

INFORME FINAL

Proyecto para la rehabilitación de la playa de Bonasse Cedros Bay, Trinidad y Tobago



La Habana, Cuba
Agosto / 2022



**“EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN
LAS COSTAS ARENOSAS DEL CARIBE: ALTERNATIVAS
PARA SU CONTROL Y RESILIENCIA”**

**PROYECTO PARA LA REHABILITACIÓN
DE LA PLAYA DE BONASSE, CEDROS
BAY, TRINIDAD Y TOBAGO**



Agosto de 2022

AUTORES

MSC. MIGUEL IZQUIERDO ÁLVAREZ

ING. CESAR OSVALDO NÚÑEZ

ING. RACIEL GONZÁLEZ ESCALONA

TEC. BEATRIZ CASTRO ACOSTA

AGRADECIMIENTOS

Para la culminación de este Proyecto, fue necesaria la valiosa contribución de la Asociación de Estados del Caribe, en especial de su Secretaría y la Dirección de Reducción de Riesgos de Desastres, nuestro eterno agradecimiento:

- A Su Excelencia Rodolfo Sabonge, Secretario General de la AEC, por su confianza y apoyo a nuestra institución y al desarrollo exitoso del proyecto.
- A Mrs. Ana Leticia Ramírez Cuevas, directora de la Dirección de Reducción de Riesgos de Desastres, por su contribución en la puesta en marcha y finalización del presente proyecto.
- A Mr. Colin Peter Jack, Project Manager Sandy Shorelines Project, por su colaboración y apoyo en la coordinación de los aseguramientos y logística para la ejecución de los trabajos de campo.

A los directivos y trabajadores en general del Instituto de Asuntos Marítimos (IMA). Su inestimable apoyo contribuyó al éxito en la impartición del Curso de Postgrado y la ejecución de los trabajos de campo y laboratorio. Especial agradecimiento a:

- Dra. Rahanna Juman, directora del IMA.
- Mr. Christopher Alexis, Research Officer, Oceanography & Coastal Processes Department.
- Mr. Aaron Mohammed, Marine Technician 1, Oceanography & Coastal Processes Department.

A la Embajada de Cuba en Trinidad y Tobago, en especial a su embajadora Tania Diego Olite, por el apoyo brindado.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACION DEL PROYECTO	3
III. MATERIALES Y METODOS	5
IV. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DE LAS ZONAS DE ESTUDIO	13
IV.1. Aspectos generales.....	13
IV.2. Características geológico-geomorfológicas generales de Trinidad y Tobago. ..	15
IV.3. Entorno geológico de la región de estudio.	15
IV.4. Características morfológicas y sedimentológicas de la playa de Bonasse.....	17
IV.5. Características del régimen hidrodinámico.	37
IV.6. Caracterización de la dinámica litoral mediante la modelación del oleaje.....	57
IV.7. Transporte de sedimentos.....	62
IV.8. Esquema morfodinámico de funcionamiento.....	64
V. ESTRATEGIA PARA LA RECUPERACIÓN Y PROTECCIÓN DE LA PLAYA	67
V.1. Medidas a corto y medio plazo.....	70
V.2. Medidas a largo plazo	72
VI. DISEÑO DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN PROPUESTAS	75
VI.1. Acciones de manejo costero	75
VI.2. Alimentación Artificial de Arena (Mediano plazo)	77
VI.2.1. Zona de préstamo.....	81
VI.2.2. Idoneidad de la arena a emplear	89
VI.2.3. Cálculo del volumen de arena	91
VI.2.5. Restauración del sistema dunar de la playa	97
VI.2.6. Volúmenes de siembra por zonas	101
VI.2.7. Conformación de barreras de contención y captación de arena.....	102
VII. EFECTIVIDAD ESPERADA DEL PROYECTO.....	105
VIII. FORMA DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS Y TIEMPO ESTIMADO	107
VIII.1. Forma de ejecución.....	107
VIII.2. Tiempo estimado.....	117
IX. COSTOS.....	118
X. PROGRAMA DE MONITOREO PROPUESTO	120
XI. EVALUACIÓN DE POSIBLES IMPACTOS AMBIENTALES	123
REFERENCES.....	137
PLANOS Y ANEXOS	141

PROYECTO PARA LA REHABILITACIÓN DE LA PLAYA DE BONASSE, CEDROS BAY, TRINIDAD Y TOBAGO.

INFORME FINAL

I. INTRODUCCIÓN

En enero de 2021 se firmó el contrato 2/DECS/2021/01SS entre la Asociación de Estados del Caribe (AEC) y la empresa Inversiones GAMMA S.A., perteneciente al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, para la elaboración de tres proyectos ejecutivos de rehabilitación de playas en Viento Frío, Colón, República de Panamá; Runaway Bay, Antigua y Barbuda; y Bonasse, Cedros Bay, República de Trinidad y Tobago.

