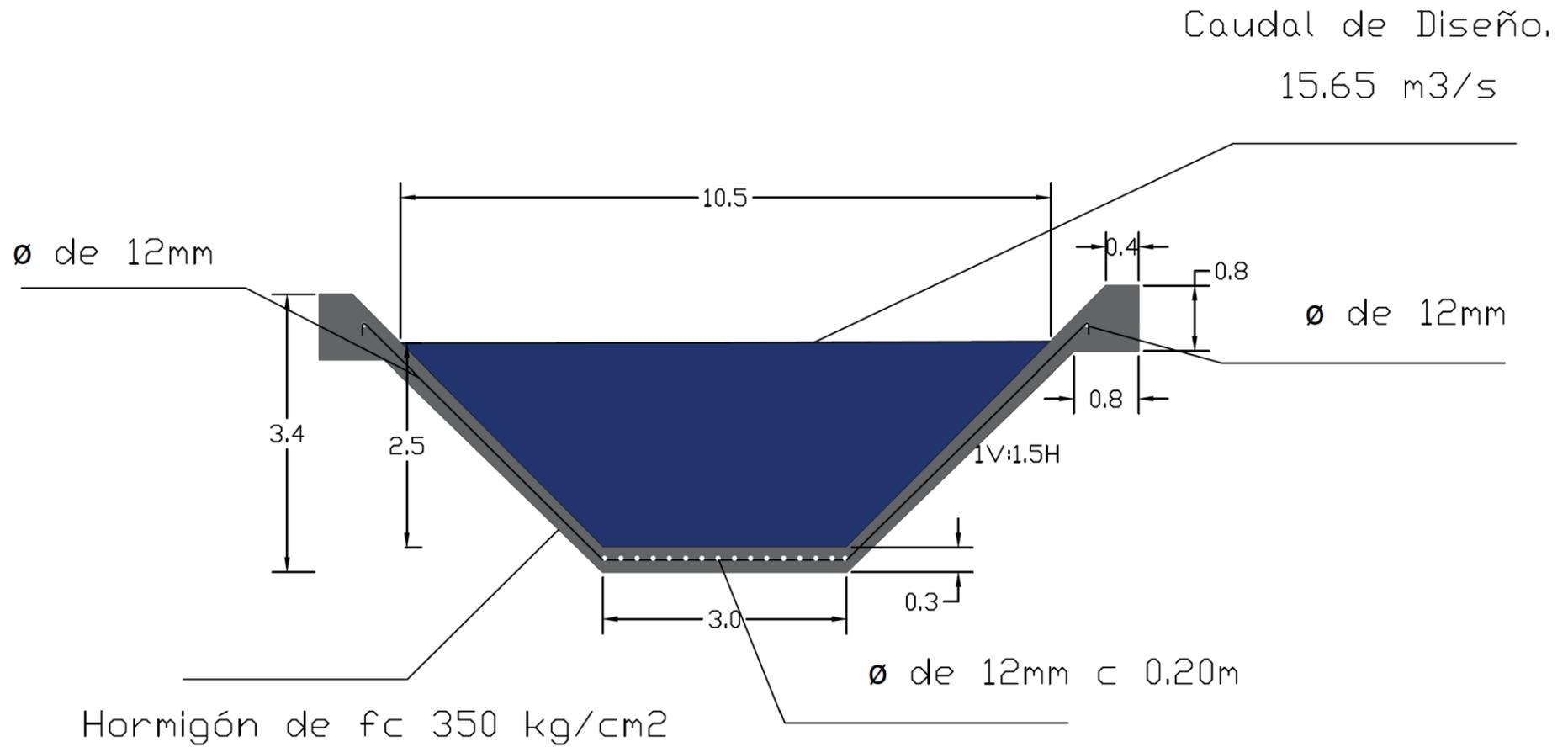


Imagen 3-21 Dimensiones de los canales de aguas lluvias para el Puerto Espacial.

### **3.3.2.4 Solución A, B y C**

Las soluciones A, B y C se basan en diferentes localizaciones de los diques con sus canales.

#### **Solución A**

Solución A es el dique y su canal que protejan la etapa noroeste del puerto espacial. El dique tendrá una longitud de 4.5 Km y protegerá un área de 11 Km<sup>2</sup>. Con esta solución, se pueden ubicar las plataformas de lanzamiento a 200m desde la línea de costa.

El canal de aguas lluvias tendrá una longitud de 4Km y se ubicarán un total de 4 canales, distribuidos cada 200 hectáreas. Se puede observar la solución A en la imagen 3-22.

#### **Solución B**

Solución B es el dique y su canal que protejan la etapa sureste del puerto espacial. El dique tendrá una longitud de 5 Km y protegerá un área de 8 Km<sup>2</sup>. Con esta solución, se pueden ubicar las plataformas de lanzamiento a 100m desde la línea de costa.

El canal de aguas lluvias tendrá una longitud de 3.6Km y se ubicarán un total de 4 canales distribuidos cada 200 hectáreas. Se puede observar la solución B en la imagen 3-23.

#### **Solución C**

Solución C es el dique y su canal que protejan todo el puerto espacial. El dique tendrá una longitud de 8 Km y protegerá un área de 36.34 Km<sup>2</sup>. Con esta solución, se pueden ubicar las plataformas de lanzamiento a 150m desde la línea de costa.

El canal de aguas lluvias tendrá una longitud de 10Km y se ubicarán un total de 8 canales, distribuidos cada 200 hectáreas. Se puede observar la solución C en la imagen 3-24.

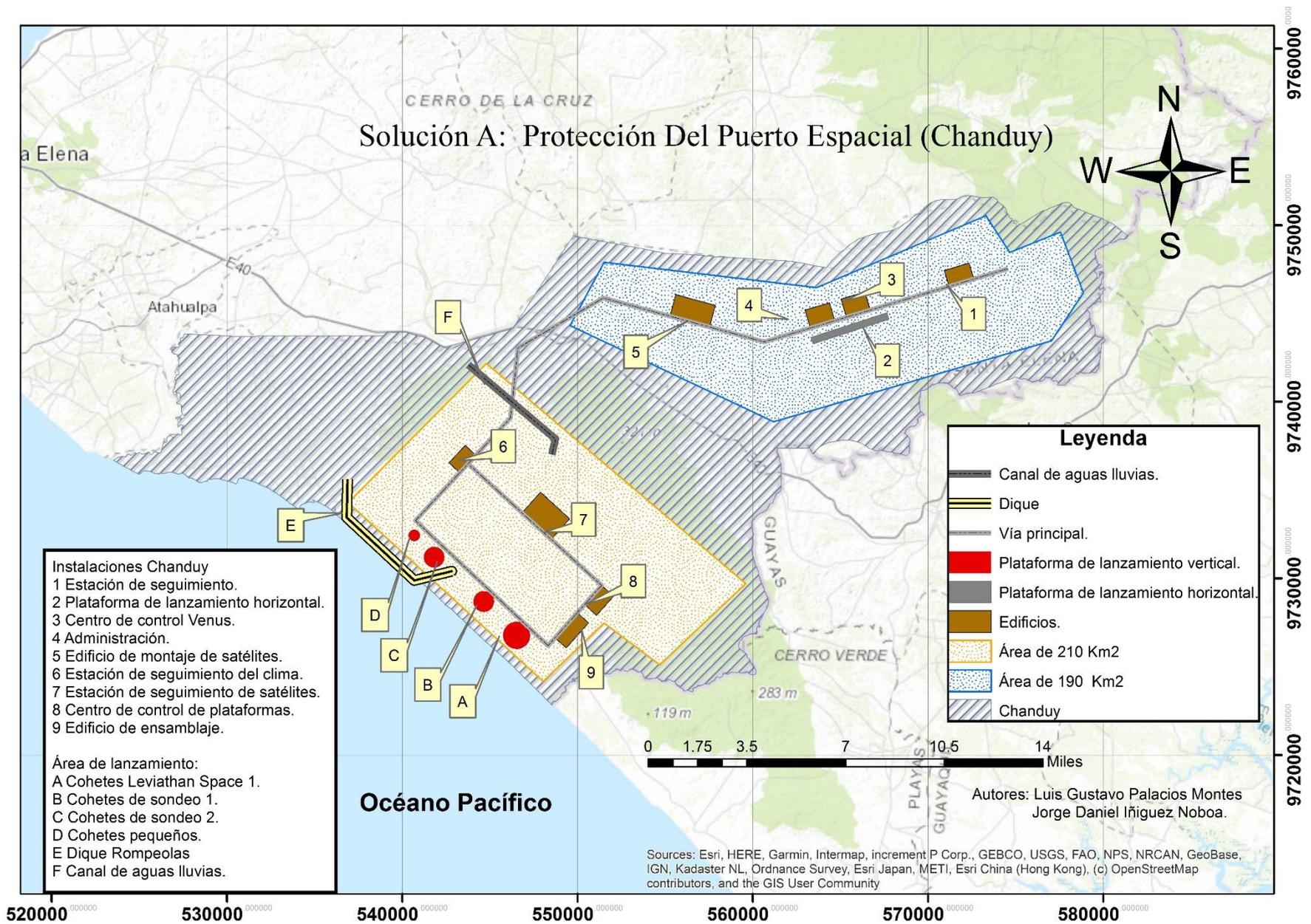


Imagen 3-22 Solución A: Protección del Puerto Espacial.

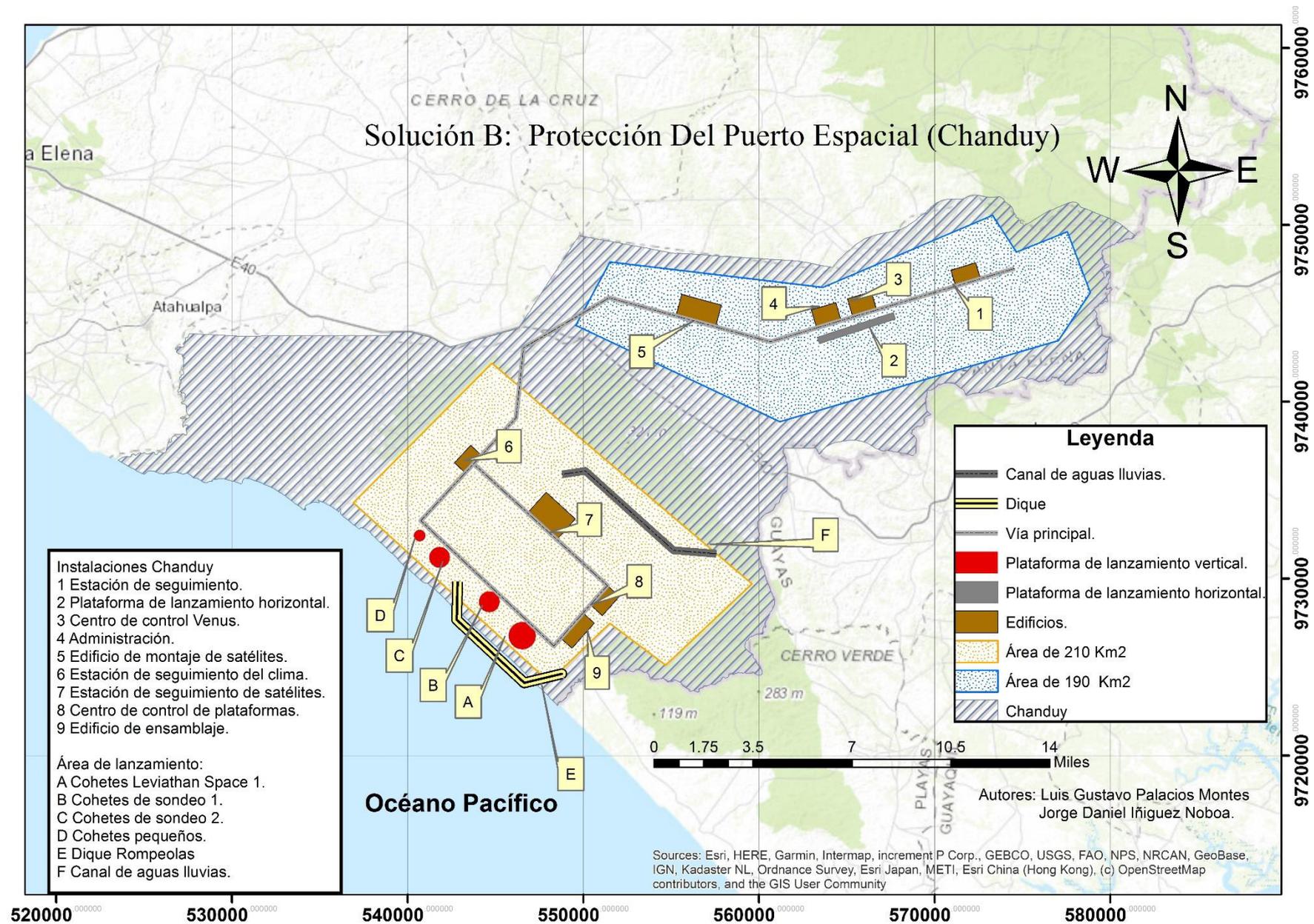


Imagen 3-23 Solución B: Protección Del Puerto Espacial.

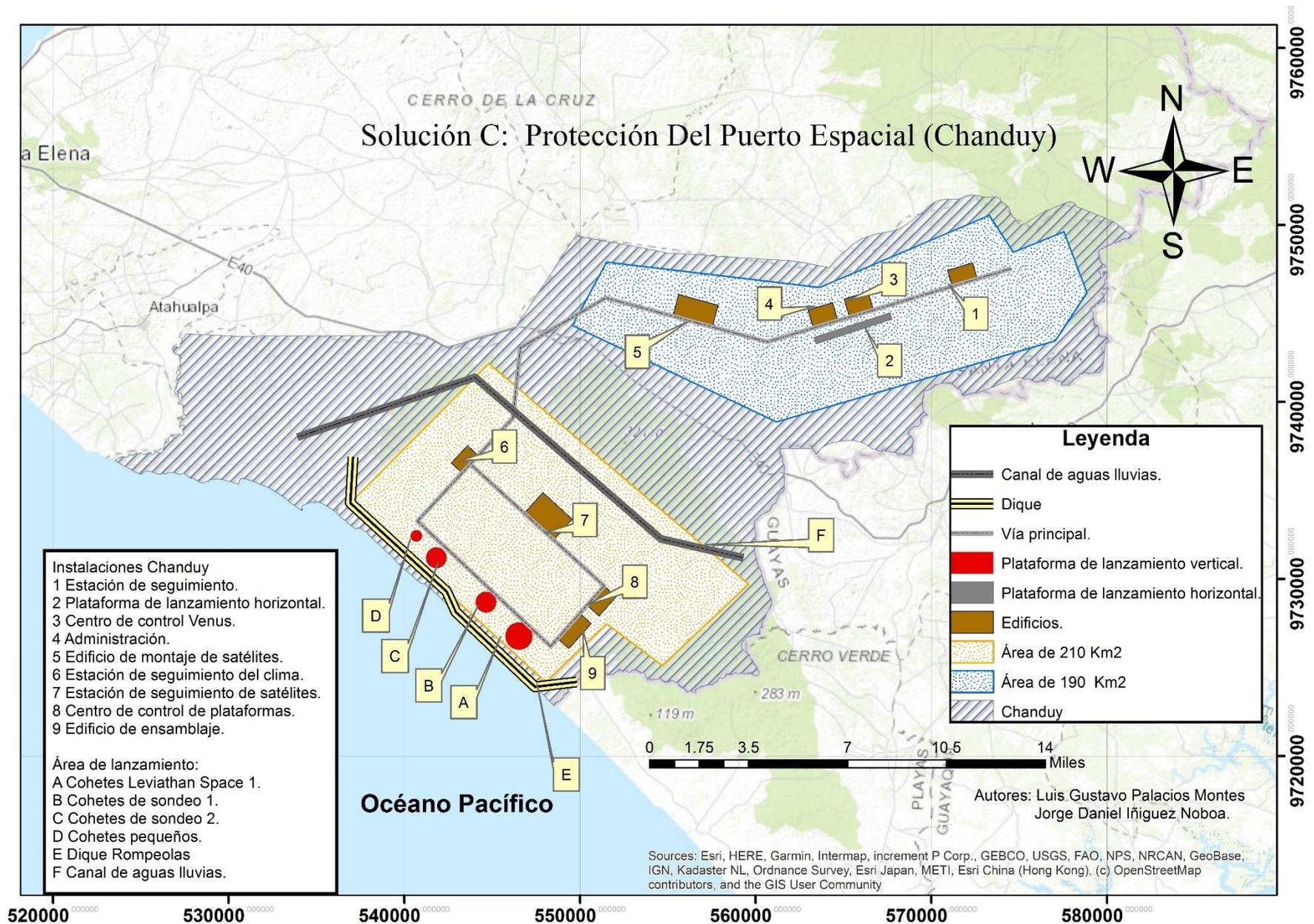


Imagen 3-24 Solución C: Protección del Puerto Espacial.

### 3.4 Análisis de Costos

Para el análisis de costos se consideraron dos etapas:

- Etapa Proyecto, consiste en los costos del estudio hasta la generación de los diseños de las soluciones ingenieriles.
- Etapa Soluciones Ingenieriles, consiste en los costos de realizar la implementación de cada una de las soluciones, incluyendo sus tiempos de construcción.

#### 3.4.1 Costos Etapa Proyecto

El análisis de costos para la Etapa de Proyecto se basa en los requerimientos necesarios para la generación de este documento, como: el tiempo del ingeniero oceanográfico, el tiempo del ingeniero civil, uso de hardware, uso de softwares, viáticos para salida de campo, equipos de monitoreo del nivel del mar para dos estaciones. Por lo tanto, los costos de la Etapa de Proyecto presentan en la tabla 3-19.

**Tabla 3-19 Análisis de Costos - Etapa Proyecto**

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Importe
Horas de trabajo - Ing. Oc.	704	5 USD/hora	3520.00
Horas de trabajo - Ing. Civil	704	5 USD/hora	3520.00
Licencia Matlab	1	940 USD/año	940.00
Licencia AutoCAD	2	295.55 USD/mes	591.10
Computador para proyecto	1	2000 USD/u	2000.00
Viáticos Salida de Campo	1	400 USD/salida	400.00
Estación Mareográfica	2	750 USD/u	1500.00
Registrador de Datos	2	3947 USD/u	7894.00
Sistema de Energía Autónomo con Panel Solar	2	438 USD/u	876.00
Transmisor GOES y Componentes	2	5373 USD/u	10746.00
Modem GPRS	2	500 USD/u	1000.00
Sensor de Radar	2	3645 USD/u	7290.00
Sonda de nivel de agua	2	3399 USD/u	6798.00
Sensor de nivel por contrapeso	2	4744 USD/u	9488.00
Torre de acero y soportes	2	950 USD/u	1900.00
Instalación	2	800 USD/u	1600.00
Mantenimiento	2	800 USD/u	1600.00
<b>Subtotal</b>			61663.10
<b>Iva (12%)</b>			7399.57
<b>Total</b>			69062.67

### 3.4.2 Costos Etapa Soluciones Ingenieriles

El análisis de costos para la Etapa Soluciones Ingenieriles se basa en la inversión necesaria para implementar cada una de las tres soluciones. Se utilizó la metodología de análisis de precios unitarios y rubros. Los costos detallados y duración teórica se pueden encontrar en el Apéndice E. En la tabla 3-20 se presenta un resumen de los costos de cada solución.

**Tabla 3-20 Resumen de Costos - Soluciones Ingenieriles.**

Precio [millones de dólares]				
Soluciones	Dique	Canal	Total	
A	10.18	06.08	16.26	35.64
B	13.91	05.47	19.38	
C	19.05	15.20	34.25	

Adicionalmente, se presentan los tiempos de construcción de cada una de las soluciones, resumidos en la tabla 3-21. Los tiempos optimizados se calcularon utilizando el rendimiento de las maquinarias.

**Tabla 3-21 Resumen de Tiempos de Construcción - Soluciones Ingenieriles.**

Tiempo de Construcción		
Soluciones	Tiempo Teórico [Años]	Tiempo Optimizado [Años]
A	2.2	1.1
B	2.9	1.1
C	5.7	2.3

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

“Soluciones ingenieriles ante la elevación del mar para la implementación de un puerto espacial en la costa ecuatoriana” es un proyecto integrador multidisciplinario entre las carreras de Ing. Civil y Oceanografía de ESPOL, que solucionaron la problemática de la compañía Leviathan Space, de encontrar el sitio óptimo para la implementación de un puerto espacial. Posteriormente, se desarrollan soluciones ingenieriles ante la elevación del mar que permitan la protección del puerto y el aprovechamiento del territorio.

Este trabajo es de importancia para Leviathan Space porque le entrega un enfoque general sobre la situación de Chanduy como sitio óptimo para el puerto espacial y las posibles afectaciones en la zona por el incremento del nivel del mar. Las fortalezas de este proyecto se basan en la inclusión de expertos y estudiantes de diferentes carreras que permitieron otorgar una visión holística al mismo; respecto a sus debilidades, se fundamentan en la información y datos disponibles a los que se pueden acceder.

Los resultados de este proyecto presentan a Chanduy como sitio óptimo para la implementación del puerto espacial, con respecto a Pedernales y Puná. Muestra el peor escenario de inundación en la zona debido a un incremento del nivel del mar por marea extrema con periodo de retorno de 100 años, Fenómeno de El Niño, Cambio Climático al 2100 y Run-up de ola extrema con periodo de retorno de 100 años. Finalmente, presenta soluciones ingenieriles para afrontar este escenario como la construcción del puerto detrás de la cota máxima de inundación o la generación de diferentes diques que contengan la columna de agua, con sus respectivos canales de aguas lluvias para evitar inundación por precipitación.

La importancia de este proyecto con respecto a otras investigaciones realizadas en estos temas es que “Soluciones ingenieriles ante la elevación del mar para la implementación de un puerto espacial en la costa ecuatoriana”, soluciona directamente la problemática planteada por Leviathan Space utilizando la combinación de metodologías para estudios de prefactibilidad, generación de escenarios de inundación y construcciones costeras.

Por lo cual, las implicaciones de este trabajo permitirán iniciar el proceso de implementación del puerto espacial en Ecuador que beneficiará en los aspectos nacionales de economía, trabajo, turismo, investigación, entre otros; además, será una base para estudios venideros sobre las temáticas estudiadas, es decir, estudio de prefactibilidad para selección de un sitio, generación de escenarios de inundación por modelamiento de mareas, extrapolación de mareas extremas, cálculo de oleaje extremo y diseño de estructuras costeras.

## **Conclusiones**

Basado en los objetivos de este proyecto, se concluye:

Se diseñó preliminarmente soluciones ingenieriles mediante la aplicación de metodologías de diseño de ingeniería civil y oceanografía, con la finalidad de mitigar los efectos de elevación del nivel del mar debido a marea, Fenómeno de El Niño y Cambio Climático en la zona de Chanduy, Ecuador para la implementación de un puerto espacial.

Chanduy fue seleccionado como el mejor sitio de la costa ecuatoriana para la implementación de un puerto espacial, debido a que obtuvo la mayor calificación aplicando la metodología de Lickert de 42/50 respecto a Pedernales y Puná.

Los cambios de marea fueron modelados para la zona de Chanduy en un periodo comprendido entre el 24 de septiembre de 2019 al 24 de septiembre del 2029, obteniendo un valor máximo de 1.28 m respecto al nivel medio del mar. Previamente, se realizó el proceso de validación y calibración con 30 corridas donde se obtuvo los mejores parámetros para el modelamiento, estos son  $TPXO=8.0$ , rugosidad de fondo =  $0.024 [s/m^{1/3}]$  y viscosidad de Eddy =  $10 [m^2/s]$  por medio del análisis de los parámetros estadísticos R cuadrado, RMSE y Skill.

Los incrementos del nivel del mar fueron definidos para Fenómeno de El Niño = +47cm y Cambio Climático = +0.95cm al 2100, basado en investigación bibliográfica de los máximos incrementos locales registrados.

La marea extrema fue calculada para la zona de Libertad utilizando información histórica de marea de 17 años por medio de las distribuciones probabilísticas de Gumbel, Log Normal, Pearson tipo III, Log Pearson tipo III y Ln Pearson tipo III, de donde se utilizó el valor de 1.83 m sobre el nivel medio del mar, correspondiente a un periodo de retorno de 100 años según la metodología de Gumbel.

La ola de diseño fue calculada por medio de la aplicación de la metodología de ola extrema utilizando información histórica del WW3. Se obtuvo una ola de diseño= 4.97m en aguas intermedias, correspondiente a un periodo de retorno de 100 años según el procedimiento de Draper. El run-up generado por esta ola en la playa en escenario de marea extrema se determinó en 0.59m y en marea máxima de 0.64m, debido a la diferencia de la pendiente de playa. El peso de la roca de coraza que soportaría este oleaje se calculó en un peso de 5.4 tons según la ecuación de Hudson.

Se generaron dos mapas de inundación, “Mapa A” emplea la marea extrema con las elevaciones por Fenómeno de El Niño, Cambio Climático y Run-up, de manera análoga lo realiza el “Mapa B”, pero con el uso de la marea máxima.

Los materiales locales aptos para la construcción del núcleo del dique fueron identificados como arcilla limo arenosa ubicada en la zona de Engunga, específicamente en las paredes de las camaroneras; con características técnicas de peso específico=1400 kg/cm<sup>2</sup>, cohesión=0.5 y ángulo de fricción interna= 22.5 grados.

Un dique de contención fue diseñado para la máxima columna de agua por incremento del nivel del mar considerando marea extrema, Cambio Climático, Fenómeno de El Niño, Set-up y Run-up de ola de diseño; con roca de coraza para protección del oleaje y núcleo de arcilla impermeable. Para mitigar los efectos de las precipitaciones, se diseñó canales de aguas lluvias con un caudal extremo=15.65 m<sup>3</sup>/s por cada 200 hectáreas de territorio.

Los costos y presupuestos de las soluciones ingenieriles fueron estimados en solución A= 16.26 millones USD, solución B= 19.38 millones USD y solución C= 34.25 millones

USD; por medio del análisis de precios unitarios y rubros. La solución C se considera óptima debido a que protege todo el puerto espacial con la menor inversión.

Mediante el SUIA, se seleccionó el tipo de permiso ambiental para las soluciones ingenieriles obteniendo certificado ambiental, por lo cual, se utiliza la guía de buenas prácticas ambientales.

### **Recomendaciones**

Este proyecto tiene la característica de estudio de prefactibilidad, para etapas posteriores de investigación con respecto a este tema, se recomienda:

- Realizar los estudios de factibilidad de lanzamiento: idoneidad de rutas de lanzamiento, orientación de la costa, tipo de vehículo.
- Refinar la grilla para modelamiento de marea en las cercanías de Chanduy.
- Modelar escenarios de inundación debido a tsunami conforme indica [loualalen et al. \(2014\)](#)
- Modelar el oleaje de manera detallada para la zona de Chanduy.
- Estudiar el incremento del nivel del mar debido a variaciones de la placa oceánica, como proceso de elevación o subducción según indica [Pedoja et al. \(2006\)](#)
- Realizar estudios de suelo utilizando un núcleo de muestra y del nivel freático de la zona.
- Realizar estudios de estabilidad de taludes para los acantilados localizados en Chanduy, basados en perforaciones de suelo.
- Reforestar la zona montañosa para evitar sedimentación al pie de la ladera.
- Generar una solución ingenieril basada en el relleno de la zona de inundación por debajo de la cota máxima.
- Considerar efectos de tsunami para diseño de diques.
- Realizar estudios de los cambios hidro-morfodinámicos de la playa, debido a la presencia del dique.
- Diseñar las cimentaciones de la plataforma de lanzamiento utilizando pantallas de intersección para líneas de flujo de agua.
- Estudiar las leyes de terreno y la ley de comuna a la que pertenece Chanduy.

# BIBLIOGRAFÍA

- Allauca , S., & Cardín, V. (1987). Análisis de las olas en la costa central del Ecuador. *Acta Oceanográfica del Pacífico - INOCAR 4 (1)*, 1-7.
- Allauca, S. (1985). *Estudio de Oleaje en la zona de Valdivia*. Guayaquil: ESPOL.
- Barrera, P. (2016). *Delft 3D Flexible Mesh Modelling of the Guayas River and Estuary System in Ecuador*. Delft: TUDelft.
- British Oceanographic Data Centre. (2018). *GEBCO*. Obtenido de GEBCO: [https://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/)
- Cedeño, J. (2016). Apuntes de Clase: Ondas Marinas. *Exploración de datos de oleaje: WW3*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: FIMCBOR-ESPOL.
- Cedeño, J. (2018). Apuntes de Clase: Oceanografía de la Región Ecuatorial. *El Niño - Oscilación del Sur (ENOS)*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: FIMCBOR -ESPOL.
- Contreras-López, M., Cevallos, J., & Torres, R. (2017). Tendencias del nivel medio del mar en el litoral del Pacífico Sur Oriental. *Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático.*, págs. 165-176.
- Cornejo, M. D. (05 de 2007). Ecuador Case Study: Climate Change Impact on Fisheries. *United Nations Development Programme*, 1-42.
- Dachyar, M., & Purnomo, H. (2018, 03). Spaceport Site Selection with Analytical Hierarchy Process Decision Making. *Indian Journal of Science and Technology*, 1-8. doi:10.17485/ijst/2018/v11i10/96506
- Dasgupta, S., & Meisner, C. (05 de 2009). Climate Change and Sea Level Rise: A Review of the Scientific Evidence. *The World Bank Environment Department*, págs. 1-36.
- Deltares. (26 de 05 de 2014). Functional Description. *3D/2D modelling suite for integral water solutions*. Delft, Netherlands: Deltares.
- Deltares. (30 de 08 de 2018). Hydro-Morphodynamics. *Delft3D-FLOW: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments*. Delft, Netherlands: Deltares.
- Devlin, A. T., Jay, D. A., Talke, S. A., Zaron, E. D., Pan, J., & Lin, H. (2017). Coupling of sea level and tidal range changes, with implications for future water levels. *Nature - Scientific Reports*, 1-12. doi:10.1038/s41598-017-17056-z

- Egbert, G. D., & Erofeeva, S. Y. (01 de 02 de 2002). Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides. *AMS100*, 183-204. doi:doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019<0183:EIMOBO>2.0.CO;2
- Espín, S. M., & Nath, J. (1992). Características del régimen de olas en San Cristobal - Islas Galápagos. *Acta Oceanográfica del Pacífico - INOCAR 7 (1)*, 13-20.
- Espinoza, M. E. (2018). *Gulf of guayaquil tidal simulation using delft3d hydrodynamic model during an El Niño event and Normal conditions*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- ESPOL. (14 de 07 de 2016). 4313 Instructivo de la Unidad de Titulación Especial de la ESPOL. *Resolución Nro. 16-07-274*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: ESPOL.
- Huguenin, C., & Vega, R. (2017). Análisis de inundación causado por el aumento del mar en la región de Sixaola. *Researchgate*, 1-7.
- Hunt, I. A. (1959). *Design of seawalls and breakwaters*. (U. o. Libraries, Ed.) San Diego: American Society of Civil Engineers.
- IHCantabria. (2016). Anexo VII. Documento1. Estudio sobre la adaptación al cambio climático de la costa del principado de Asturias. *Gobierno del Principado de Asturias*, pág. 133.
- IHCantabria. (2017). Deliverable Action A2. Estudio hidrodinámico de las actuaciones de restauración. Estudio de Oyambre. *CONVIVE-LIFE*, pág. 362.
- INOCAR. (2019). *INOCAR*. Obtenido de Eventos en el Ecuador: <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/estudio-de-tsunamis/73-eventos-en-el-ecuador>
- International Space University. (2011). *Kourou Vision 2030*. Illkirch-Graffenstaden, France: International Space University.
- Ioualalen, M., Monfret, T., Béthoux, N., Chlieh, M., Ponce Adams, G., Collot, J., . . . Solis Gordillo, G. (2014, 04 30). Tsunami mapping in the Gulf of Guayaquil, Ecuador, due to local seismicity. *Springer*, p. 20. doi:10.1007/s11001-014-9225-9
- IPCC. (2014). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press.
- IPCC. (2014). *WGI - Glossary*. New York: Cambridge University Press.
- Jacome de Solorzano, M., & Llanos de Bonilla, L. (1989). Clasificación de los sedimentos de la plataforma continental ecuatoriana-provincia del Guayas en relación al

- porcentaje de carbonato de calcio. *Acta Oceanográfica del Pacífico - INOCAR 5 (1)*, 78-88.
- Leviathan Space Industries. (2018). *Leviathan Space Industries LLC*. Recuperado el 12 de 06 de 2019, de Leviathan Space Industries: <https://www.leviathanspace.com/>
- Leviathan Space Industries. (2018). Private Space Port in the Equatorial Line., (pág. 14). Pompano.
- Lizano, M. A., & Lizano, O. G. (2010). Creación de escenarios de inundación en la ciudad de Puntarenas ante el aumento del nivel del mar. *Universidad de Costa Rica*, 215-229.
- Mapplecroft. (2014). Vulnerability Index to climate change in the Latin American and Caribbean Region. *CAF*, pág. 206.
- Ministerio del Ambiente. (05 de 2013). Guía de buenas prácticas ambientales para la construcción de muros de gaviones y escolleras. *Sistema Único de Información Ambiental*. Ecuador.
- Mora, W., & Ochoa, R. (2016). *Modelamiento de zonas de inundación por medio de las herramientas hec-ras, geo-ras y arcgis, para el sector comprendido entre los municipios de corrales- paz de rio a lo largo del rio Chicamocha, en el departamento de Boyacá*. Escuela de Ingeniería Geológica. Sogamoso: Universidad Pedagógica y Tecnología de Colombia.
- Moreano, H. R., Zambrano, E., T. de Suescum, R., & Paredes, N. (1986). El Niño 1982-83, su formación, su desarrollo y sus manifestaciones en aguas ecuatorianas. *Acta Oceanográfica del Pacífico - INOCAR 3 (1)*, 1-23.
- Pedoja, K., Dumont, J., Lamothe, M., Ortlieb, L., Collot, J.-Y., Ghaleb, B., . . . Labrousse, B. (2006, 2 1). Plio-Quaternary uplift of the Manta Peninsula and La Plata Island and the subduction of the Carnegie Ridge, central coast of Ecuador. *Elsevier*, pp. 1-21. doi:10.1016/j.jsames.2006.08.003
- Pickering, M. D., Horsburgh, K. J., Blundell, J. R., Hirschi, J. J.-M., Nicholls, R. J., & Verlaan, M. (2017). The impact of future sea-level rise on the global tides. *Elsevier*, 50-68. doi:doi.org/10.1016/j.csr.2017.02.004
- Saltos , I. (2018). Apuntes de Clase: Modelaje Costero. *Modelaje Costero Clase 09 Modelos Numéricos*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: FIMCM - ESPOL.
- Saltos, I. (13 de 05 de 2019). Apuntes de Clase: Diseño Costero II. *Lecture\_01\_Introducción*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: FIMCM - ESPOL.

- Seedhouse, E. (2017). *Spaceports around the World, A Global Growth Industry*. Springer, 131. doi:10.1007/978-3-319-46846-4
- Sierra, R., Flores, S., & Zamora, G. (01 de 2009). Climate Change Assessment for Esmeraldas, Ecuador: A Summary. *UN-HABITAT'S Cities in Climate Change Initiative*, págs. 1-25. doi:10.13140/2.1.1375.2009
- Soledispa, B. (1987). Estudio de las características sedimentológicas del área comprendida entre Ancón y el Canal del Morro (Golfo de Guayaquil). *Acta Oceanográfica del Pacífico - INOCAR 4 (1)*, 171 - 189.
- SpaceFlorida. (2017). *Cape Canaveral Spaceport Master Plan*. Exploration Park, Florida, USA: SpaceFlorida.
- SpaceFlorida. (2018). *Florida Spaceport System Plan 2018*. Exploration Park, Florida, USA: SpaceFlorida.
- SPMII-Coastal Engineering Research Center. (1984). *Shore Protection Manual Vol II*. Washington: Department of the Army.
- Stenfert, J., Bouman, R., Nolthenius, R., & Joosten, S. (2016). *Flood Risk Guayaquil*. Guayaquil: TUDelft - ESPOL - Deltares.
- Suárez, G. (10 de 09 de 2018). *Señor Creativo*. Obtenido de Señor Creativo: <https://senorcreativo.com/para-que-sirve-el-design-thinking/>
- US Army Corps of Engineers. (2003). *Coastal Engineering Manual (CEM)*. Washington D.C.
- Vásquez, A., Monteza, J., Rodríguez, J., & Rodríguez, F. (2007). Valoración de impactos ambientales significativos utilizando una escala tipo Lickert en la caleta Santa Rosa, Chiclayo. *UPAO*, 53-67.
- Vera, L. (2003). Estudio del nivel medio del mar en Puerto Bolívar. *Acta Oceanográfica del Pacífico - INOCAR 12 (1)*, 9-12.
- Zambrano, E., Martínez, R., & Garcés-Vargas, J. (2000). Variabilidad Oceanográfica en Ecuador Asociada con el Evento ENSO 1997-98. *Acta Oceanográfica del Pacífico - INOCAR 10 (1)*, 9-20.

# APÉNDICES

## APÉNDICE A: Informe de Salida de Campo a Chanduy

---

### 1.- INTRODUCCIÓN

El lunes 02 de Julio del 2019 se realizó una visita de campo a Chanduy, Ecuador con la finalidad de observar la zona y levantamiento de ortofoto, donde se implementará la primera etapa del puerto espacial de la compañía Leviathan Space.

Esta salida de campo es esencial para el desarrollo del proyecto integrador multidisciplinario “Soluciones ingenieriles ante la elevación del mar para la implementación de un puerto espacial en la costa ecuatoriana” desarrollado por estudiantes de las facultades FIMCM y FICT.

### 2.- OBJETIVOS

- Examinar la zona de Chanduy donde se implementará la primera etapa del puerto espacial por medio de la observación en campo.
- Obtener muestras del suelo de la zona para la obtención de parámetros como peso específico y ángulo de rozamiento interno.
- Crear una ortofoto mediante el uso de un drone, para levantamiento de topografía y perfiles de playa.

### 3.- COMISIÓN / EQUIPO

Integrantes de la comisión que participó de la salida de campo:

- Msc. Jonathan Cedeño, Tutor Oceanografía
- Ph.D. Mijail Arias, Tutor Ing. Civil
- Ing. Mónica López, Técnico docente FICT
- Sr. Jorge Iñiguez, Estudiante Oceanografía
- Sr. Luis Palacios, Estudiante Ing. Civil

El equipo utilizado para la salida de campo:

- 1 unidad: DJI Matrice 100 – Quadcopter for developers +DJI Guidance System + TB48D Spare Battery + CS kit. |Código ESPOL: 179203| Modelo: Matrice 100| Serie: M04DDc31010005.
- 2 unidades: Baterías
- 1 unidad: Cargador – adaptador.
- 1 unidad: Control de vuelo.
- 1 unidad: DJI X3 Cámara y Gimbal.
- 1 unidad: Pico y pala

#### 4.- DESARROLLO DE LA SALIDA

Alrededor de las 08H00, se partió en dirección a Chanduy. La primera parada fue en la comuna de Chanduy donde se observó las condiciones oceanográficas y aspectos técnicos del muro de protección ubicado en la zona, como se observa en la imagen A-1 y A-2.

La zona de Engunga fue la segunda parada, debido a ser la zona donde se implementaría la primera etapa del puerto espacial; además, de poseer la mayor área de inundación según las predicciones realizadas hasta el día de la salida. Se utilizó el dron para obtener una ortofoto y fotos áreas de la zona, como se observan en las figuras A-3 a A-7.

#### 5.- RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron evidencia fotográfica, fotografías áreas y ortofoto. De la ortofoto se intentó obtener un DEM, pero no fue posible debido a la ausencia de un factor de corrección de alturas que debió haber sido tomado con un GPS diferencial.

Los valores de los parámetros de las muestras de suelo serán entregados por parte del Ing. Falquez, director de laboratorio de suelos-FICT hacia el Sr. Luis palacios, el lunes 12 de agosto del 2019; los resultados de las muestras se han demorado debido a logística y agenda del laboratorio de suelos.

Los parámetros de la muestra de suelo obtenido mediante ensayo de laboratorio se muestran en la tabla A-1.

**Tabla A-1 Parámetros de la muestra de suelo obtenida en la salida de campo.**

<b>Ensayos de la arcilla limo arenosa - suelta</b>	
<b>Peso específico [Kg/cm<sup>2</sup>]</b>	1400
<b>Contenido de humedad [%]</b>	10%
<b>Tamaño de partículas [mm]</b>	<0.0625
<b>Ángulo de fricción interna [°]</b>	22.5
<b>Cohesión [ ]</b>	0.5

## 6.- NOVEDADES Y COMENTARIOS

Para poder utilizar el Drone en una salida de campo, es necesario realizar el procedimiento de la salida con la finalidad de garantizar la aplicación del seguro de ESPOL. Adicionalmente, se recibió el Drone con una rotura de la sección plástica de 1 de sus 4 patas.



Imagen A-1 Muro de protección en la comuna de Chanduy. Referencia: Iñiguez,2019



Imagen A-2 Comisión de la Salida de Campo. De izq. a der.: Luis Palacios, Jorge Iñiguez, Mijail Arias, Mónica López, Jonathan Cedeño. Referencia: Cedeño,2019



Imagen A-3 Vuelo del Drone para creación de fotos. Referencia: Cedeño,2019



Imagen A-4 Foto aérea de Engunga, Chanduy tomada por el drone. Referencia: López,2019



Imagen A-5 Foto aérea de Engunga, Chanduy tomada por el dron. Referencia: López,2019



Imagen A-6 Foto aérea de Engunga, Chanduy tomada por el dron. Referencia: López,2019

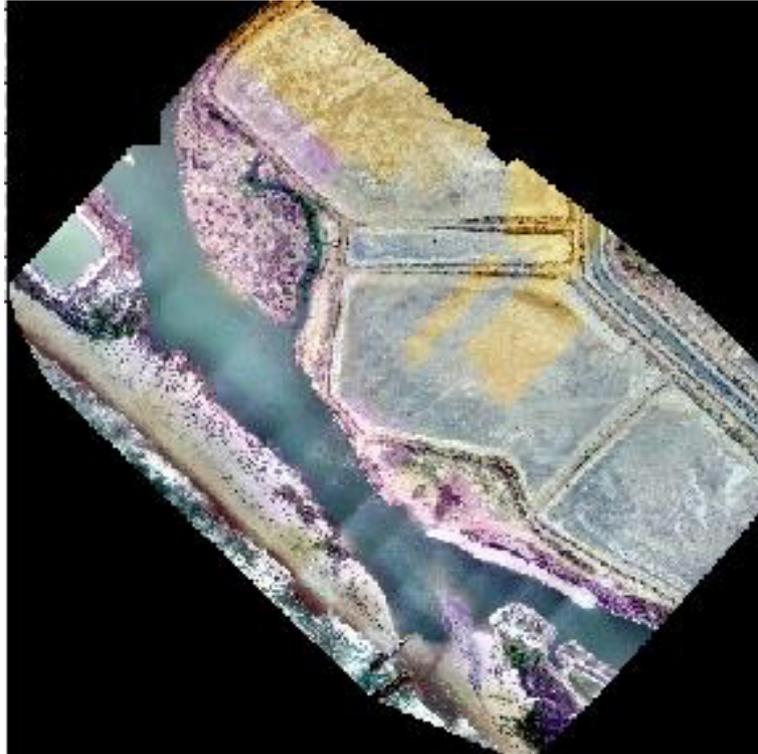


Imagen A-7 Ortofoto de Engunga, Chanduy tomada por el dron. Referencia: López,2019

## APÉNDICE B: Metodología Ola de Diseño

---

Debido a que el estado del mar es un proceso aleatorio no estacionario, se puede utilizar la variabilidad de los parámetros de ondas a corto plazo para determinar las alturas máximas posibles a ocurrir para un periodo de tiempo definido.

El método de predicción de olas extremas se basa en la extrapolación de su distribución de frecuencias junto con el cálculo de la probabilidad de un evento en cierto periodo de tiempo. Conocer la recurrencia de estos eventos extremos tiene aplicaciones en los diseños de protección costera que soporten estas condiciones.

Para detallar el cálculo de la ola de diseño, se utilizarán los datos obtenidos de: Espín S.M. y J. Nath (1992). Características del régimen de olas en San Cristóbal, islas Galápagos. Acta Oceanog. Pacífico, 7(1), 13-20.

De la tabla II. se extraen los siguientes datos:

**Tabla B-2 Datos de oleaje obtenidos de Espín y Nath.**

Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Medio	Frecuencia Absoluta
1	6	3,5	557
6	11	8,5	804
11	16	13,5	449
16	21	18,5	313
21	26	23,5	152
26	31	28,5	73
31	36	33,5	41
36	41	38,5	19
41	46	43,5	4
46	51	48,5	10
51	56	53,5	4
56	61	58,5	4
61	66	63,5	2
66	71	68,5	1
71	76	73,5	1
76	81	78,5	1
81	86	83,5	1
			2436

Se procede a calcular:

1.- Probabilidad de Ocurrencia, dividiendo la frecuencia absoluta de cada intervalo de clase para el número total de datos.