En mayo de 2021, se firmó el Suplemento No. 1 al Contrato, con el objetivo de modificar la fecha de inicio de los trabajos de campo, prevista para marzo de 2021, trasladándola a septiembre de 2021.

En julio de 2021, se acordó entre la AEC y GAMMA priorizar el trabajo a distancia entre los especialistas de GAMMA y los Puntos Focales, iniciando el intercambio de información y los arreglos para el apoyo logístico de las expediciones de campo a iniciar en Panamá.

También en julio de 2021, GAMMA entregó a la AEC el Informe de Inicio del Servicio, así como un Plan de Contingencia destinado a enfrentar las dificultades existentes impuestas por la situación sanitaria que afecta a los países involucrados en el proyecto y su impacto en los vuelos internacionales, lo que redujo las posibilidades de iniciar los trabajos de campo de los proyectos en las fechas previstas.

En correspondencia con el Plan de Contingencia y como resultado de la gestión de GAMMA con las aerolíneas, el 28 de marzo de 2022, el jefe de proyecto de GAMMA para Trinidad y Tobago llegó al país para coordinar la logística y los aseguramientos necesarios para la ejecución de los trabajos de campo y el curso de postgrado. Debido a las regulaciones sanitarias del país, al no ser reconocidas las vacunas cubanas anti-covid, fue necesaria una excepción para ingresar al país, emitida por el Departamento de Seguridad Nacional, además de pasar 7 días de cuarentena obligatoria.

El grupo de especialistas que participó en los trabajos de campo y en la impartición del curso de postgrado, llegó a Trinidad y Tobago el 17 de abril de 2022, y también tuvo que pasar 7 días de

cuarentena obligatoria, tras la extensión de una carta de excepción para entrar en el país, emitida por el Departamento de Seguridad Nacional.

Los trabajos de campo concebidos en la Tarea Técnica y que formaban parte del contrato para elaborar el proyecto ejecutivo de rehabilitación de la playa de Bonasse, fueron concluidos satisfactoriamente el 14 de junio de 2022.

Entre los principales resultados de esta etapa se destacan: la determinación del funcionamiento del sistema costero, las nivelaciones topográficas del perfil de playa, los levantamientos batimétricos del frente de playa y la zona de préstamo de arena, los muestreos de sedimentos de la playa y la zona de préstamo de arena, el análisis granulométrico en el laboratorio del Instituto de Asuntos Marítimos (IMA) de todas las muestras de arena colectadas, el estudio y determinación de los depósitos de arena marina para su posible utilización como zona de préstamo en la rehabilitación y protección de la playa de Bonasse.

En el presente informe se presentan los resultados de las tareas realizadas durante los trabajos de campo y laboratorio, así como del estudio completo y el diseño de las soluciones que se proponen para la rehabilitación de este sector costero, dando cumplimiento al compromiso contraído con la AEC.

II. JUSTIFICACION DEL PROYECTO

La erosión costera es un fenómeno global e irreversible, sobre todo en el actual contexto del Cambio Climático, siendo particularmente preocupante para los países de la cuenca del Caribe, cuyas economías se sustentan, fundamentalmente, en la explotación de sus recursos naturales, sobre todo de sus playas.

El continuo proceso de erosión a que están sometidas las costas del Caribe, ha sido motivo de preocupación y discusión en las diferentes cumbres de jefes de estado de la Asociación de Estados del Caribe (AEC), así como en otros foros internacionales.

La pérdida de territorios a causa de la erosión costera, las afectaciones a la agricultura, a la infraestructura, las comunidades y el deterioro de las condiciones para ofertar un producto turístico de calidad, que para muchos de estos estados es su fuente principal de ingresos, constituye un problema que pasa a ser de máxima prioridad para su propia subsistencia.

Entendiendo esta problemática, la Asociación de Estados el Caribe (AEC), con la asistencia de la Agencia Internacional de Colaboración de Corea del Sur (KOICA) y la supervisión técnica del Instituto Coreano de Ciencia y Tecnología del Océano (KIOST), desarrollan el proyecto “Evaluación del Impacto del Cambio Climático en las costas arenosas del Caribe: alternativas para su control y resiliencia”, que incluye la Componente 4., 4.1 Proyectos de Rehabilitación de Playas.

Es así como en el marco de este proyecto, la AEC convocó a los países participantes en el proyecto, por medio de los Puntos Focales, para la presentación de playas candidatas para la preparación de tres proyectos ejecutivos de rehabilitación de playas, siendo seleccionadas las playas de: Viento Frío en Panamá, Runaway Bay en Antigua y Barbuda, y Bonasse en Trinidad y Tobago.