2.- Probabilidad de Excedencia, por medio de la expresión “ 1 – probabilidad de ocurrencia”

**Tabla B-3 Datos de oleaje obtenidos de Espín y Nath.**

Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Medio	Frecuencia Absoluta	Probabilidad de Ocurrencia	Excedencia
1	6	3,5	557	0,22865353	0,77134647
6	11	8,5	804	0,33004926	0,66995074
11	16	13,5	449	0,18431856	0,81568144
16	21	18,5	313	0,12848933	0,87151067
21	26	23,5	152	0,06239737	0,93760263
26	31	28,5	73	0,02996716	0,97003284
31	36	33,5	41	0,01683087	0,98316913
36	41	38,5	19	0,00779967	0,99220033
41	46	43,5	4	0,00164204	0,99835796
46	51	48,5	10	0,00410509	0,99589491
51	56	53,5	4	0,00164204	0,99835796
56	61	58,5	4	0,00164204	0,99835796
61	66	63,5	2	0,00082102	0,99917898
66	71	68,5	1	0,00041051	0,99958949
71	76	73,5	1	0,00041051	0,99958949
76	81	78,5	1	0,00041051	0,99958949
81	86	83,5	1	0,00041051	0,99958949
			2436		

3.- Extraer los datos de valor medio, probabilidad de ocurrencia y excedencia.

**Tabla B-4 Datos de oleaje.**

Valor Medio	Probabilidad de Ocurrencia	Excedencia
3,5	0,22865353	0,77134647
8,5	0,33004926	0,66995074
13,5	0,18431856	0,81568144
18,5	0,12848933	0,87151067
23,5	0,06239737	0,93760263
28,5	0,02996716	0,97003284
33,5	0,01683087	0,98316913
38,5	0,00779967	0,99220033

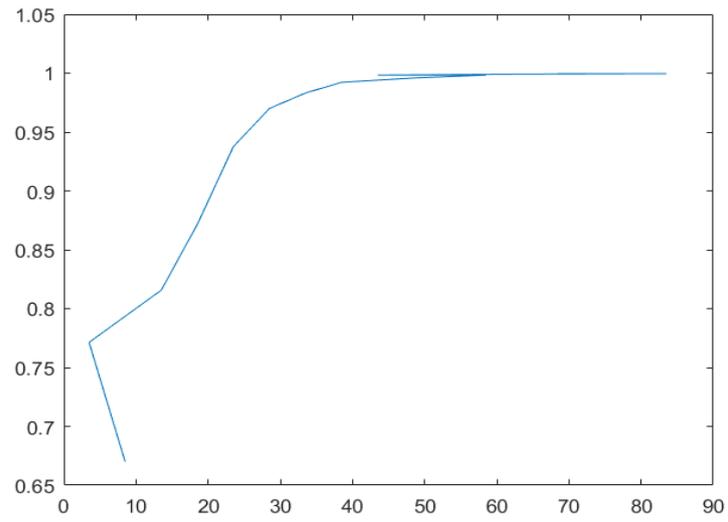
43,5	0,00164204	0,99835796
48,5	0,00410509	0,99589491
53,5	0,00164204	0,99835796
58,5	0,00164204	0,99835796
63,5	0,00082102	0,99917898
68,5	0,00041051	0,99958949
73,5	0,00041051	0,99958949
78,5	0,00041051	0,99958949
83,5	0,00041051	0,99958949

4.- Se ordenan los datos de mayor a menor según probabilidad de excedencia.

**Tabla B-5 Datos de oleaje ordenados.**

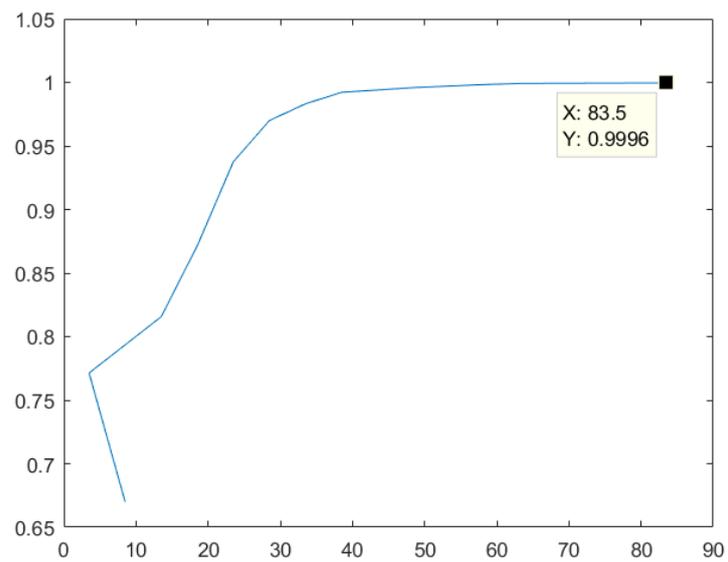
Valor Medio	Probabilidad de Ocurrencia	Excedencia
68,5	0,00041051	0,99958949
73,5	0,00041051	0,99958949
78,5	0,00041051	0,99958949
83,5	0,00041051	0,99958949
63,5	0,00082102	0,99917898
43,5	0,00164204	0,99835796
53,5	0,00164204	0,99835796
58,5	0,00164204	0,99835796
48,5	0,00410509	0,99589491
38,5	0,00779967	0,99220033
33,5	0,01683087	0,98316913
28,5	0,02996716	0,97003284
23,5	0,06239737	0,93760263
18,5	0,12848933	0,87151067
13,5	0,18431856	0,81568144
3,5	0,22865353	0,77134647
8,5	0,33004926	0,66995074

5.- Graficar en el eje X valor medio del intervalo y en el eje Y, probabilidad de excedencia para observar los valores extremos.



**Imagen B-8 Excedencia Vs. Valor Medio.**

6.- Eliminar los valores extremos.



**Imagen B-9 Excedencia Vs. Valor Medio.**

**Tabla B-6 Datos de oleaje sin valores extremos.**

Valor Medio	Probabilidad de Ocurrencia	Excedencia
<b>83,5</b>	0,00041051	0,99958949
<b>63,5</b>	0,00082102	0,99917898
<b>58,5</b>	0,00164204	0,99835796
<b>48,5</b>	0,00410509	0,99589491
<b>38,5</b>	0,00779967	0,99220033
<b>33,5</b>	0,01683087	0,98316913
<b>28,5</b>	0,02996716	0,97003284
<b>23,5</b>	0,06239737	0,93760263
<b>18,5</b>	0,12848933	0,87151067
<b>13,5</b>	0,18431856	0,81568144
<b>3,5</b>	0,22865353	0,77134647
<b>8,5</b>	0,33004926	0,66995074

**Tabla B-7 Datos de oleaje sin valores extremos.**

Valor Medio	Probabilidad de Ocurrencia	Excedencia
<b>83,5</b>	0,00041051	0,99958949
<b>63,5</b>	0,00082102	0,99917898
<b>58,5</b>	0,00164204	0,99835796
<b>48,5</b>	0,00410509	0,99589491
<b>38,5</b>	0,00779967	0,99220033
<b>33,5</b>	0,01683087	0,98316913
<b>28,5</b>	0,02996716	0,97003284
<b>23,5</b>	0,06239737	0,93760263
<b>18,5</b>	0,12848933	0,87151067
<b>13,5</b>	0,18431856	0,81568144
<b>3,5</b>	0,22865353	0,77134647
<b>8,5</b>	0,33004926	0,66995074

7.- Graficar los datos según cada método de extrapolación:

Siendo  $H_s$ , altura significativa de ola y  $P$ , probabilidad de ocurrencia.

**Tabla B-8 Métodos de extrapolación para cálculo de olas extremas.**

Draper	Weibull	Log-Log	Log-Ln
$X=H_s$ $Y=\text{Log}(P)$	$X=\text{Ln}(H_s)$ $Y=\text{Ln}(\text{Ln}(1/(1-P)))$	$X=\text{log}(H_s)$ $Y=\text{log}(P)$	$X=\text{Ln}(H_s)$ $Y=\text{log}(P)$

8.- Se obtiene la recta de regresión por el método de mínimos cuadrados.

9.- Se calcula la probabilidad para cada periodo de retorno de la siguiente manera:

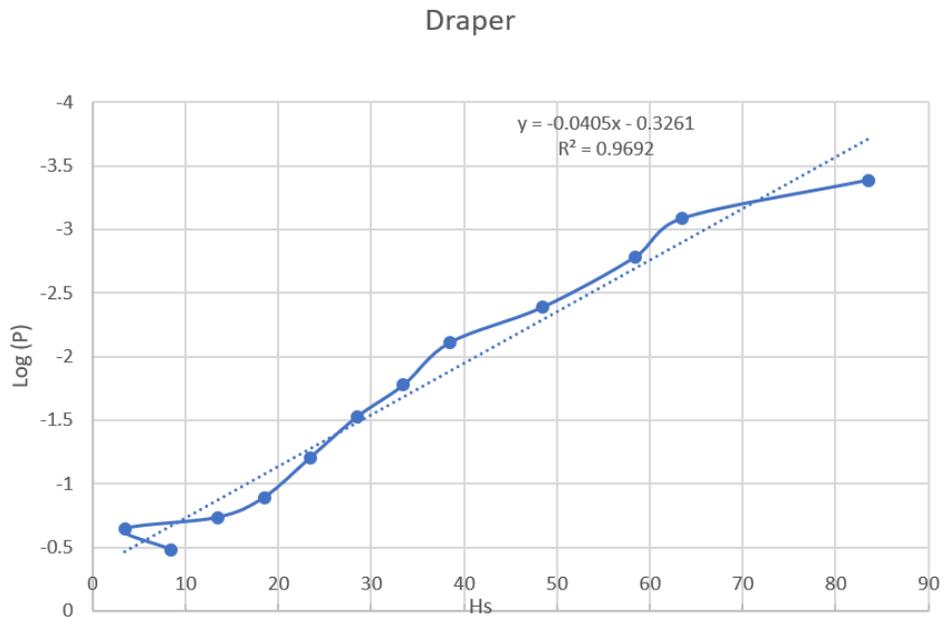
El olígrafo utilizado para medir los datos obtiene 1 cada 3 horas, es decir 8 por día y 2920 al año, entonces:

**Tabla B-9 Probabilidades de periodos de retorno.**

Periodo de Retorno	Probabilidad	
<b>1</b>	$1/ (1 *2920)$	0,00034247
<b>10</b>	$1/ (10 *2920)$	3,4247E-05
<b>25</b>	$1/ (25 *2920)$	1,3699E-05
<b>50</b>	$1/ (50 *2920)$	6,8493E-06
<b>100</b>	$1/(100 *2920)$	3,4247E-06

10.- Se ingresa a la ecuación con cada probabilidad obtenida para calcular la  $H_s$  de ola correspondiente a cada intervalo.

## Ola de Diseño - Draper

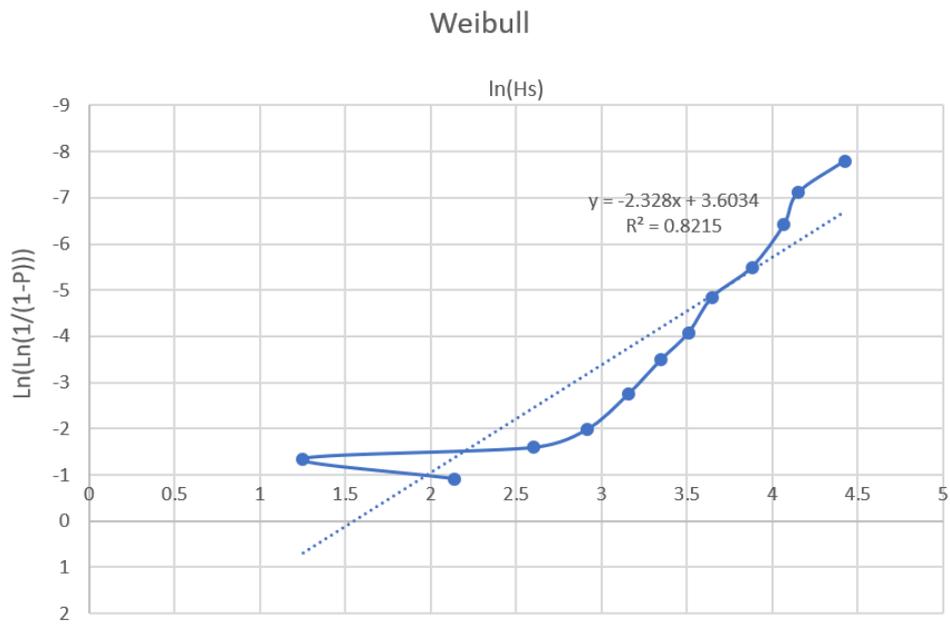


**Imagen B-10 Recta de regresión de Draper.**

**Tabla B-10 Olas extremas según Draper.**

Periodo de Retorno	Probabilidad	Hs[cm]
<b>1</b>	0,0034247	77,5131568
<b>10</b>	3,4247E-05	102,204515
<b>25</b>	1,3699E-05	112,030194
<b>50</b>	6,8493E-06	119,463033
<b>100</b>	3,4247E-06	126,895873

## Ola de Diseño – Weibull



**Imagen B-11 Recta de regresión de Weibull.**

**Tabla B-11 Olas extremas según Weibull.**

Periodo de Retorno	Probabilidad	Hs[cm]
1	0,0034247	144,796563
10	3,4247E-05	389,350082
25	1,3699E-05	577,136601
50	6,8493E-06	777,298221
100	3,4247E-06	1046,87881

## Ola de Diseño – Log Log

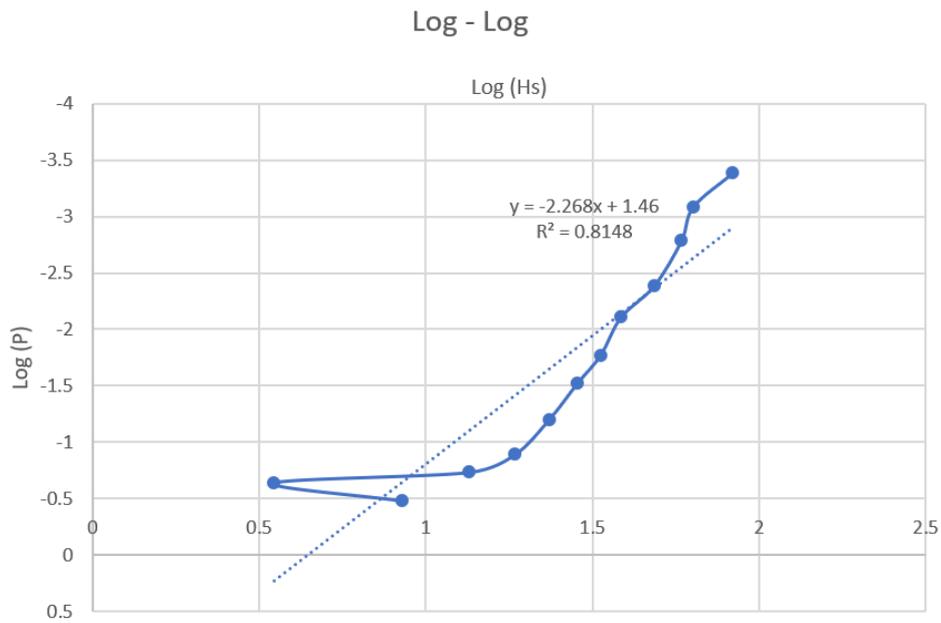
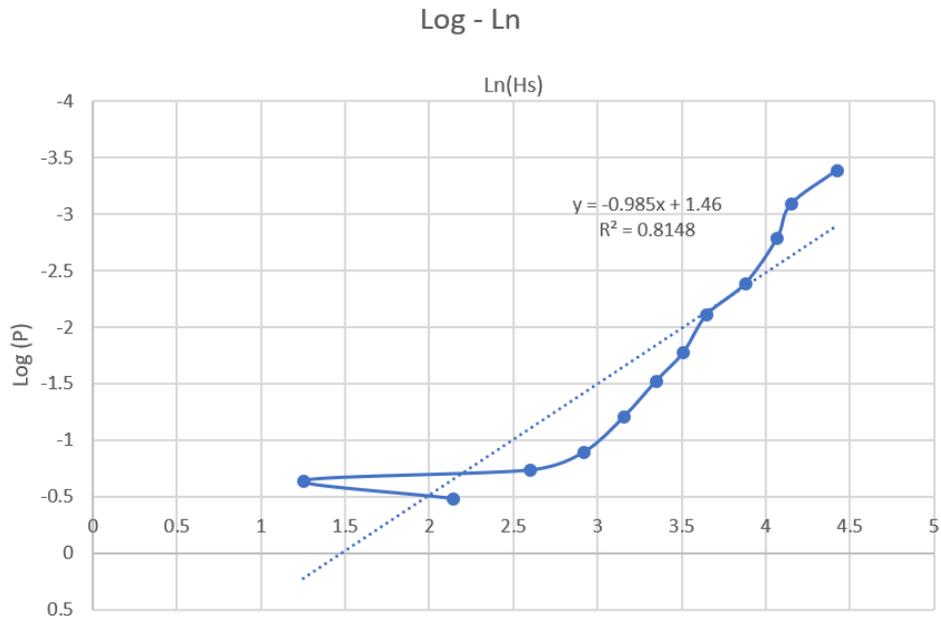


Imagen B-12 Recta de regresión Log-Log.

Tabla B-12 Olas extremas según Log-Log.

Periodo de Retorno	Probabilidad	Hs[cm]
1	0,0034247	148,4860179
10	3,4247E-05	409,8289829
25	1,3699E-05	613,848538
50	6,8493E-06	833,2791223
100	3,4247E-06	1131,148895

## Ola de Diseño – Log Ln



**Imagen B-13 Recta de regresión Log-Ln.**

**Tabla B-13 Olas extremas según Log-Ln.**

Periodo de Retorno	Probabilidad	Hs[cm]
1	0,0034247	148,4708558
10	3,4247E-05	409,7786386
25	1,3699E-05	613,7680677
50	6,8493E-06	833,1646866
100	3,4247E-06	1130,986494

## **APÉNDICE C: Valoración de los parámetros de la matriz de Lickert**

---

### **1.- INTRODUCCIÓN**

La selección del sitio se basó en la calificación de cada uno de los parámetros de la tabla C-14. La calificación se realizó con la generación de mapas temáticos que permitan observar espacialmente los parámetros e investigación bibliográfica.

Para la calificación de los parámetros: población, infraestructura vial, reservas naturales, aeropuertos, fallas, área de inundación por lluvias y área disponible se utiliza la imagen C-14, C-15 Y C-16.

Para la calificación del parámetro uso de suelos, se utilizan las imágenes C-17, C-18 Y C-19.

Para la calificación del parámetro tipo suelo, se utilizan las imágenes C-20, C-21 Y C-22.

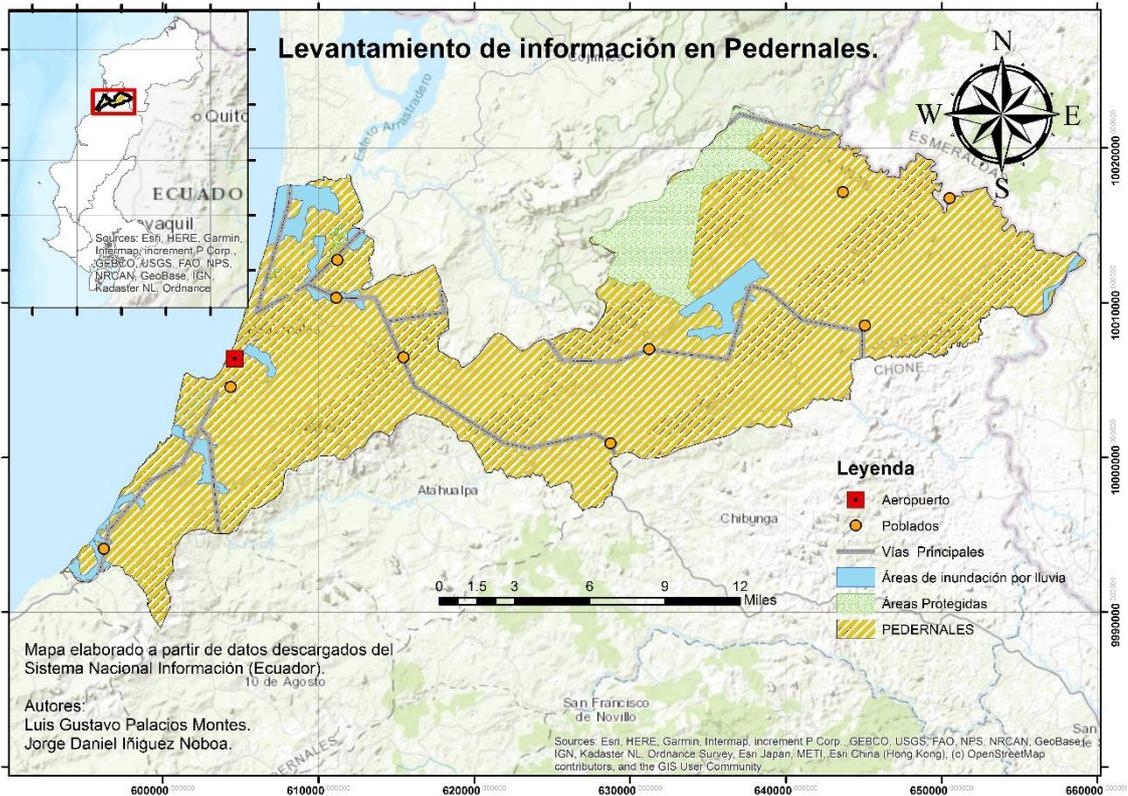
Para la calificación del parámetro topografía, se utilizan las imágenes C-23, C-24 Y C-25.

Para la calificación del parámetro clima y meteorología, se utilizan las imágenes C-26, C-27 Y C-28.

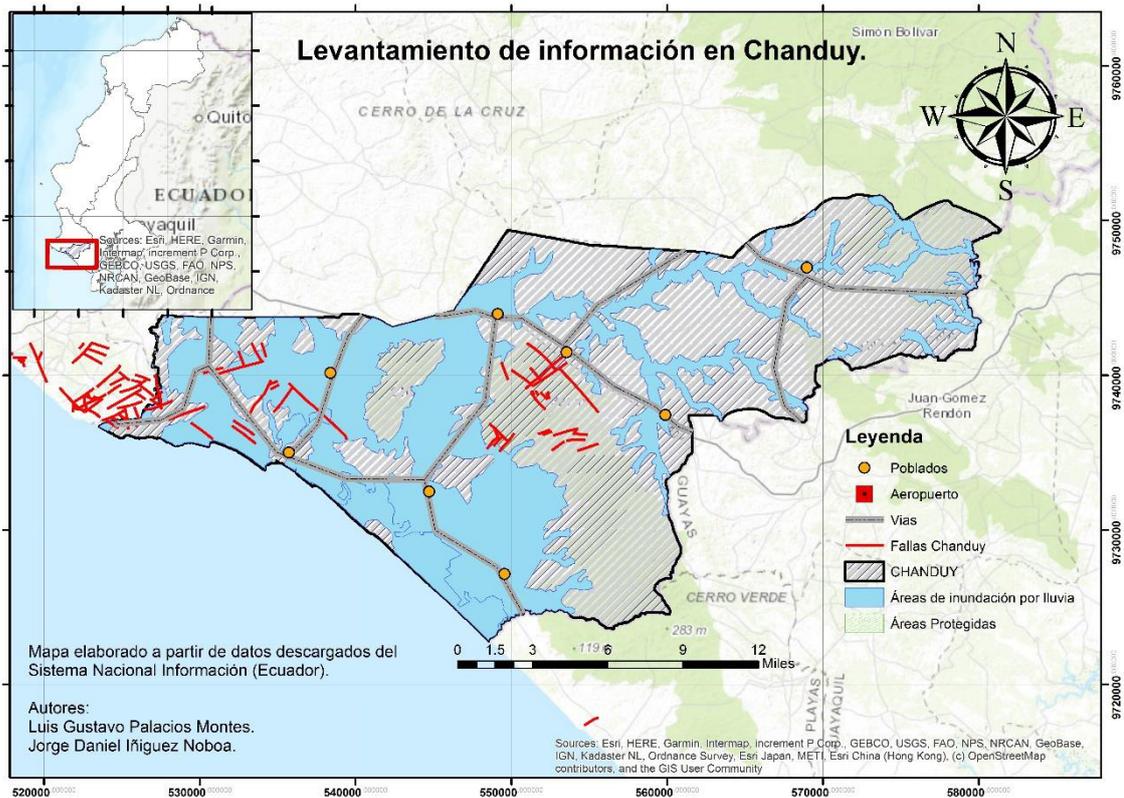
Para la calificación de los parámetros: puertos, sismicidad, tsunamis, clima y meteorología, incremento del nivel del mar, turismo, transporte y oleaje se utiliza investigación bibliográfica disponible.

**Tabla C-14 Parámetros a medir para selección del sitio del Puerto Espacial.**

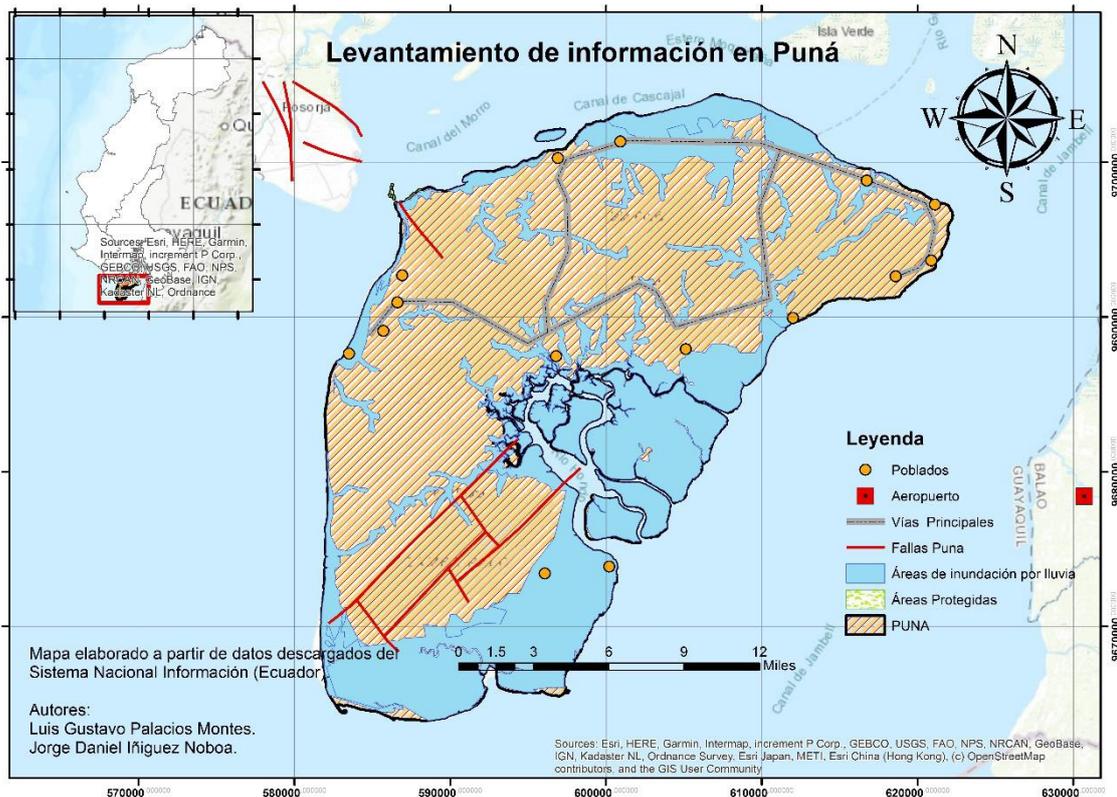
<b>Parámetros</b>
Población
Uso de suelos
Infraestructura vial
Tipo de suelo
Reservas naturales
Puertos y aeropuertos
Fallas y sismicidad
Área
Topografía
Tsunami
Clima y meteorología
Incremento del Nivel del Mar
Turismo
Transporte
Áreas de Inundación por lluvias
Exposición al oleaje



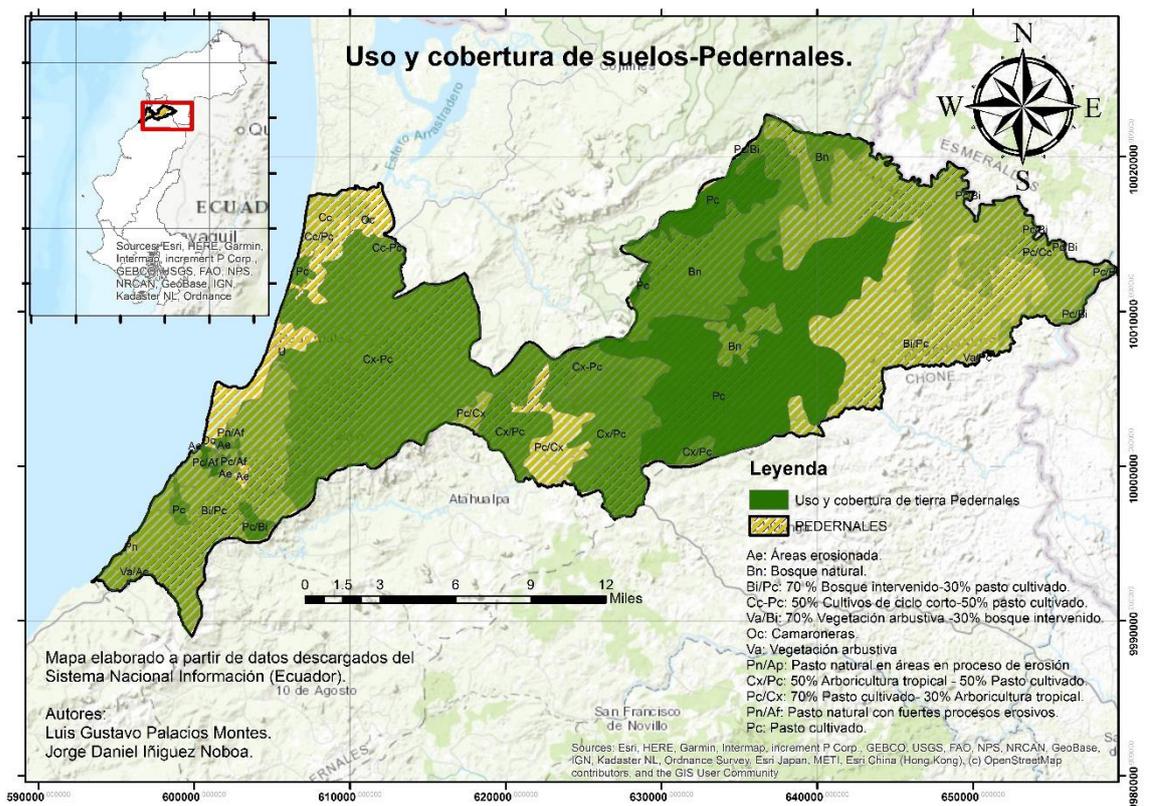
**Imagen C-14 Levantamiento de información - Pedernales.**



**Imagen C-15 Levantamiento de información - Chanduy.**



**Imagen C-16 Levantamiento de información - Puná.**



**Imagen C-17 Uso y cobertura de suelos - Pedernales.**

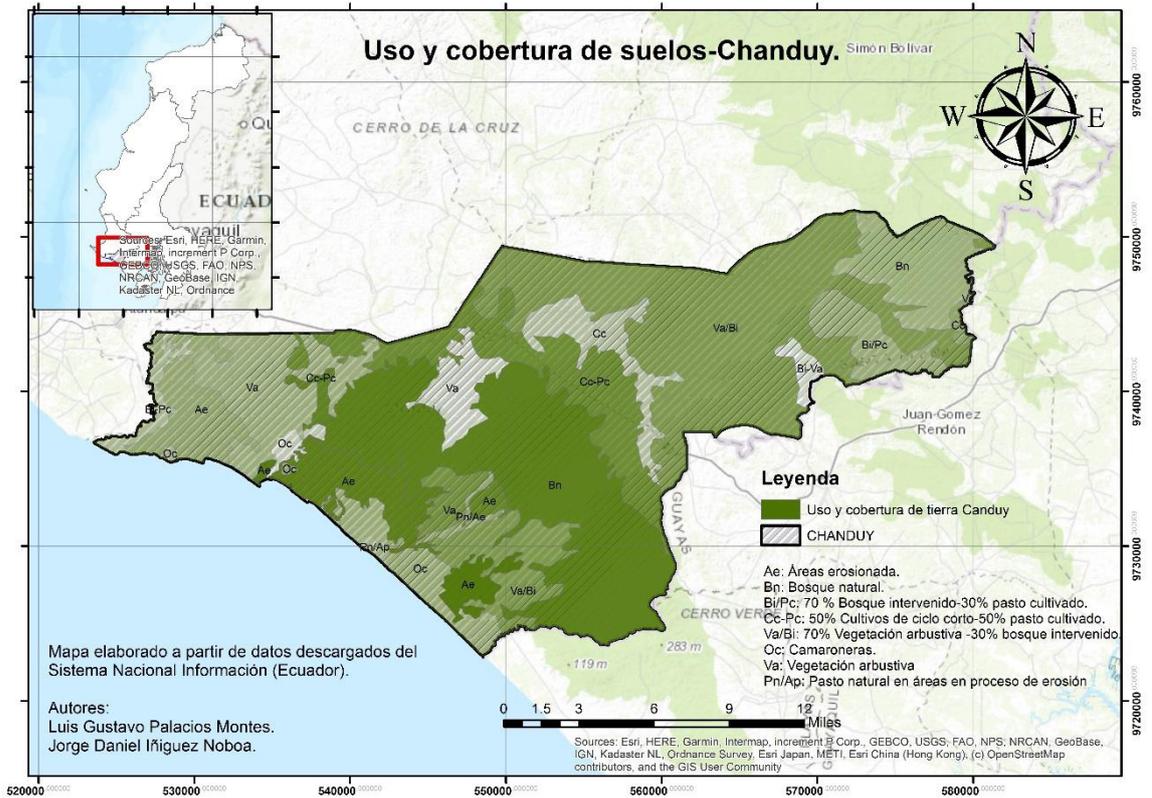


Imagen C-18 Uso y cobertura de suelos - Chanduy.

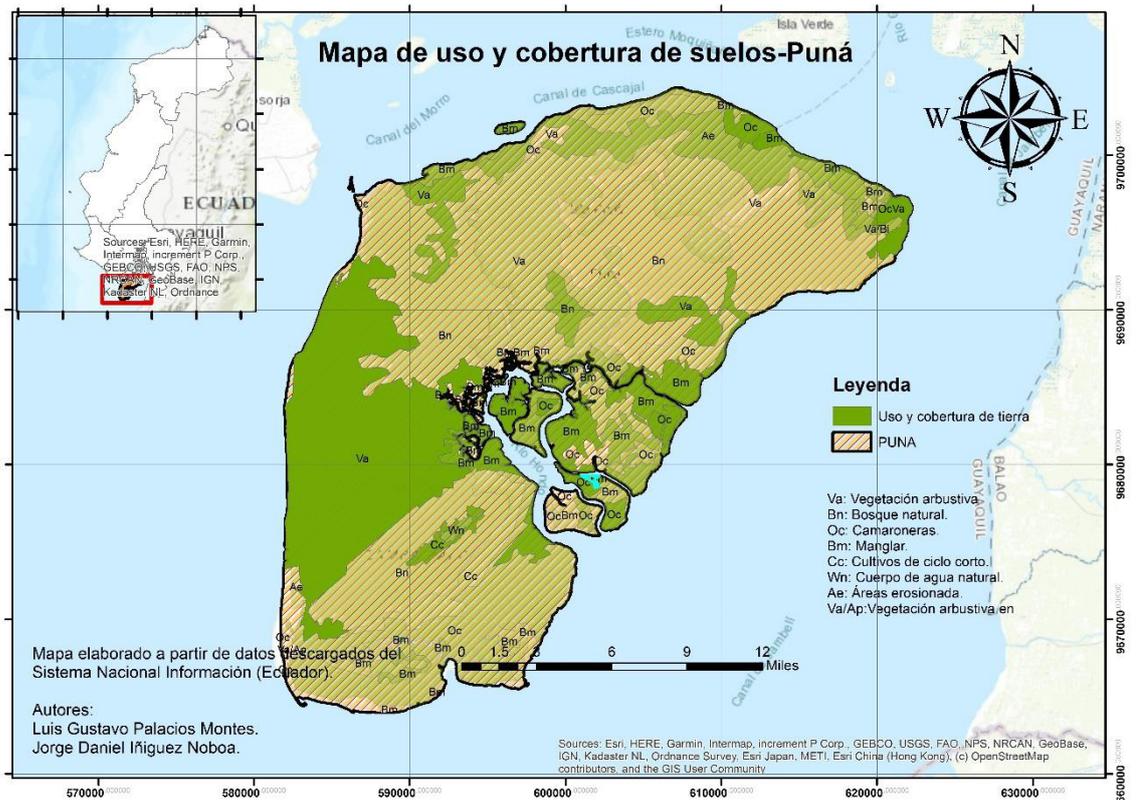


Imagen C-19 Uso y cobertura de suelos - Puná.

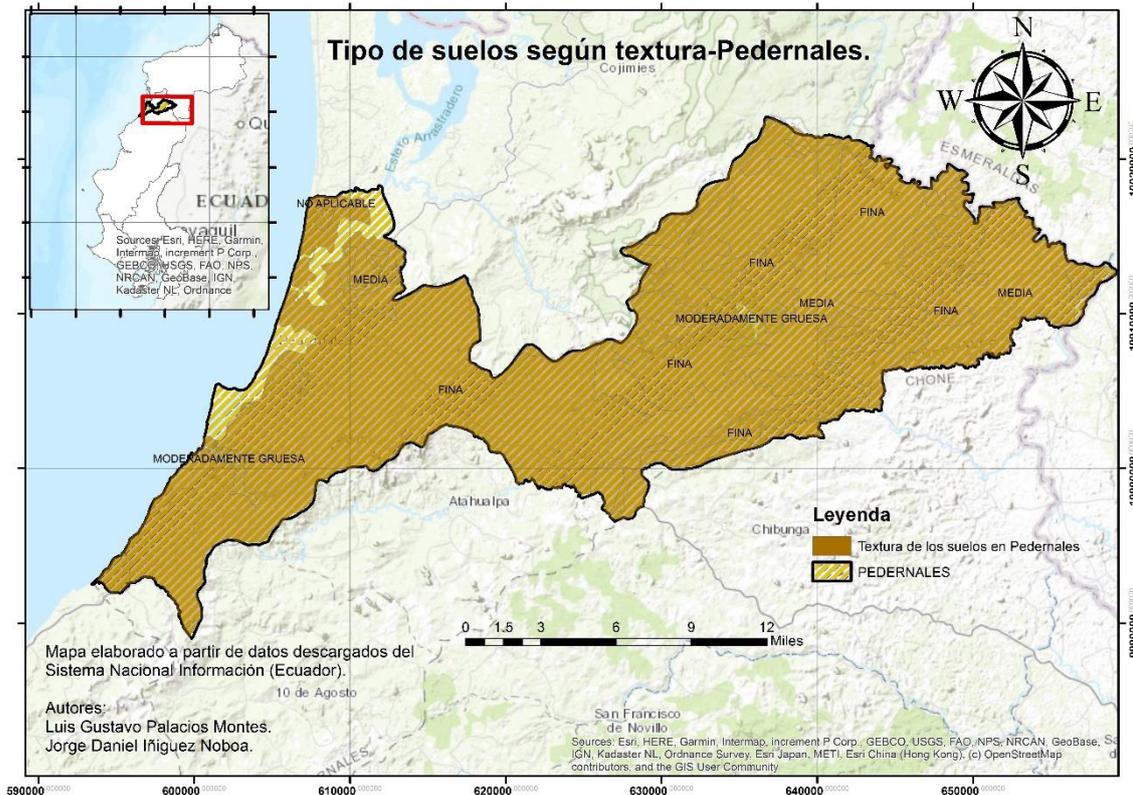


Imagen C-20 Tipo de suelo - Pedernales.

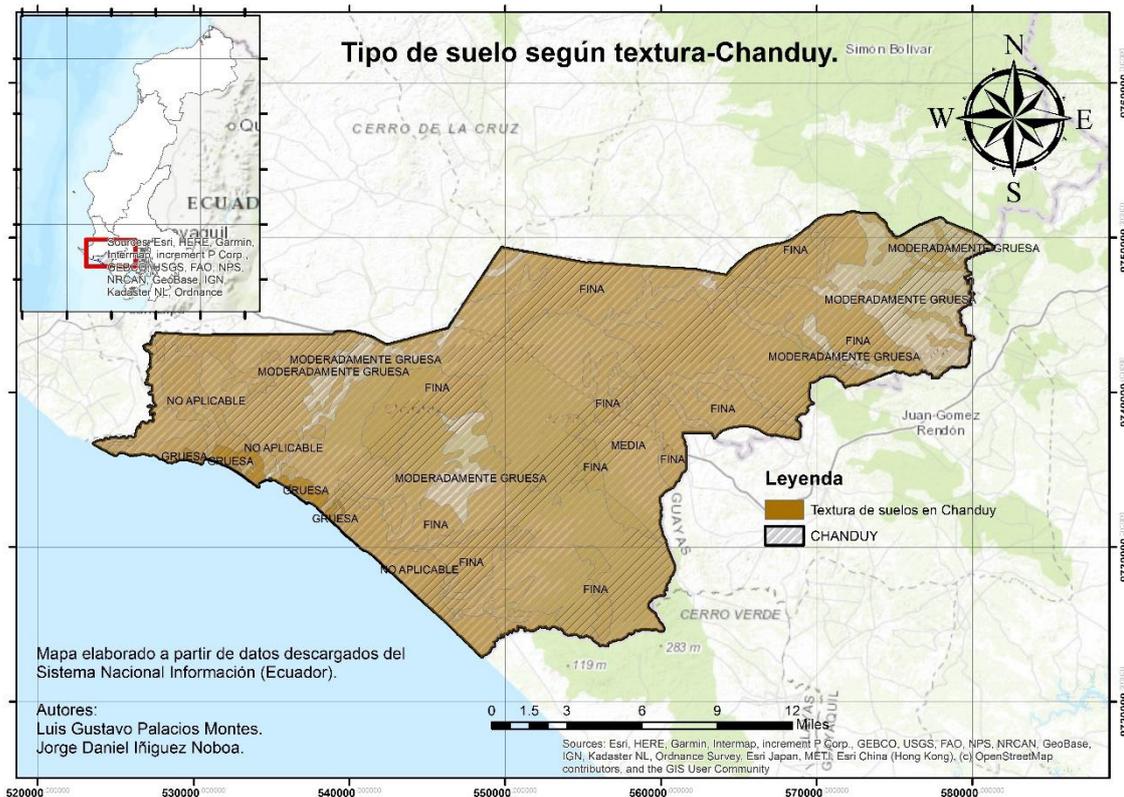
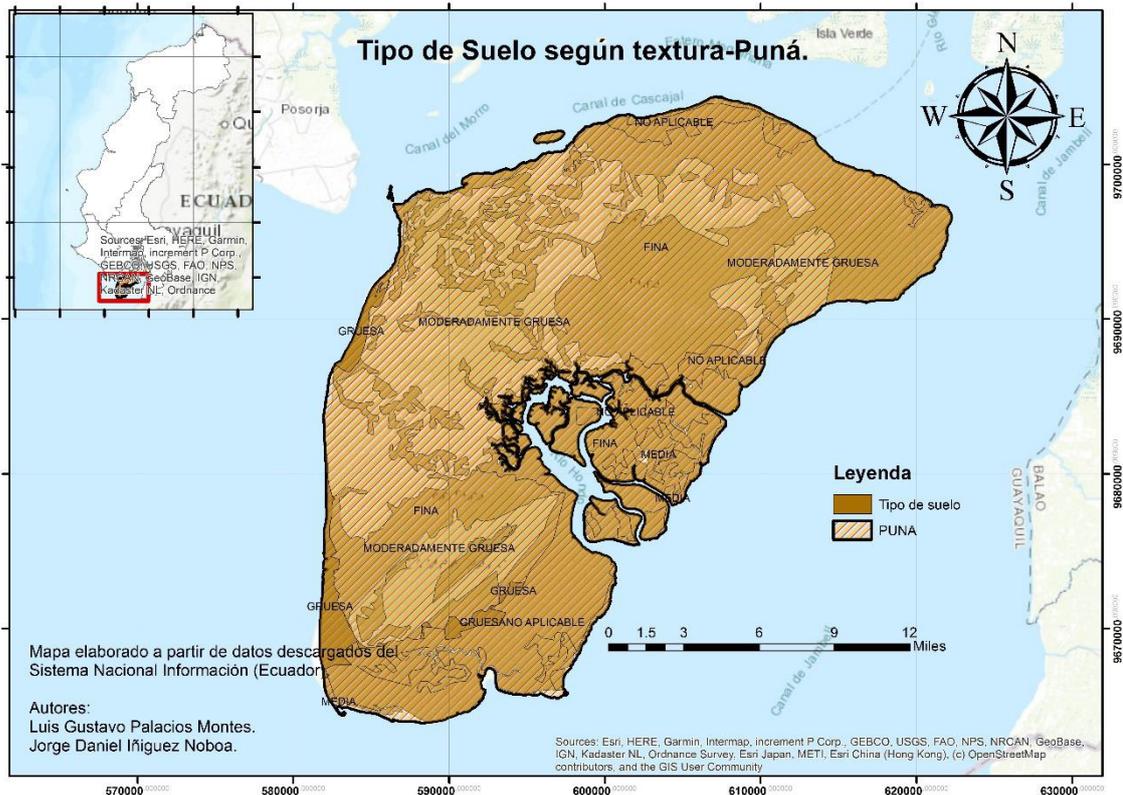
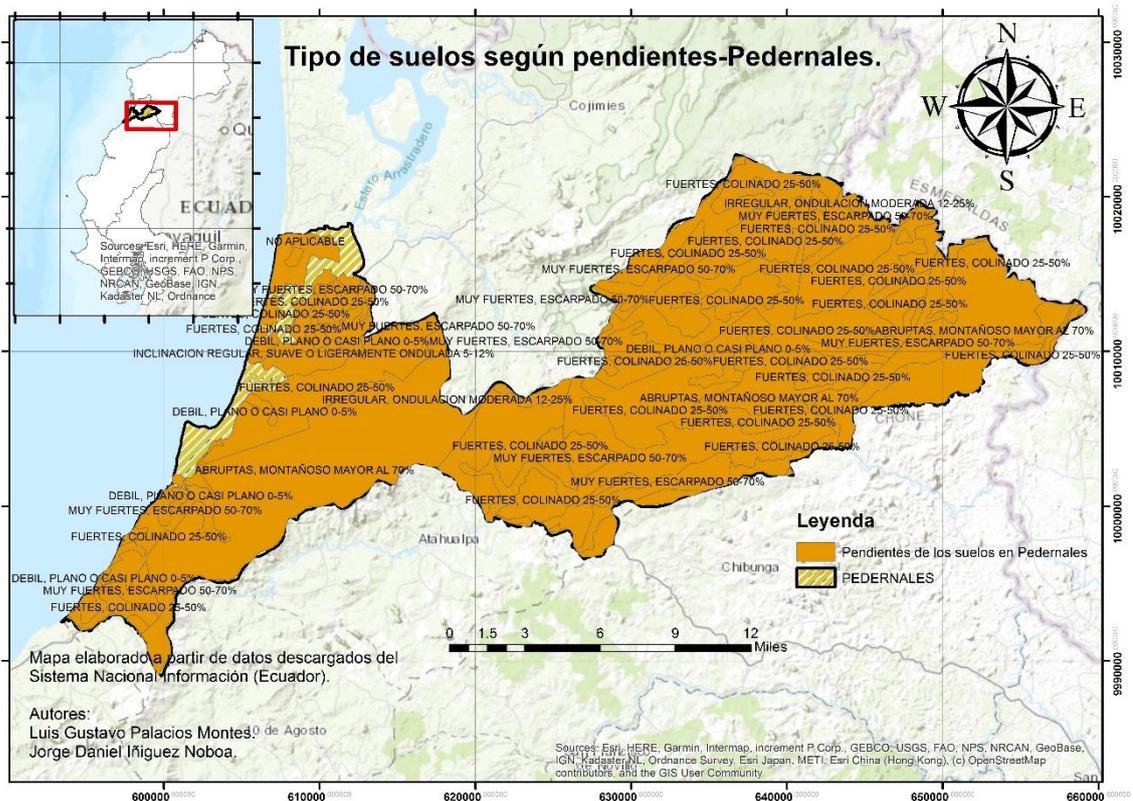