De acuerdo a la “Tercera Comunicación Nacional de la República de Trinidad y Tobago a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, citando la Política Nacional de Turismo de Trinidad y Tobago (2010), el gobierno de Trinidad y Tobago reconoce los impactos del calentamiento global por el cambio climático y su potencial para afectar negativamente a la industria del turismo. Los efectos del cambio climático pueden manifestarse en forma de erosión de las playas, blanqueamiento de corales, escasez de agua y alimentos, colapso de los ecosistemas, aumento del nivel del mar y fenómenos meteorológicos extremos.

A diferencia de la mayoría de las naciones y territorios caribeños, que dependen en gran medida del turismo, la economía de Trinidad y Tobago es principalmente industrial, con énfasis en el petróleo y los productos petroquímicos. El turismo, específicamente el de sol y playa, tiene su mayor desarrollo en la isla de Tobago.

La playa de Bonasse, seleccionada por el Grupo Técnico Asesor de la AEC, está ubicada en la península de Los Cedros en la parte Sur de la isla de Trinidad, donde es común observar pequeñas playas en ambas costas de la península, con diferentes niveles de extensión e intensidad de la erosión. En la playa se pueden identificar indicios de erosión que demuestran que la misma ha estado sometida a un proceso de erosión, cuyas causas son motivo de un análisis detallado en el desarrollo del presente Proyecto.

Ante este panorama, la ejecución de un proyecto de rehabilitación de la playa debe buscar el objetivo principal de mejorar las condiciones ambientales, funcionales y estéticas de la misma, garantizando además una protección más efectiva del poblado de Bonasse y Fullerton ante el efecto de la sobre elevación del nivel del mar provocado por el Cambio Climático. Con una mejor playa, los poblados pueden incentivar las actividades de ocio y recreación, creando nuevas oportunidades de empleo e ingresos a sus pobladores y al Estado.

Las soluciones que se proponen y diseñan en el proyecto, responden a este objetivo, bajo la premisa de no comprometer la aplicación de nuevas actuaciones para afrontar los efectos del aumento del nivel del mar en escenarios futuros de cambio climático. Además, se basan en la comprensión del funcionamiento del sistema costero y de aplicar soluciones amigables con el medio ambiente sobre criterios científicos.

III. MATERIALES Y METODOS

Los trabajos geodésicos realizados en la playa de Bonasse, estuvieron referidos a dos puntos con coordenadas XYZ, pertenecientes a la red de puntos de referencia del IMA, proporcionados por el propio Instituto de Asuntos Marítimos (IMA) Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de referencia del IMA utilizados para el levantamiento topográfico.

Punto	Coordenadas UTM, Zona 20N (WGS-84)		
	Este	Norte	Altura
HUB1209	624349.512	1115875.088	9.207
Cedros01	624755.011	1115984.361	2.387

A partir de estos puntos y utilizando un GS-14 GNSS Leica en modo RTK, se estableció la línea de base de la playa de Bonasse. En total fueron establecidos 7 nuevos puntos, los cuales constituyeron a su vez, las cabezas de los perfiles de playa que posteriormente fueron medidos (Fotos 1-4). En la Tabla 2 se presenta la lista de coordenadas de las cabezas de los perfiles establecidos.



Fotos 1 y 2. Instalación de la estación base en las instalaciones de la Guardia Costera de Bonasse. Utilizando el GS-14 GNSS Leica en modo RTK..



Fotos 3 y 4. Establecimiento de puntos topográficos que sirven como cabezas de los perfiles de playa para la caracterización de la morfología del perfil.

Tabla 2. Coordenadas de las cabezas de los perfiles establecidos durante los trabajos topográficos.

Perfil	Coordenadas UTM, Zona 20N (WGS-84)		
	Este	Norte	Altura
Bonasse-1	622917.670	1115834.242	1.988
Bonasse-2	623216.440	1115844.097	2.053
Bonasse-3	623918.458	1115853.275	3.626
Bonasse-4	624491.019	1115919.843	2.541
Bonasse-5	624754.790	1115985.861	2.361
Bonasse-6	625186.846	1116065.828	4.238
Bonasse-7	625600.808	1116156.267	2.639

Para la medición de los 7 perfiles de playa, se utilizó una Estación Total Leica TS09 Plus, siguiendo el método de distancia y desnivel. (Fotos 5-9) (Anexo 1)



Fotos 5-9. Medición de perfiles de playa a lo largo de la playa de Bonasse con una estación total Leica TS-09 Plus.