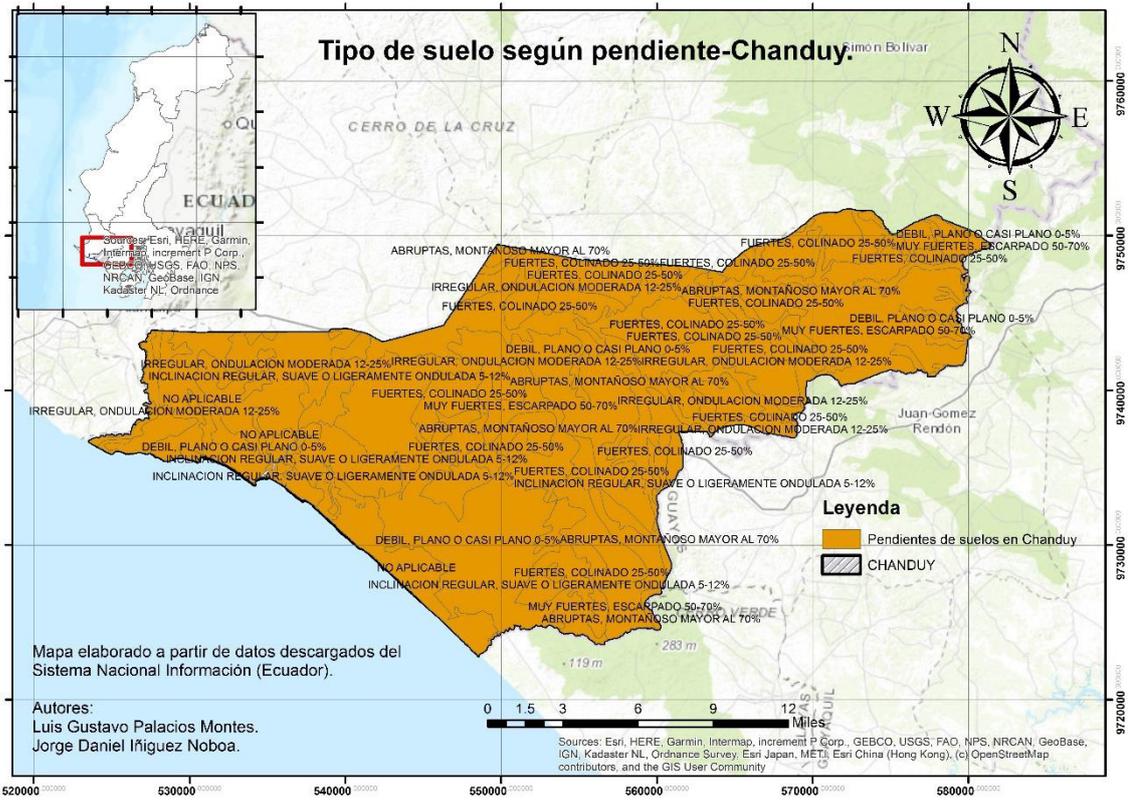
Imagen C-21 Tipo de suelo - Chanduy.



**Imagen C-22 Tipo de Suelo - Puná.**



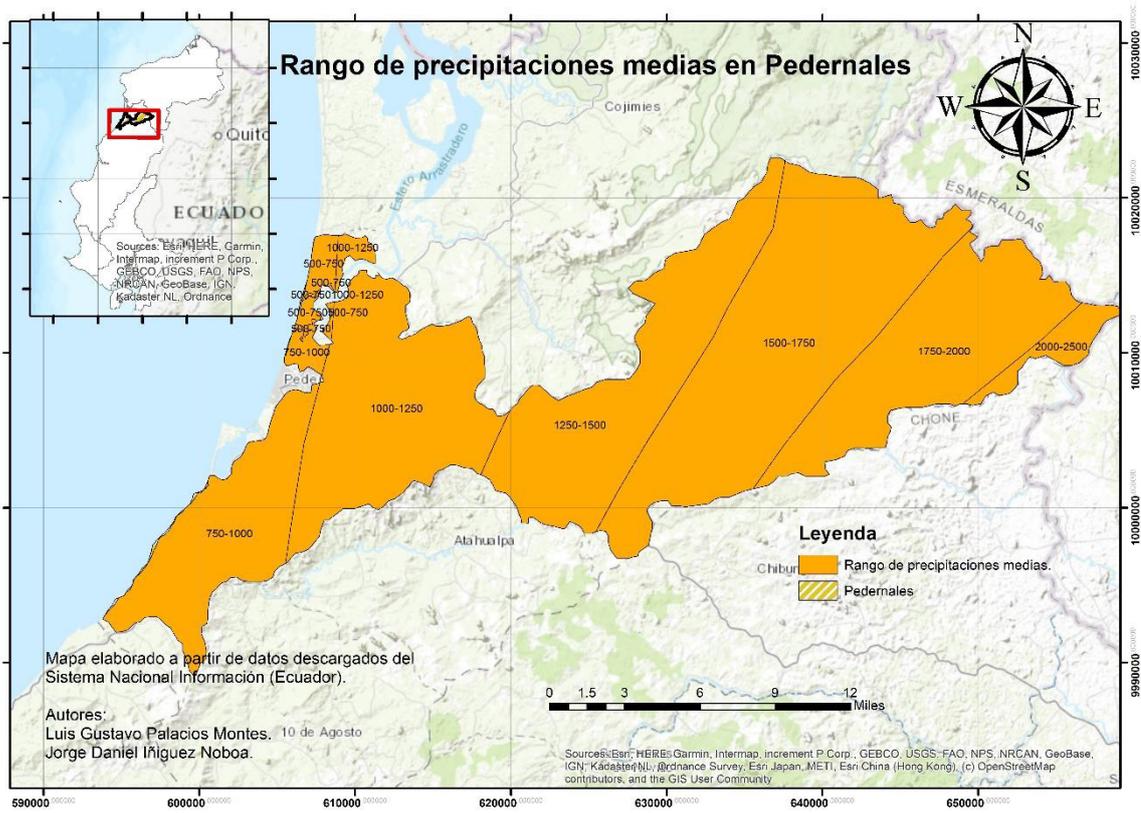
**Imagen C-23 Topografía - Pedernales.**



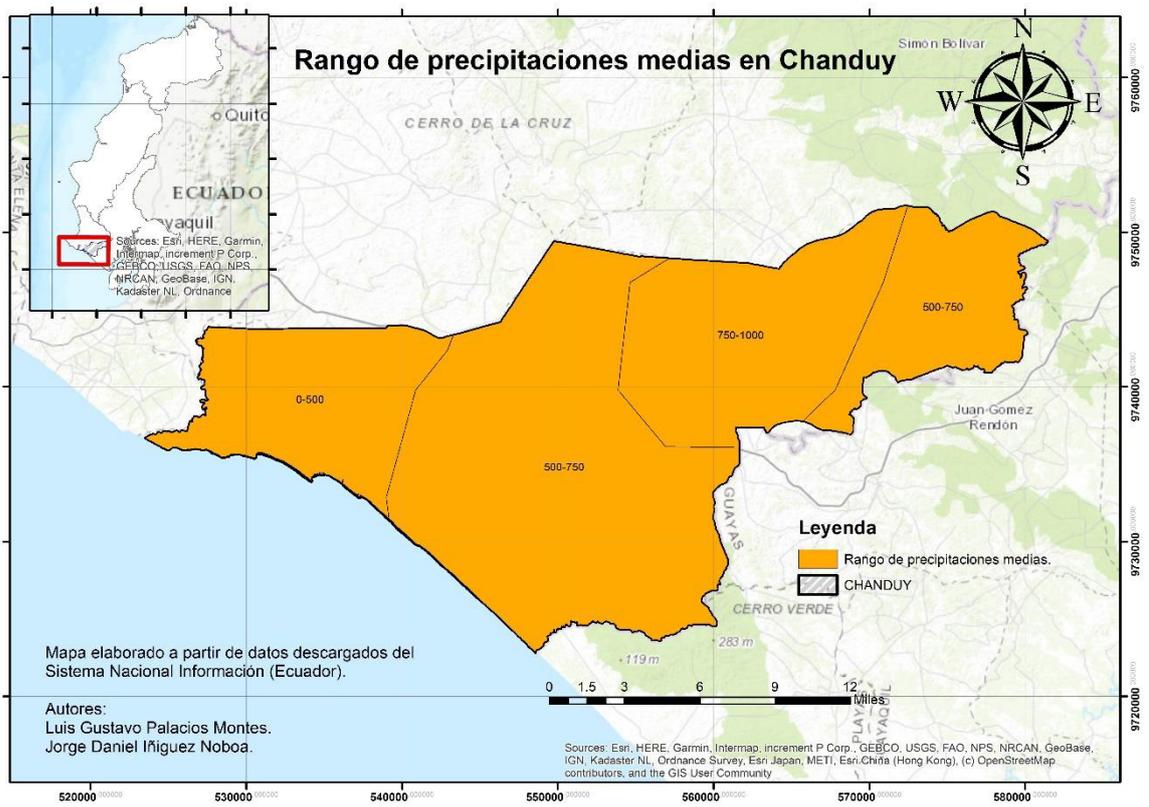
**Imagen C-24 Topografía - Chanduy.**



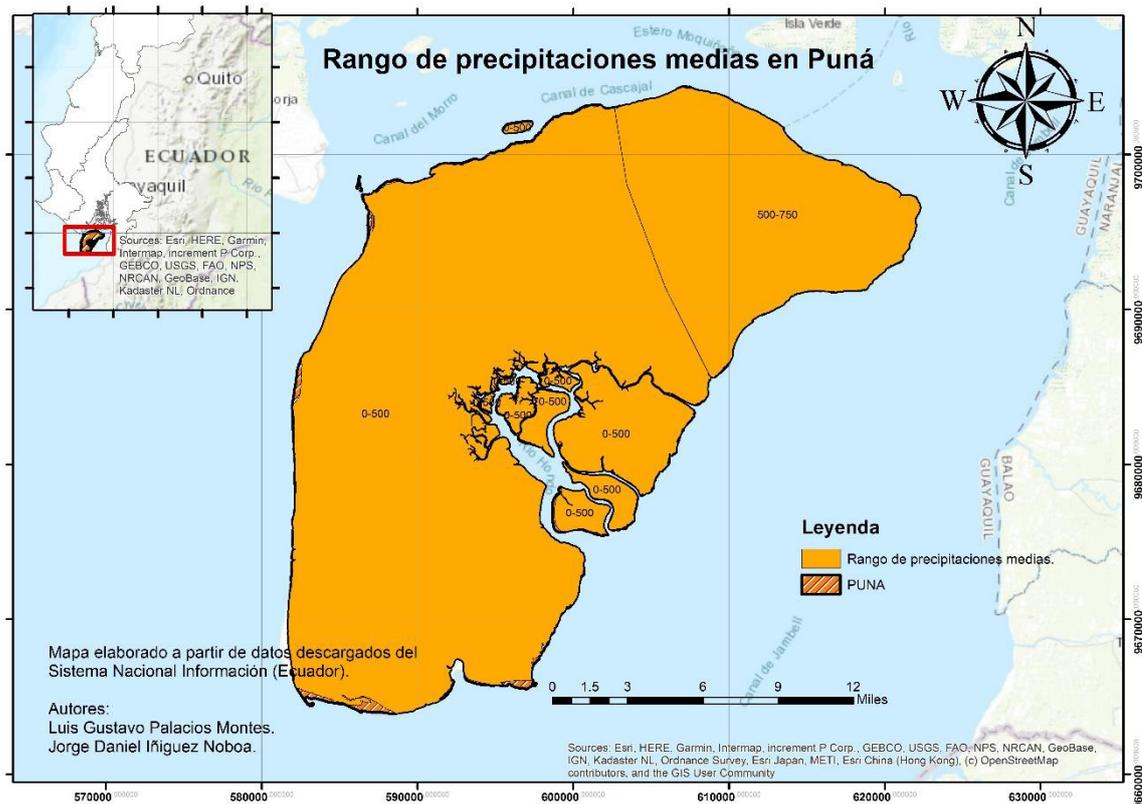
**Imagen C-25 Topografía - Puná.**



**Imagen C-26 Isoyetas de precipitaciones - Pedernales.**



**Imagen C-27 isoyetas de precipitaciones - Chanduy.**



**Imagen C-28 Isoyetas de precipitación - Puná.**

## 2.- CALIFICACIÓN DE PARÁMETROS

Se realiza un análisis para valorar cada uno de los parámetros.

### 2.1.- Población

La población fue calificada como óptima para los valores menores, con la finalidad de no afectarla. De esta manera:

- Pedernales: Posee un área aproximada total de 767.54 Km<sup>2</sup>, de la cual 6.02 Km<sup>2</sup> está poblada. Esto representa el 0.78% del área total. Generando un área sin población de 761.52 Km<sup>2</sup>.
  - Calificación: 3
- Chanduy: Posee un área aproximada total de 769.02 Km<sup>2</sup>, de la cual 4.89 Km<sup>2</sup> está poblada. Esto representa el 0.64% del área total. Generando un área sin población de 764,13 Km<sup>2</sup>.
  - Calificación: 4

- Puná: Posee un área aproximada total de 894.64 Km<sup>2</sup>, de la cual 0.44 Km<sup>2</sup> está poblada. Esto representa el 0.049% del área total. Generando un área sin población de 898,20 Km<sup>2</sup>.
  - Calificación: 5

## **2.2.- Infraestructura vial**

La infraestructura vial fue calificada como óptima por longitud de vía en buen estado. De esta manera:

- Pedernales: Posee aproximadamente 114.79 Km de vía en buen estado.
  - Calificación: 4
- Chanduy: Posee aproximadamente 115.41 Km de vía en buen estado.
  - Calificación: 5
- Puná: Posee aproximadamente 81.00 Km de vía en buen estado
  - Calificación: 1

## **2.3.- Reservas naturales y áreas protegidas**

Las reservas naturales y áreas protegidas fueron calificadas como óptimas en ausencia de estas. De esta manera:

- Pedernales: Posee un área protegida aproximada de 49.90 Km<sup>2</sup> de área protegida, esto representa el 6.50% de su área total.
  - Calificación: 3
- Chanduy: No posee áreas protegidas.
  - Calificación: 5
- Puná: No posee áreas protegidas registrada en el SNAP.
  - Calificación: 5

## **2.4.- Puertos y aeropuertos**

Los puertos y aeropuertos fueron calificados como óptimos para las menores distancia. De esta manera:

- Pedernales: Posee 1 aeropuerto privado y se encuentra aproximadamente a 25Km del Aeropuerto Público Eloy Alfaro de Manta. Se encuentra cerca del puerto Bahía de Caráquez.

- Calificación: 3
- Chanduy: Se encuentra aproximadamente a 46 Km del Aeropuerto Simón Bolívar de Guayaquil. Se encuentra a 36 Km del Puerto de aguas profundas de Posorja.
  - Calificación: 4
- Puná: Se encuentra cerca de 3 aeropuertos privados y a menos de 2 Km del Puerto de aguas profundas de Posorja, pero al otro lado de la orilla.
  - Calificación: 3

## **2.5.- Fallas y sismicidad**

Las fallas se consideraron óptimas en ausencia de estas y sismicidad en zonas sísmicas de riesgo bajo según la imagen C-29. De esta manera:

- Pedernales: No presenta fallas según los archivos del Sistema Nacional de información datos presentados antes del terremoto el 16 de abril del 2016. Se encuentra en una zona sísmica crítica y se evidencia su alta sismicidad como el terremoto del 16 de abril del 2016.
  - Calificación: 1
- Chanduy: Presenta 6 fallas de aproximadamente 5 Km de longitud y más de 7 micros fallas menores a los 5 Km.
  - Calificación: 2
- Puná: Presenta 6 fallas de aproximadamente 4Km cada una.
  - Calificación: 3

## Zonas sísmicas

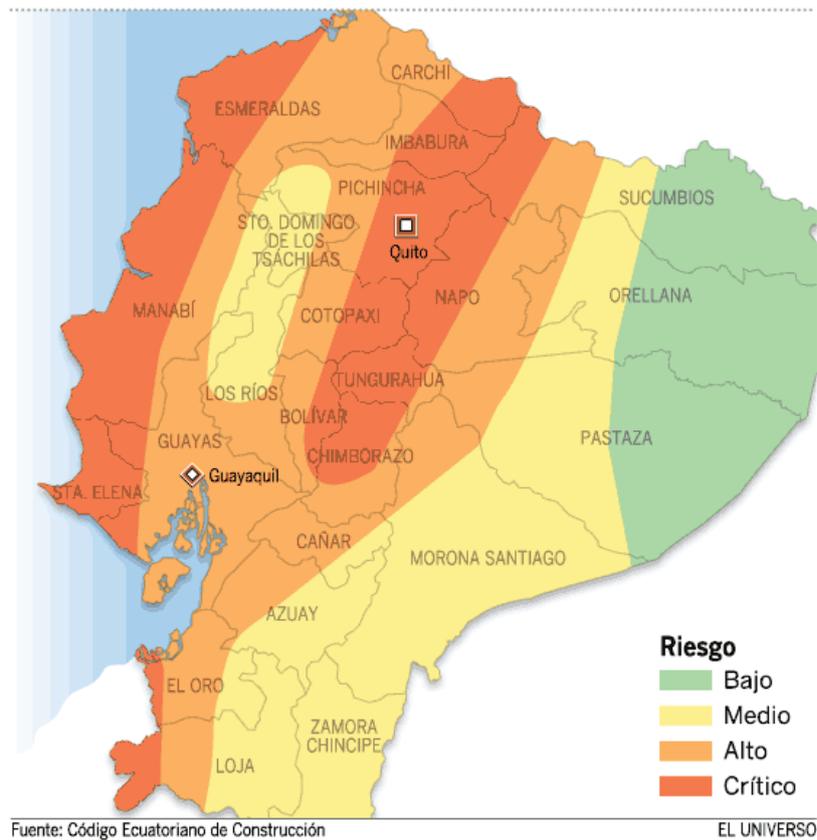


Imagen C-29 Zonas sísmicas del Ecuador. Referencia: Código Ecuatoriano de Construcción

### 2.6.- Áreas de inundación por lluvia

El área de inundación por lluvias se consideró óptima para valores bajos. De esta manera:

- Pedernales: El área de inundación por lluvia representa un 5% del área total.
  - Calificación: 5
- Chanduy: El área de inundación por lluvia representa un 35% del área total.
  - Calificación: 3
- Puná: El área de inundación por lluvia representa un 40% de del área total.
  - Calificación: 2

## 2.7.- Áreas

El área se consideró óptima para aquellas de mayor valor y que cubran el área mínima requerida para la implantación del puerto espacial. De esta manera:

- Pedernales: El área neta es 742.58 Km<sup>2</sup>, sin tomar en cuenta el área de la población y las camaroneras.
  - Calificación: 4
- Chanduy: El área neta es 727.63 Km<sup>2</sup>, sin tomar en cuenta el área de la población y las camaroneras.
  - Calificación: 4
- Puná: El área neta es 685.23 Km<sup>2</sup>, sin tomar en cuenta el área de la población y las camaroneras, pero si el puerto es implementado, tomaría casi todo el terreno de la isla.
  - Calificación: 2

## 2.8.- Uso de suelos

Para uso de suelos se consideró como óptimos valores bajos de camaroneras.

- Pedernales: Posee 18.94 Km<sup>2</sup> de camaroneras, lo que representa el 2.46% del área total. Aproximadamente el 50 % de su área encontramos pasto natural y pasto cultivado, adicionalmente un 20% de arboricultura.
  - Calificación: 4
- Chanduy: Posee 36.5 Km<sup>2</sup> de camaroneras, lo que representa el 4.75% del área total. Aproximadamente el 40 % de área erosionada y pasto natural, adicionalmente 15% de bosque natural.
  - Calificación: 4
- Puná: Posee 208.97 Km<sup>2</sup> de camaroneras, lo que representa el 23.36% del área total. Aproximadamente el 45% representa bosque natural y el 20% de vegetación arbustiva.
  - Calificación: 2

## 2.9.- Tipo de suelo según textura.

El tipo de suelo se consideró óptimo con presencia de textura gruesa. De esa manera:

- Pedernales: El 60% de la textura del suelo es moderadamente gruesa, 6% es media, 30% fina y 4% es suelo de mala calidad en su superficie.
  - Calificación: 4
- Chanduy: El 65% de la textura del suelo es moderadamente gruesa, 10% es gruesa, 10% fina y 15% es suelo de mala calidad en su superficie.
  - Calificación: 4
- Puná: El 40% de la textura del suelo es moderadamente gruesa, 10% es media, 15% fina y 35% es suelo de mala calidad en su superficie.
  - Calificación: 2

## **2.10.- Topografía**

La topografía se consideró óptima al tener suelos altos pero planos. De esta manera:

- Pedernales: Aproximadamente el 50% del área es zona montañosa con valores que alcanzan una altura de 815 metros sobre el nivel medio del mar.
  - Calificación: 2
- Chanduy: Aproximadamente el 40% del área es zona montañosa con valores que alcanzan una altura de 400 metros sobre el nivel medio del mar.
  - Calificación: 3
- Puná: Aproximadamente el 25% del área es zona montañosa con valores que alcanzan una altura de 285 metros sobre el nivel medio del mar.
  - Calificación: 4

## **2.11.- Incremento del nivel del mar.**

Para incremento del nivel del mar, se consideró como óptimo a las zonas que serían menos afectadas. De esta manera:

- Pedernales: Aproximadamente en 50% de su superficie hay lugares altos donde no afectaría el incremento del nivel del mar.
  - Calificación: 4
- Chanduy: Aproximadamente en 40% de su superficie hay zonas altas donde no afectaría el nivel incremento del mar y se encuentran cercanos a la costa.
  - Calificación: 5

- Puná: Aproximadamente en 25% de su superficie hay zonas altas donde no afectaría el nivel incremento del mar.
  - Calificación: 2

## 2.12.- Turismo

En turismo, se consideró como óptimo donde exista el menor porcentaje de turismo:

- Pedernales: Posee los siguientes lugares turísticos: Punta Frailes, Isla del Amor, Reserva Ecológica Mache Chindul, Cascada Coasa, Bosque Protector Cerro Pata de Pájaro, Estuario de Cojimíes, Cascada Chindul, Cascadas del río Tiwa y Avistamiento de Ballenas Jorobadas. Además, de **playas** como: Pedernales, Cojimíes, Carrisal y Cañaveral, por lo cual se le procedió lo que se le procedió a dar una calificación de
  - Calificación: 3
- Chanduy: Posee los siguientes sitios turísticos: Bosque de la Comuna Pechiche, Playa de Chanduy, Playa de la Comuna El Real, Museo de Sitio Cerro Real Alto, Mirador del Cerro Tugaduaja, Museo Arqueológico Real Alto.
  - Calificación: 4
- Puná: Posee los siguientes sitios turísticos: Eco-Campamento “Catoir”. Para acceder a la playa se cruza el Estero Boca por lancha y Festival de Chirimoya
  - Calificación: 4

## 2.13.- Clima y Meteorología

Para clima y meteorología se consideró óptimo aquellos valores de isoyetas menores. De esta manera:

- Pedernales: Según las isoyetas descargadas del sistema nacional de información, el rango de precipitaciones media es de 500 a 1500.
  - Calificación: 3
- Chanduy: Según las isoyetas descargadas del sistema nacional de información, el rango de precipitaciones media es de 0 a 750.
  - Calificación: 4
- Puná: Según las isoyetas descargadas del sistema nacional de información, el rango de precipitaciones media es de 0 a 650.

- Calificación: 4

#### **2.14.- Transporte**

Para transporte se consideró como valores óptimos a distancias menores a Guayaquil y tipo de transporte que accede a la zona.

- Pedernales: Del tipo de transporte que accede existe terrestre y marítimo. La distancia a Guayaquil es aproximadamente 250Km.
  - Calificación: 3
- Chanduy: Del tipo de transporte que accede existe terrestre y marítimo. La distancia a Guayaquil es aproximadamente 89Km.
  - Calificación: 5
- Puná: Del tipo de transporte que accede es marítimo. La distancia a Guayaquil es aproximadamente 82Km.
  - Calificación: 2

#### **2.15.- Tsunami**

Para tsunami se consideró como valores óptimos a las zonas que serían menormente afectados por uno y la menor presencia histórica según [\(INOCAR, 2019\)](#).

- Pedernales: Presenta zonas altas y acantilados bajos. Presenció el evento del 31 de enero de 1906,
  - Calificación: 3
- Chanduy: Presenta zonas altas y acantilados bajos. Presenció el evento del 2 de octubre de 1933
  - Calificación: 3
- Puná: Presenta zonas de baja altura.
  - Calificación: 3

#### **2.16.- Oleaje**

Para oleaje se consideró como valores óptimos a las zonas que tendrían menor altura de ola y mayor longitud de onda de los datos obtenidos del WW3.

- Pedernales: Presenta una altura significativa de ola de 1.70m y periodo de 13s.
  - Calificación: 2
- Chanduy: Presenta una altura significativa de ola de 1.55m y periodo de 13s.
  - Calificación: 3
- Puná: Presenta una altura significativa de ola de 0.15m y periodo de 3s.
  - Calificación: 5

## APÉNDICE D: Asomeramiento de la Ola de Diseño

Para el asomeramiento de la ola de diseño se utilizó la ola con periodo de retorno de 100 años generada por la metodología de Draper, adicionalmente, se realizó el asomeramiento de la H1/10 debido a que es una condición de oleaje incidente más frecuente. Los datos utilizados para el asomeramiento de ola se muestran en la tabla D-15.

**Tabla D-15 Datos de ola para asomeramiento.**

	Ola Extrema	H1/10
Hs [m] (Aguas intermedias)	4.97	2.12
T [s]	13	

Se procede a asomerar las olas siguiendo la metodología planteada en ([SPMII-Coastal Engineering Research Center, 1984](#)).

### 1.- Ola de diseño en aguas profundas

<b>H1/10</b>	<b>Ola Extrema</b>
$\frac{d}{L_0} = \frac{116}{1.56 (13^2)} = 0.44007$	$\frac{d}{L_0} = \frac{116}{1.56 (13^2)} = 0.44007$

*Usando Tabla C-1. SPM Vol. II-84*

$\frac{H}{H_0'} = 0.9832$	$\frac{H}{H_0'} = 0.9832$
$H_0' = 2.16m$	$H_0' = 5.05m$

### 2.- Altura de Rompiente

<b>H1/10</b>	<b>Ola Extrema</b>
$\frac{H_0'}{g T^2} = \frac{2.16}{9.8 (13)^2} = 1.304 \times 10^{-3}$	$\frac{H_0'}{g T^2} = \frac{5.05}{9.8 (13)^2} = 3.049 \times 10^{-3}$

*Usando Fig. 7-3. SPM Vol. II-84 con una pendiente de playa  $m=0.036$*

$\frac{H_b}{H_0'} = 1.60$	$\frac{H_b}{H_0'} = 1.35$
$H_b = 3.456 m$	$H_b = 6.818 m$

### 3.- Profundidad de Rompiente

**H1/10**

$$\frac{H_b}{g T^2} = \frac{3.456}{9.8 (13)^2} = 2.0867 \times 10^{-3}$$

Usando Fig. 7-2. SPM Vol. II-84 con una pendiente de playa  $m=0.036$

$$\frac{d_b}{H_b} = 1.00$$

$$d_b = 3.456 \text{ m}$$

**Ola Extrema**

$$\frac{H_b}{g T^2} = \frac{6.818}{9.8 (13)^2} = 4.1164 \times 10^{-3}$$

$$\frac{d_b}{H_b} = 1.05$$

$$d_b = 7.158 \text{ m}$$

### 4.- Set up de la ola

**H1/10**

$$\frac{H_b}{g T^2} = \frac{3.456}{9.8 (13)^2} = 2.0867 \times 10^{-3}$$

Usando Fig. 3-50. SPM Vol. I-84 con una pendiente de playa  $m=0.036$

$$\frac{S_w}{H_b} = 0.112$$

$$S_w = 0.3871 \text{ m}$$

**Ola Extrema**

$$\frac{H_b}{g T^2} = \frac{6.818}{9.8 (13)^2} = 4.1164 \times 10^{-3}$$

$$\frac{S_w}{H_b} = 0.116$$

$$S_w = 0.7908 \text{ m}$$

### 5.- Cálculo del nivel de agua máximo (D)

$D = \text{marea máxima} + \text{set up de la ola} + \text{cambio climático} + \text{Niño}$

$$D = 1.828 \text{ m} + 0.7908 \text{ m} + 0.95 \text{ m} + 0.47 \text{ m}$$

$$D = 4.04 \text{ m}$$

### 6.- Cálculo del nivel de diseño $d_s$

El nivel de la playa en la base de la estructura = 1m (respecto al nivel medio del mar)

$$d_s = 4.04 \text{ m} - 1 \text{ m} = 3.04 \text{ m}$$

Se utiliza  $d_s = 3.10 \text{ m}$

### 7.- Altura máxima de ola que rompe sobre la estructura.

Ola máxima sobre la estructura

$$\frac{d_s}{g T^2} = \frac{3.10}{9.8 (13)^2} = 1.8718 \times 10^{-3}$$

Usando Fig. 7-4. SPM Vol. II-84 con una pendiente de playa  $m=0.036$

$$\frac{H_b}{d_s} = 1.05$$

$$H_b = 3.255 \text{ m}$$

La altura de ola que se estima impactará sobre la estructura es:

$$H_b = 3.3\text{m} \quad T_p = 13\text{s}$$

## **APÉNDICE E: Costos y Tiempos detallados de Soluciones Ingenieriles**

---

El análisis de costos para la Etapa Soluciones Ingenieriles se basa en la inversión necesaria para implementar cada una de las tres soluciones. Se utilizó la metodología de análisis de precios unitarios y rubros. Los costos detallados y duración teórica para cada solución ingenieril se pueden encontrar en las tablas E-16 a E-18. Los tiempos optimizados se calcularon utilizando el rendimiento de las maquinarias por medio de diagramas de Gantt con el software Microsoft Project, se pueden observar en las imágenes E-30 a E-32.

**Tabla E-16 Presupuesto de obra: Solución A.**

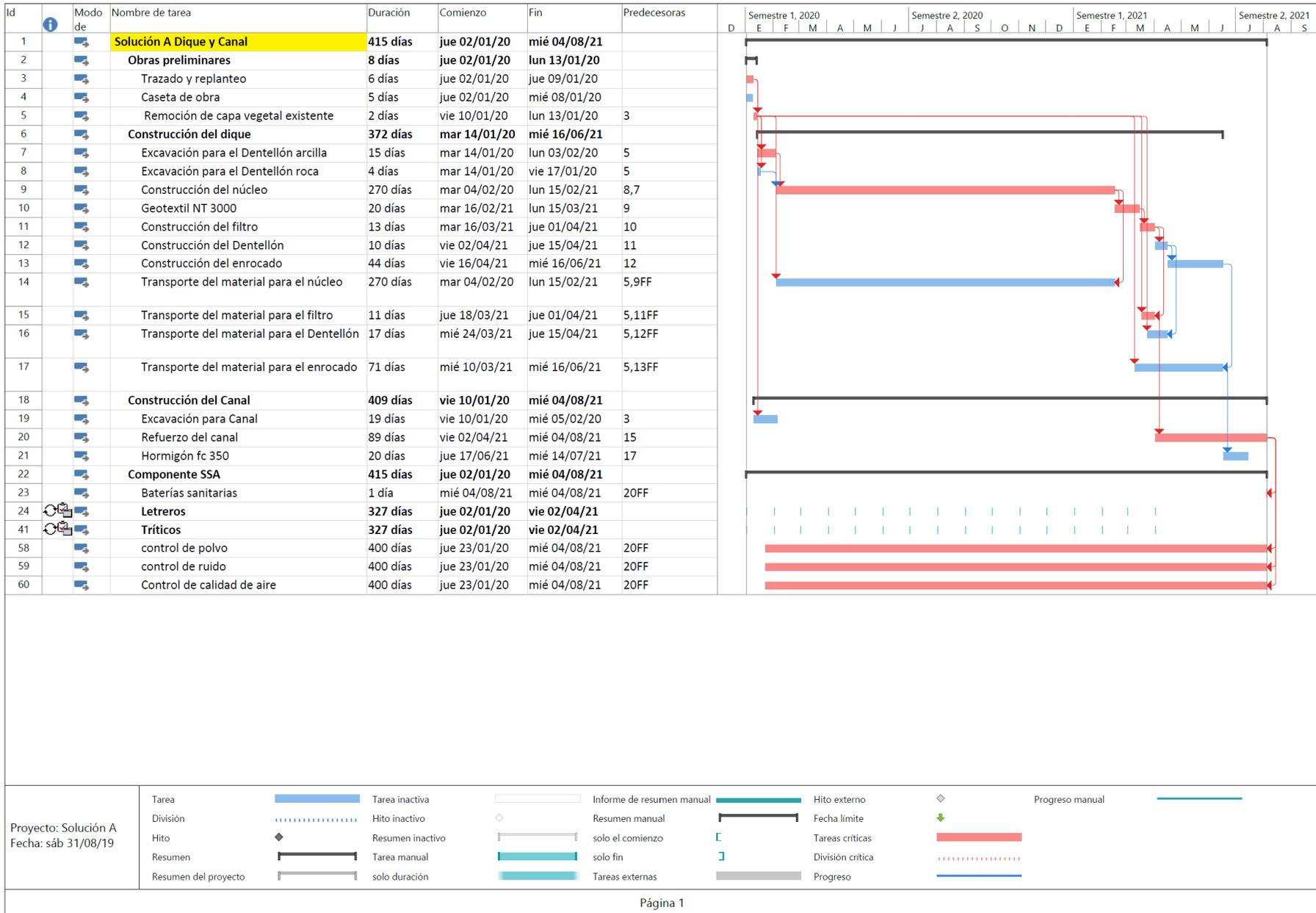
<b>Presupuesto de obra: Solución A</b>						
<b>Código</b>	<b>Rubro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio</b>	<b>Duración teórica [días]</b>
<b>EDT 1</b>		<b>Obras preliminares</b>				
1	Trazado y replanteo	16.55	ha	892.13	14764.75	5.1719
2	Caseta de obra	38	m2	53.23	2022.74	5.2778
3	Remoción de capa vegetal existente	179000	m2	0.17	30430.00	2.2375
<b>EDT 2</b>		<b>Construcción del dique</b>				
4	Geotextil NT 3000	63000	m2	4.8	302400.00	20.1923
5	Excavación para el Dentellón arcilla	70000	m3	1.5	105000.00	14.5833
6	Excavación para el Dentellón roca	18000	m3	1.4	25200.00	3.7500
7	Construcción del núcleo	615600	m3	6.09	3749004.00	197.3077
8	Construcción del filtro	22050	m3	11.97	263938.50	13.3799
9	Construcción del enrocado	136125	m3	4.2	571725.00	43.6298
10	Construcción del Dentellón	31500	m3	4.2	132300.00	10.0962
11	Transporte del material para el núcleo	21546000	m3/km	0.17	3662820.00	269.3250
12	Transporte del material para el filtro	771750	m3/km	0.2	154350.00	11.4844
13	Transporte del material para el enrocado	4764375	m3/km	0.2	952875.00	70.8984
14	Transporte del material para el Dentellón	1102500	m3/km	0.2	220500.00	16.4063
<b>EDT 3</b>		<b>Construcción del Canal</b>				
15	Excavación para Canal	96000	m3	1.33	127680.00	19.04000
16	Refuerzo del canal	106800	kg	10.59	1131012.00	89.00000
17	Hormigón fc 350	16000	m3	300.73	4811680.00	20.00000
<b>EDT 4</b>		<b>Componente SSA</b>				
18	Baterías sanitarias	4	mes	836	3344.00	0.5000
19	Letreros	2	u	448.11	896.22	0.2083
20	Trípticos	2000	u	0.07	140.00	0.5000
21	control de polvo	2	u	3.72	7.44	0.0008
22	control de ruido	2	u	25.84	51.68	0.0147
23	Control de calidad de aire	2	u	25.08	50.16	0.0086
<b>Total</b>					<b>16262191.49</b>	<b>813</b>

**Tabla E-17 Presupuesto de obra: Solución B.**

<b>Presupuesto de obra: Solución B</b>						
<b>Código</b>	<b>Rubro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio</b>	<b>Duración teórica [días]</b>
<b>EDT 1</b>		<b>Obras preliminares</b>				
1	Trazado y replanteo	17.13	ha	892.13	15282.19	5.3531
2	Caseta de obra	38	m2	53.23	2022.74	5.2778
3	Remoción de capa vegetal existente	187800	m2	0.17	31926.00	2.3475
<b>EDT 2</b>		<b>Construcción del dique</b>				
4	Geotextil NT 3000	70000	m2	4.8	336000.00	22.4359
5	Excavación para el Dentellón arcilla	70000	m3	1.5	105000.00	15.6250
6	Excavación para el Dentellón roca	20000	m3	1.5	30000.00	4.4643
7	Construcción del núcleo	684000	m3	6.24	4268160.00	225.0000
8	Construcción del filtro	24500	m3	12.33	302085.00	15.3125
9	Construcción del enrocado	151250	m3	4.76	719950.00	49.7533
10	Construcción del Dentellón	35000	m3	4.76	166600.00	11.5132
11	Transporte del material para el núcleo	27360000	m3/km	0.21	5745600.00	427.5000
12	Transporte del material para el filtro	980000	m3/km	0.26	254800.00	19.1406
13	Transporte del material para el enrocado	6050000	m3/km	0.26	1573000.00	118.1641
14	Transporte del material para el Dentellón	1400000	m3/km	0.26	364000.00	27.3438
<b>EDT 3</b>		<b>Construcción del Canal</b>				
15	Excavación para Canal	86400	m3	1.33	114912.00	17.14000
16	Refuerzo del canal	96120	kg	10.59	1017910.80	80.10000
17	Hormigón fc 350	14400	m3	300.73	4330512.00	18.00000
<b>EDT 4</b>		<b>Componente SSA</b>				
18	Baterías sanitarias	4	mes	836	3344.00	0.5000
19	Letreros	2	u	448.11	896.22	0.2083
20	Trípticos	2000	u	0.07	140.00	0.5000
21	control de polvo	2	u	3.72	7.44	0.0008
22	control de ruido	2	u	25.84	51.68	0.0147
23	Control de calidad de aire	2	u	25.08	50.16	0.0086
<b>Total</b>					<b>19382250.23</b>	<b>1066</b>

Tabla E-18 Presupuesto de obra: Solución C.

Presupuesto de obra: Solución C						
Código	Rubro	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio	Duración teórica [días]
<b>EDT 1</b>		<b>Obras preliminares</b>				
1	Trazado y replanteo	32.12	ha	903.31	29014.32	10.2949
2	Caseta de obra	56	m2	53.23	2980.88	7.7778
3	Remoción de capa vegetal existente	345000	m2	0.17	58650.00	4.3125
<b>EDT 2</b>		<b>Construcción del dique</b>				
4	Geotextil NT 3000	112000	m2	4.8	537600.00	35.8974
5	Excavación para el Dentellón arcilla	112000	m3	1.38	154560.00	22.9508
6	Excavación para el Dentellón roca	32000	m3	1.38	44160.00	6.5574
7	Construcción del núcleo	1094400	m3	5.8	6347520.00	664.0777
8	Construcción del filtro	39200	m3	11.97	469224.00	24.5000
9	Construcción del enrocado	242000	m3	4.43	1072060.00	73.7805
10	Construcción del Dentellón	56000	m3	4.43	248080.00	17.0732
11	Transporte del material para el núcleo	38304000	m3/km	0.19	7277760.00	684.0000
12	Transporte del material para el filtro	1372000	m3/km	0.24	329280.00	24.5000
13	Transporte del material para el enrocado	8470000	m3/km	0.24	2032800.00	151.2500
14	Transporte del material para el Dentellón	1960000	m3/km	0.24	470400.00	35.0000
<b>EDT 3</b>		<b>Construcción del Canal</b>				
15	Excavación para Canal	240000	m3	1.33	319200.00	47.61000
16	Refuerzo del canal	267000	kg	10.59	2827530.00	222.50000
17	Hormigón fc 350	40000	m3	300.73	12029200.00	50.00000
<b>EDT 4</b>		<b>Componente SSA</b>				
18	Baterías sanitarias	4	mes	836	3344.00	0.5000
19	Letreros	2	u	448.11	896.22	0.2083
20	Trípticos	2000	u	0.07	140.00	0.5000
21	control de polvo	2	u	3.72	7.44	0.0008
22	control de ruido	2	u	25.84	51.68	0.0147
23	Control de calidad de aire	2	u	25.08	50.16	0.0086
<b>Total</b>					<b>34254508.70</b>	<b>2083</b>



**Imagen E-30 Cronograma Solución A: Dique y Canal.**

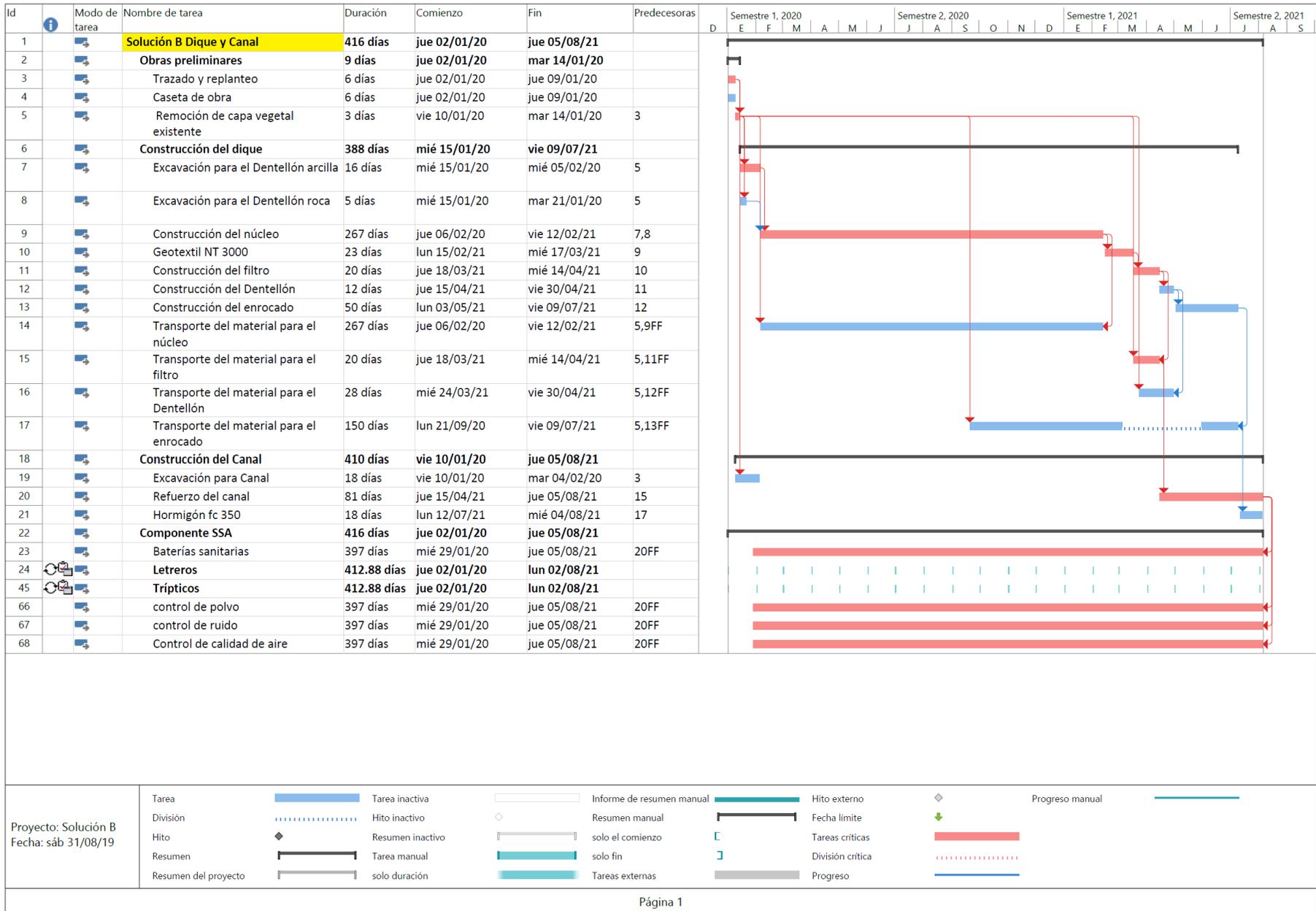


Imagen E-31 Cronograma Solución B: Dique y Canal.

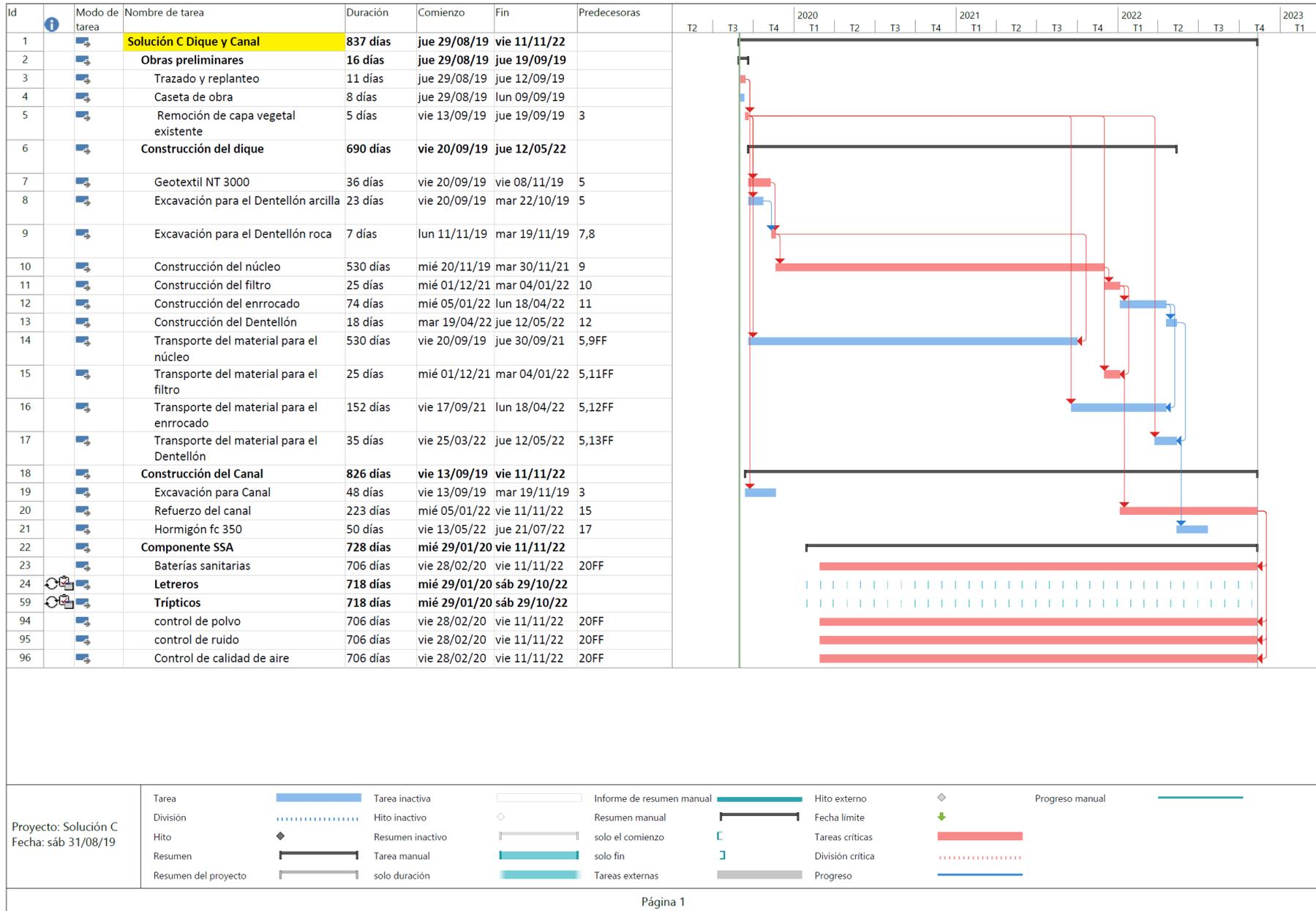


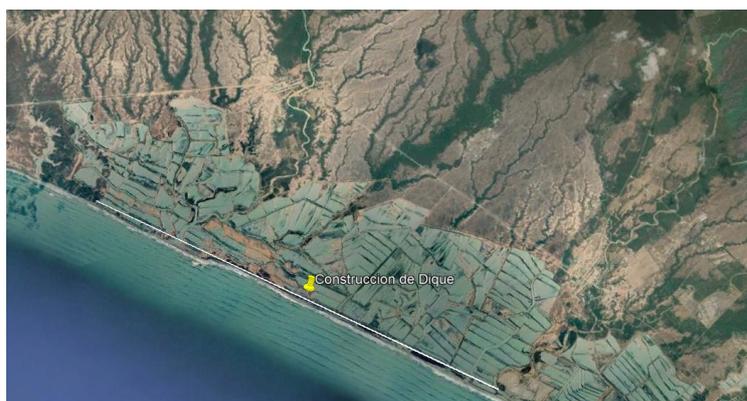
Imagen E-32 Cronograma Solución C: Dique y Canal.

## APÉNDICE F: Evaluación de Impacto Ambiental

---

### 1.- Antecedentes

El proyecto se encuentra ubicado en la Provincia de Santa Elena, Parroquia Rural Chanduy, donde actualmente existen camaroneras como se observa en la imagen F-33. Las coordenadas del proyecto se encuentran en la tabla F-19.



**Imagen F-33 Ubicación del Proyecto.**

**Tabla F-19 Coordenadas del Proyecto.**

Sistema	Datum	Componentes	Coordenadas	
			Metros este	Metros Norte
<b>Coordenadas</b>	Horizontal	Coordenadas	542711.00	9728542.00
<b>UTM</b>	WGS	Elevación	Nivel del mar	
<b>Zona 17 Sur</b>	1984			

Según la ley de gestión ambiental, el Art. 19 Capítulo II DE LA EVALUACION DE IMPACTO Y CONTROL AMBIENTAL, establece que los proyectos de inversión pública o privada y las obras públicas, privadas o mixtas que ocasionen impactos ambientales, se los calificará previamente a su ejecución, por organismos descentralizados de control, como lo amerita el SUIA.

Se debe considerar el Libro VI del TULSMA con los acuerdos ministeriales 028 y 061, el cual nos indica los pasos a seguir por parte del promotor del proyecto, mostrados en la tabla F-20.

**Tabla F-20 Reformas del Libro VI del TULSMA.**

<b>Acuerdo Ministerial (Art. 028)</b>	<b>Acuerdo Ministerial (Art. 061)</b>	<b>Pasos por seguir</b>
<b>Categoría I</b>	Certificado Ambiental	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Emisión del Certificado Ambiental</li> <li>2. Descarga de la Guía Buenas Prácticas Ambiental</li> </ol>
<b>Categoría II</b>	Registro Ambiental	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Certificado de intersección</li> <li>2. Descarga del Plan de Manejo Ambiental</li> <li>3. Pago de servicios administrativos</li> <li>4. Emisión de Registro Ambiental</li> </ol>
<b>Categoría III</b>	Licencia Ambiental	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Certificado de intersección</li> <li>2. Descarga de Términos de Referencia</li> <li>3. Estudio de Impacto Ambiental</li> <li>4. Proceso de Participación Social.</li> <li>5. Plan de Manejo Ambiental</li> </ol>
<b>Categoría IV</b>		<ol style="list-style-type: none"> <li>6. Pago de servicios administrativos y presentación de pólizas de fiel cumplimiento</li> <li>7. Emisión de Licencia Ambiental</li> </ol>

## **2.- Proyecto**

El proyecto consiste en la construcción de un dique Rompeolas, con su respectivo canal, en la Costa de Chanduy-Santa Elena, cuya área de construcción es de 240000 m<sup>2</sup>; tratando de aprovechar la arcilla presente en la zona para reducir el impacto ambiental.

Por estos motivos, el proyecto se ubica en la Categoría I según el Acuerdo Ministerial 028, sin ser de carácter obligatorio. Pero se requiere que una persona encargada llene el formulario de registro en la página oficial del SUIA.

## **3.- Registro**

A continuación, se presenta el registro en la página del SUIA, en el cual nos muestra el trámite correspondiente a nuestra actividad. Se observa en la imagen F-34.

Actividad \* ? ✓ Seleccionar

Antes de continuar, debe identificar la actividad económica a realizar/realizada en su obra o proyecto.

Descripción de la actividad	CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE GAVIONES Y ESCOLLERAS
Su trámite corresponde a un(a)	CERTIFICADO AMBIENTAL
Tiempo de emisión	Inmediato.
Costo del trámite	No tiene. (Tiene un costo si existe remoción de cobertura vegetal nativa)

**Imagen F-34 Registro del Proyecto según actividad.**

Según la actividad, nuestro proyecto corresponde a un Certificado Ambiental, con un área de 240000 m<sup>2</sup>, por esta razón se recomienda el uso de la Guía de buenas prácticas ambientales.

Las características del proyecto como la actividad a realizar, ubicación geográfica, dirección del proyecto y coordenadas; se detallan en la imagen F-35.

**Detalles del Proyecto**

Código	MAE-RA-2019-436079	Sector	Otros Sectores
Fecha de registro	29/08/2019	Superficie	240000.0 m2
Proponente	PALACIOS MONTES LUIS GUSTAVO	Ramoción Cobertura Vegetal Nativa	Si
Ente responsable	GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO PROVINCIAL DE SANTA ELENA		

Nombre del Proyecto, obra o actividad: Construcción de Dique Rompeolas en la Costa de Chanduy.

Resumen del Proyecto, obra o actividad: El siguiente proyecto tiene como finalidad la construcción de un Dique Rompeolas, en la localidad de Chanduy, para la protección de un Puerto Espacial ante el

---

**Actividad**

Descripción de la actividad	CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE GAVIONES Y ESCOLLERAS
Su trámite corresponde a un(a)	CERTIFICADO AMBIENTAL
Tiempo de emisión	Inmediato.
Costo del trámite	No tiene. (Tiene un costo si existe remoción de cobertura vegetal nativa)

---

**Ubicación geográfica**

Tipo de zona: Rural

Provincia	Cantón	Parroquia
SANTA ELENA	SANTA ELENA	CHANDUY

---

**Dirección del proyecto, obra o actividad**

Chanduy (Santa Elena)

---

**Sistema de referencias (Formato: sistema WGS84, zona 17S)**

Formato de Coordenadas: WGS84

Grupo de coordenadas 1 (Polígono)					
Shape	X	Y	Tipo	Descripción	Zona
1	539160	9731627	Polígono	Inicio del levantamiento	17S
2	539170	9731639	Polígono		17S
3	545936	9725607	Polígono		17S
4	545916	9725585	Polígono		17S
5	539160	9731627	Polígono	Punto de cierre	17S

**Imagen F-35 Datos del proyecto.**

## 4.- Certificado de intersección

Por medio del SUIA, se pudo identificar que le proyecto no intersecciona en ningún área protegida basado en el oficio MAE-SUIA-RA-DPASE-2019-204280 y el mapa de Certificado de Intersección que se observan en las imágenes F-36 y F-37 respectivamente.

MINISTERIO DEL AMBIENTE

  EL GOBIERNO DE TODOS

MAE-SUIA-RA-DPASE-2019-204280  
SANTA ELENA, jueves 29 de agosto de 2019

Sr. Proponente  
PALACIOS MONTES LUIS GUSTAVO  
En su despacho

**CERTIFICADO DE INTERSECCIÓN CON EL SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS (SNAP), PATRIMONIO FORESTAL DEL ESTADO (PFE), BOSQUES Y VEGETACIÓN PROTECTORA (BVP), PARA EL PROYECTO:**  
**"CONSTRUCCIÓN DE DIQUE ROMPEOLAS EN LA COSTA DE CHANDUY., UBICADO EN LA/S PROVINCIA/S DE (SANTA ELENA)"**

**1.- ANTECEDENTES**

Con la finalidad de obtener el Certificado de Intersección con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), Patrimonio Forestal del Estado (PFE), Bosques y Vegetación Protectora (BVP), el/la Sr. PALACIOS MONTES LUIS GUSTAVO como Proponente del proyecto obra o actividad, solicita a esta Cartera de Estado, emitir el Certificado de Intersección para el Proyecto: CONSTRUCCIÓN DE DIQUE ROMPEOLAS EN LA COSTA DE CHANDUY., ubicado en la/s provincia/s de (SANTA ELENA).

**2.- ANÁLISIS DE LA DOCUMENTACIÓN PRESENTADA**

El señor/a proponente, remite la información del proyecto, obra o actividad en coordenadas UTM en el sistema de referencia DATUM: WGS-84 Zona 17 Sur, la misma que es sobrepuesta automáticamente por el Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) con las coberturas geográficas oficiales del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), Patrimonio Forestal del Estado (PFE), Bosques y Vegetación Protectora (BVP) del Ministerio del Ambiente.

Del análisis automático de la información a través del Sistema SUIA, se obtiene que el proyecto, obra o actividad CONSTRUCCIÓN DE DIQUE ROMPEOLAS EN LA COSTA DE CHANDUY., ubicado en la/s provincia/s de (SANTA ELENA), **NO INTERSECTA** con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), Patrimonio Forestal del Estado (PFE), Bosques y Vegetación Protectora (BVP).

**3.- CERTIFICADO DE INTERSECCIÓN AUTOMÁTICO**

En base al Acuerdo Ministerial No. 389 del 08 de diciembre de 2014, en el cual se establece que el Director Nacional de Prevención de la Contaminación Ambiental suscribirá a Nivel Nacional los Certificados de Intersección.

**4.- CATÁLOGO DE PROYECTOS, OBRAS O ACTIVIDADES:**

De la información remitida por, Sr. PALACIOS MONTES LUIS GUSTAVO como Proponente del proyecto, obra o actividad; y de acuerdo al Catálogo de Proyectos, Obras o Actividades emitido mediante acuerdo Ministerial No. 061 del 04 de mayo del 2015, publicado en el Registro Oficial No. 316 del lunes 04 de mayo del 2015, se determina  
41.03.08 CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE GAVIONES Y ESCOLLERAS, corresponde a: **CERTIFICADO AMBIENTAL.**

**5.- CÓDIGO DE PROYECTO:** MAE-RA-2019-436023

El trámite de Regularización Ambiental de su proyecto debe continuar en GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO PROVINCIAL DE SANTA ELENA, localizado en la Jurisdicción Territorial de la Provincia

Atentamente,



Ing. ROBERTO ENRIQUE GAVILANEZ TORRES  
DIRECTOR NACIONAL DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL, SUBROGANTE

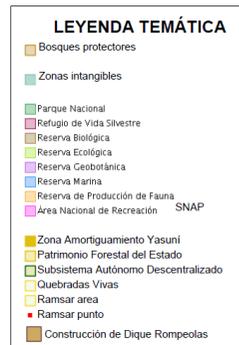
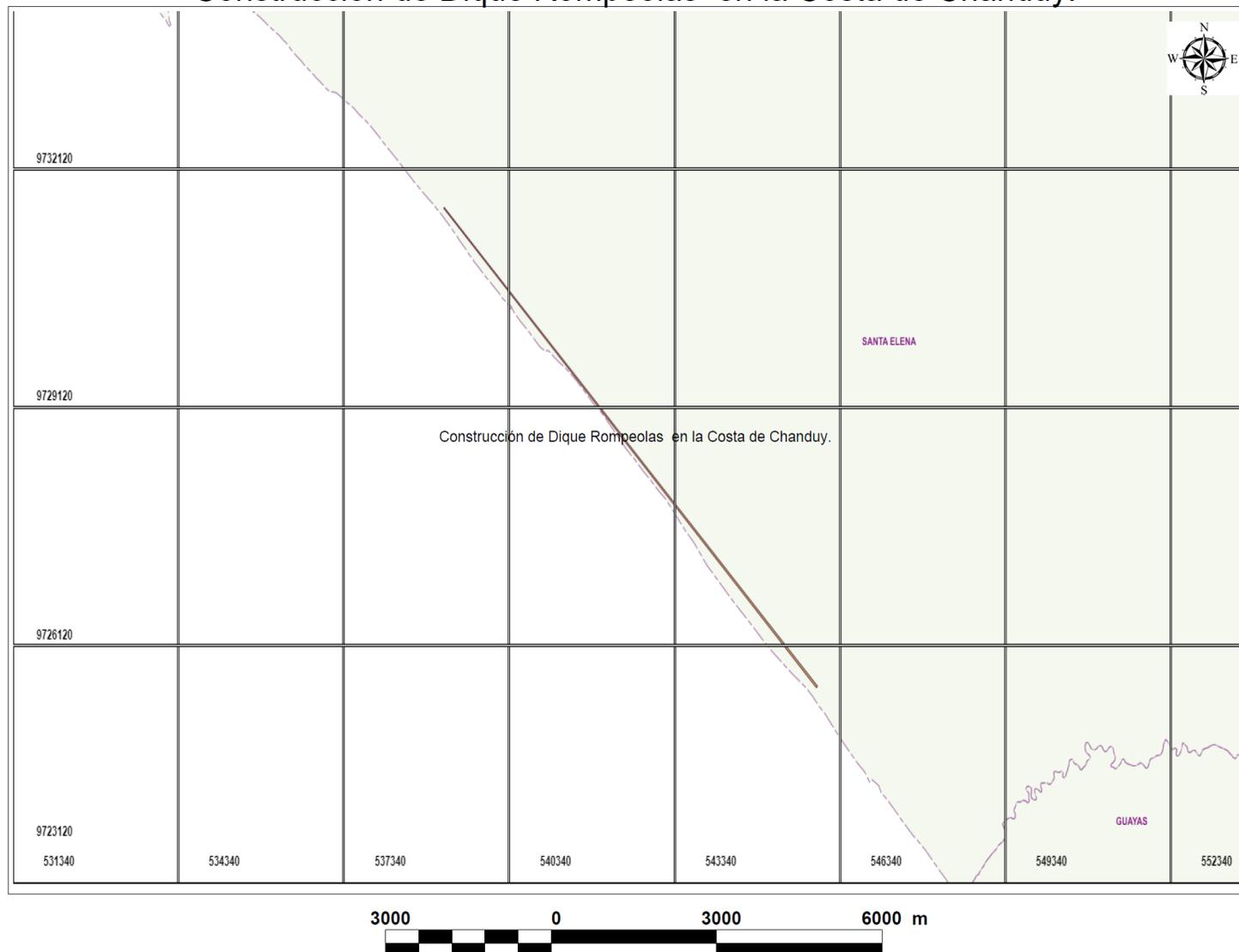
Yo, PALACIOS MONTES LUIS GUSTAVO con cédula de identidad 0940523749, declaro bajo juramento que toda la información ingresada corresponde a la realidad y reconozco la responsabilidad que genera la falsedad u ocultamiento de proporcionar datos falsos o errados, en atención a lo que establece el artículo 255 del Código Orgánico Integral Penal, que señala: Falsedad u ocultamiento de información ambiental.- La persona que emita o proporcione información falsa u oculte información que sea de sustento para la emisión y otorgamiento de permisos ambientales, estudios de impactos ambientales, auditorías y diagnósticos ambientales, permisos o licencias de aprovechamiento forestal, que provoquen el cometimiento de un error por parte de la autoridad ambiental, será sancionada con pena privativa de libertad de uno a tres años.

Atentamente,  
PALACIOS MONTES LUIS GUSTAVO  
0940523749

1 / 1

Imagen F-36 Certificado de Intersección. Referencia: SUIA,2019.

# EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES CERTIFICADO DE INTERSECCIÓN Construcción de Dique Rompeolas en la Costa de Chanduy.



**DATUM:**  
Proyección Universal Transversa de Mercator  
WGS-84 Zona 17 Sur

**ESCALA:**  
1:50000

DIRECCIÓN NACIONAL DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

**ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

El proyecto:

- No intersecciona con Bosques protectores.
- No está dentro de Zonas intangibles.
- No intersecciona con SNAP.
- No está dentro de Zona Amortiguamiento Yasuni.
- No intersecciona con Patrimonio Forestal del Estado.
- No intersecciona con Subsistema Autónomo Descentralizado.
- No intersecciona con Quebradas Vivas.
- No intersecciona con Ramsar area.
- No intersecciona con Ramsar punto.

**INFORMACIÓN SUJETA A VERIFICACIÓN DE CAMPO**

**FUENTE INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA**

CARTOGRAFÍA BASE: Carta Topográfica Instituto Geográfico Militar I.G.M. Escala 1:50.000

CARTOGRAFÍA TEMÁTICA: Sistema Nacional de Áreas Protegidas, Bosques Protectores y Patrimonio Forestal del Estado. MINISTERIO DEL AMBIENTE

Generado por: S.U.I.A.      Fecha Elaboración: Ju., 29 agosto 2019

Imagen F-37 Mapa de Certificado de Intersección. Referencia: SUIA,2019.

## **5.- Guía de Buenas Prácticas Ambientales**

Según ([Ministerio del Ambiente, 2013](#)), durante la construcción se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones para la Construcción de muros de gaviones y escolleras.

### **Respecto a los materiales**

- Con la finalidad de preservar la calidad de los materiales en todas sus fases, es necesario realizar inspecciones visuales.
- La zona de recepción y acopio siempre debe permanecer ordenada.
- Utilizar lonas y elementos separadores del suelo para proteger los materiales y herramientas de parámetros meteorológicos (sol, lluvia, humedad).
- Reducir la cantidad de residuos al aprovechar al máximo todos los materiales.
- Administrar de manera adecuada, todos los elementos potencialmente reutilizables.
- En caso de accidente, los trabajadores deberán conocer el procedimiento a seguir.

### **Respecto a uso de suelos y ocupación**

- Efectuar un correcto acopio de los materiales para garantizar una correcta gestión de uso del suelo.
- Conservar los manifiestos de entrega a los estores ambientales autorizados de elementos como aceites y líquidos. Se deberá evitar el derrame de estos.
- Preservar la flora que pudiera ser afectada por el uso de la maquinaria.

### **Respecto a emisiones**

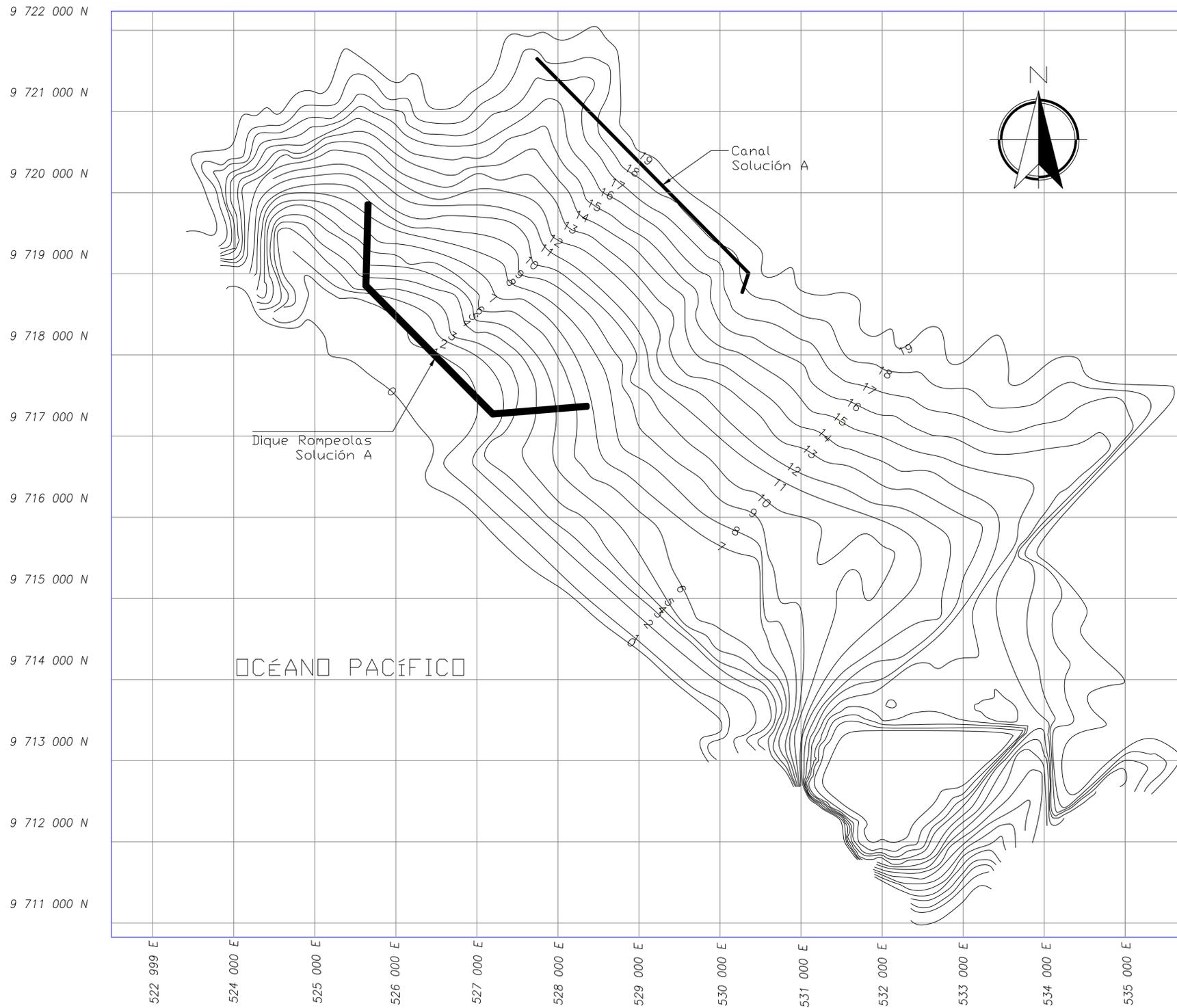
- Monitorear la dirección del viento para prevenir las exposiciones de ruido y polvo.
- Evitar las actividades que generen ruidos molestos, sobre todo en el horario nocturno.
- Administrar horarios fijos de recepción n de materiales de construcción y trabajo de maquinaria.
- Apagar los motores de la maquinaria que no se encuentre en funcionamiento o en proceso de descarga de materiales.
- Los trabajadores deberán utilizar sus Equipos de Protección Personal para mitigar la contaminación por ruido.

- Evitar la generación de partículas de polvo y el uso no adecuado de equipos de comunicación.

### **Respecto a Energía**

- Realizar la jornada laboral durante el día para aprovechar la luz natural.
- Apagar los equipos que no se estén utilizando.

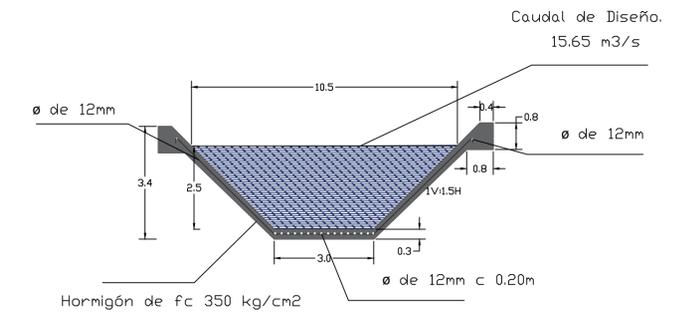
VISTA EN PLANTA DIQUE Y CANAL SOLUCIÓN A.



Escala 1:28000

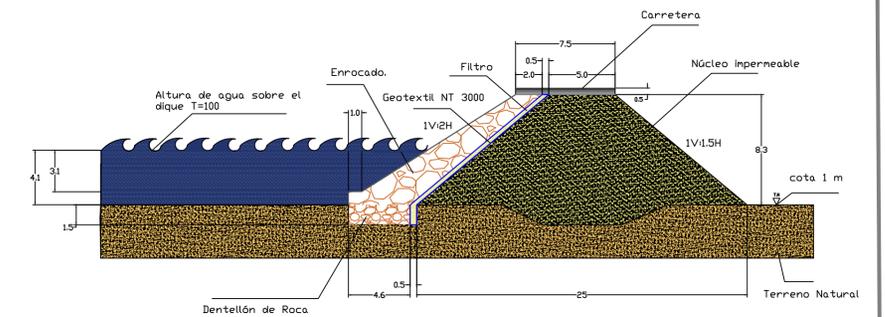
UTM WGS84 Zona17M Sur

VISTA LATERAL DEL CANAL SOLUCIÓN A



Escala 1:100

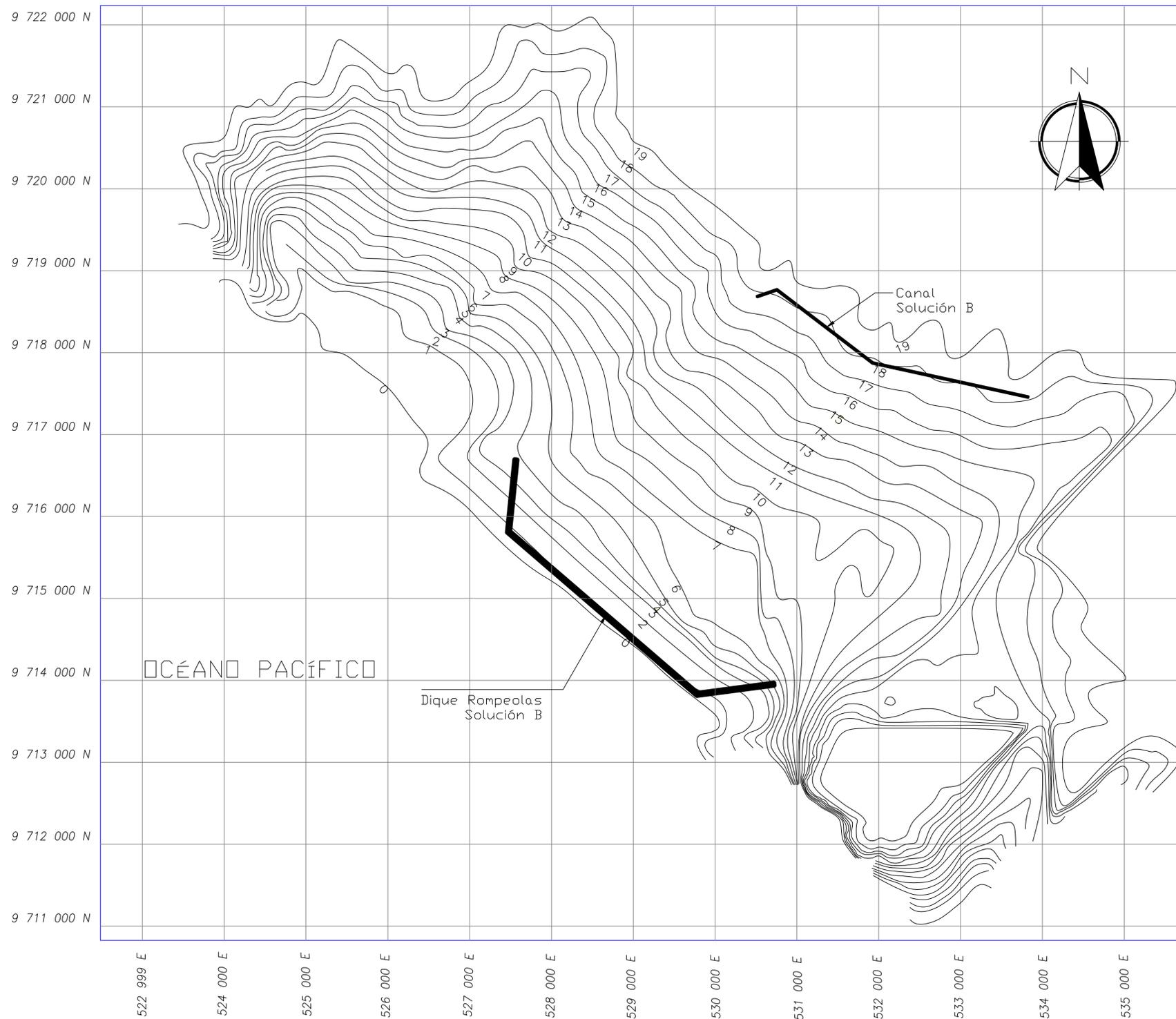
VISTA LATERAL DEL DIQUE SOLUCIÓN A



Escala 1:250

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra	
PROYECTO: Diseño de dique rompeolas para la protección de un Puerto Espacial ante el incremento del nivel del mar.	
CONTENIDO: Dimensionamiento de Dique y Canal	
NOMBRE ESTUDIANTE: Luis Gustavo Palacios	TUTOR DE AREA DE CONOCIMIENTO: Mijail Eduardo Arias
CLIENTE: Leviathan Space Industries	FECHA: 28/08/2019
TUTOR ESPECÍFICO: Eunice Lindao Arnaldo Bayona	LÁMINA N°: 1/3
ESCALA: Varias	

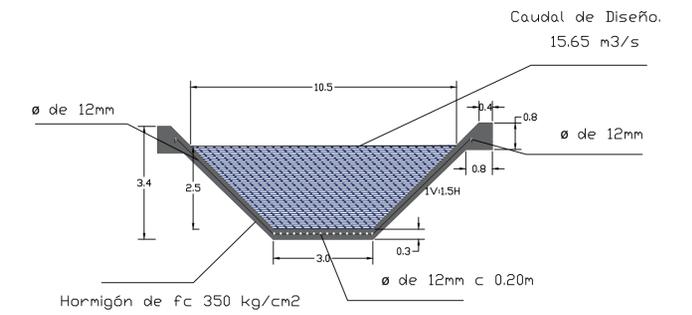
VISTA EN PLANTA DIQUE Y CANAL SOLUCIÓN B.



Escala 1:28000

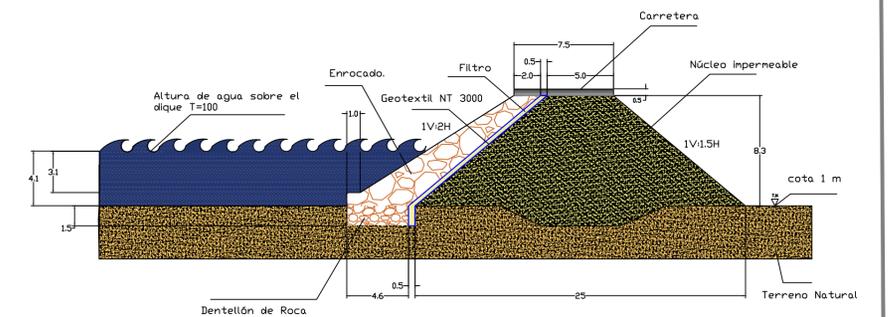
UTM WGS84 Zona17M Sur

VISTA LATERAL DEL CANAL SOLUCIÓN B



Escala 1:100

VISTA LATERAL DEL DIQUE SOLUCIÓN B



Escala 1:250

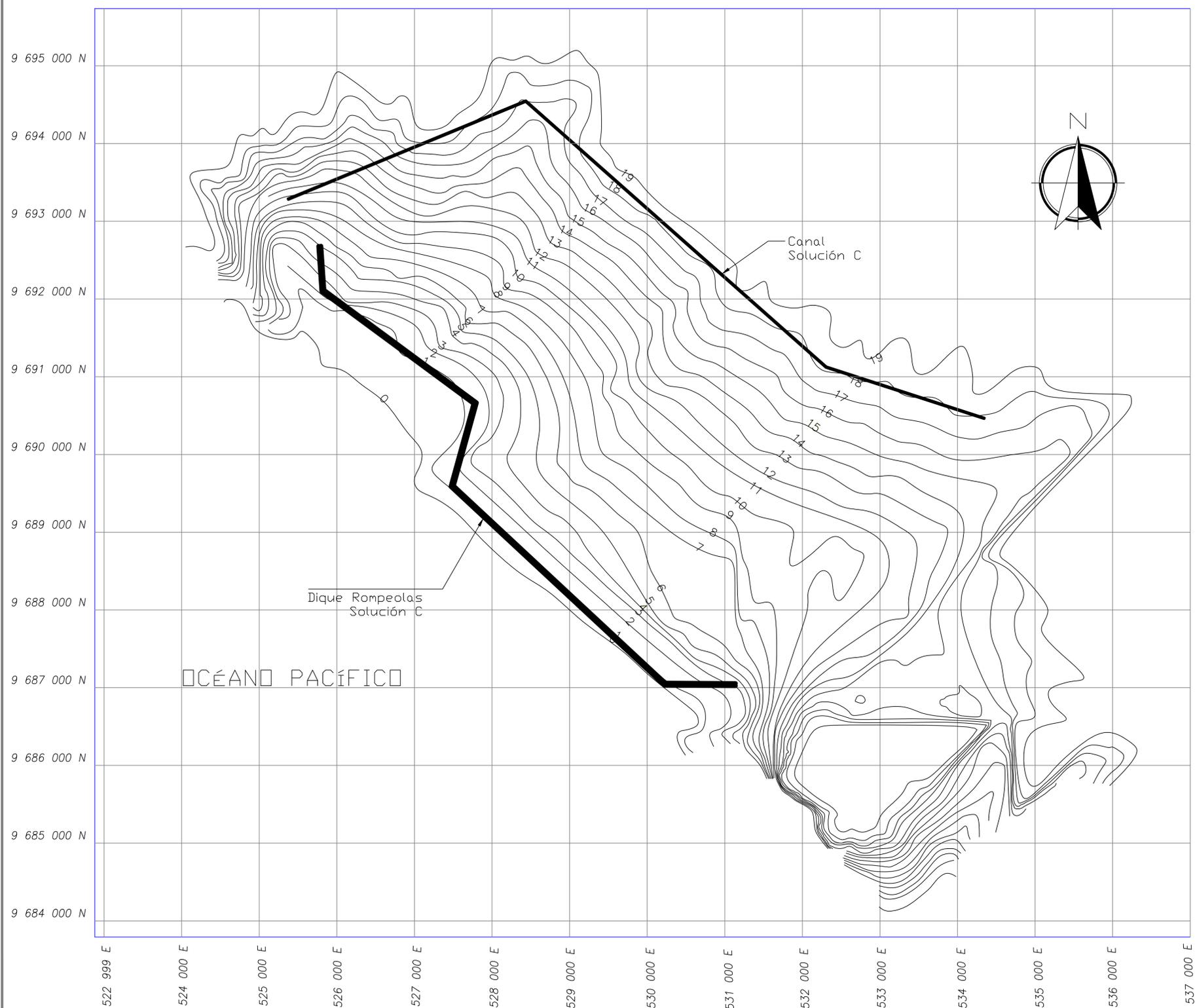
**espol** Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

PROYECTO:  
Diseño de dique rompeolas para la protección de un Puerto Espacial ante el incremento del nivel del mar.

CONTENIDO:  
Dimensionamiento de Dique y Canal

Luis Gustavo Palacios <small>NOMBRE ESTUDIANTE</small>	Miguel Eduardo Arías <small>TUTOR DE AREA DE CONOCIMIENTO</small>
CLIENTE: Leviathan Space Industries	FECHA: 28/08/2019
TUTOR ESPECIFICO: Eunice Lindao Arnaldo Bayona	LÁMINA N°: 2/3
ESCALA: Varias	

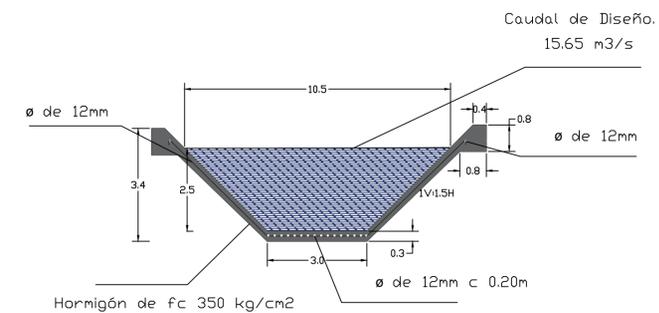
# VISTA EN PLANTA DIQUE Y CANAL SOLUCIÓN C.



Escala 1:28000

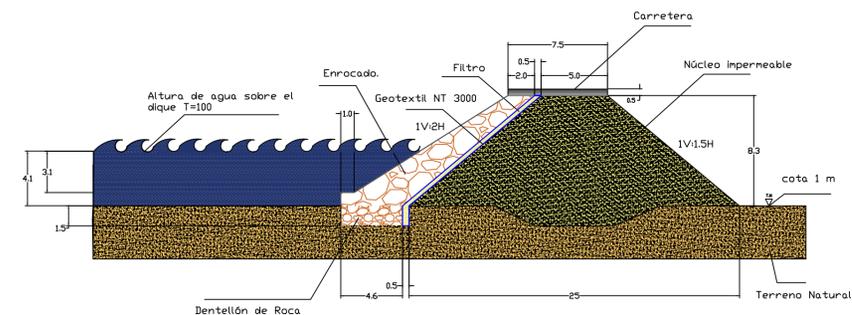
UTM WGS84 Zona17M Sur

## Vista lateral del Canal Solución C



Escala 1:100

## VISTA LATERAL DEL DIQUE SOLUCIÓN C



Escala 1:250

<b>espol</b> Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra	
PROYECTO: <b>Diseño de dique rompeolas para la protección de un Puerto Espacial ante el incremento del nivel del mar.</b>	
CONTENIDO: <b>Dimensionamiento de Dique y Canal</b>	
CLIENTE: Leviathan Space Industries	TUTOR GENERAL: Mijail Eduardo Arias <small>TUTOR DE AREA DE CONOCIMIENTO</small>
TUTOR ESPECÍFICO: Eunice Lindao Arnaldo Bayona	FECHA: 28/08/2019
ESCALA: Varias	LÁMINA N°: 3/3