Toda la información topográfica fue procesada con los programas Leica FlexOffice Standard, Grapher 18 y Surfer 21. Los materiales cartográficos se presentan en el sistema de coordenadas UTM Zona 20N, datum WGS-84.

Para el estudio batimétrico se utilizó un ecosonda Stonex SDE 28 D, y el posicionamiento de las líneas de sondeo se realizó con el GNSS Hemisphere VS1000. Los registros de sondeo se realizaron conectando el equipo a una computadora portátil y utilizando el software hidrográfico HYPACK MAX 64 para su procesamiento. (Fotos 10-13)



Foto 10. Ecosonda Stonex SDE 28D.



Foto 11. Hemisphere GNSS VS1000.



Fotos 12 y 13. Ejecución del levantamiento batimétrico con el software HYPACK MAX 64.

Durante el sondeo, las antenas se colocaron paralelas a la línea central del buque, con una distancia de 1.5 m entre ellas, con la antena primaria hacia la popa y la secundaria hacia la proa. El transductor del ecosonda se montó en la banda de babor del buque, a una profundidad de 0.60 m, lejos del ruido del motor del buque. Antes de comenzar las mediciones, se determinó la velocidad del sonido en el agua en la zona de trabajo utilizando un perfilador de velocidad del sonido AML en la columna de agua, que sirvió para corregir los registros de profundidad en la etapa de post-procesamiento (Foto 14).



Foto 14. Perfilador de sonido AML.

Se realizó un levantamiento batimétrico general del frente de playa y zonas adyacentes a escala 1/50,000 (se realizaron líneas de sondeo adicionales en zonas de interés). En total, se realizaron

24 líneas de sondeo de 6 km de longitud cada una, con una separación de 500 m entre ellas, lo que supone una longitud total de sondeo de 144 km para cubrir un área de 60 km² (Figura 1).

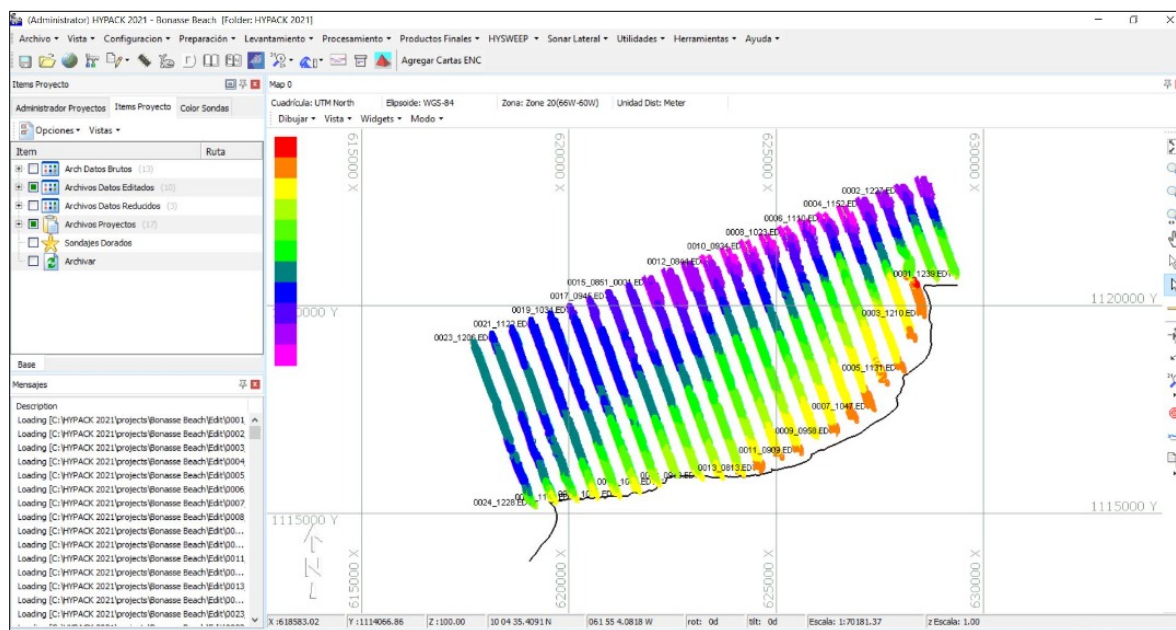


Figura 1. Captura de pantalla del software HYPACK MAX 64 utilizado para la colecta de datos de la ecosonda. Líneas de sondeo del levantamiento batimétrico general de la playa.

Además, se ejecutó el levantamiento batimétrico detallado de la playa a escala 1/5,000. Se realizaron un total de 114 líneas de sondeo de 3.5 km de longitud cada una, con una separación de 50 m entre ellas, lo que supone una longitud de sondeo detallado de 399 km para cubrir un área de 19.6 km² (Figura 2).

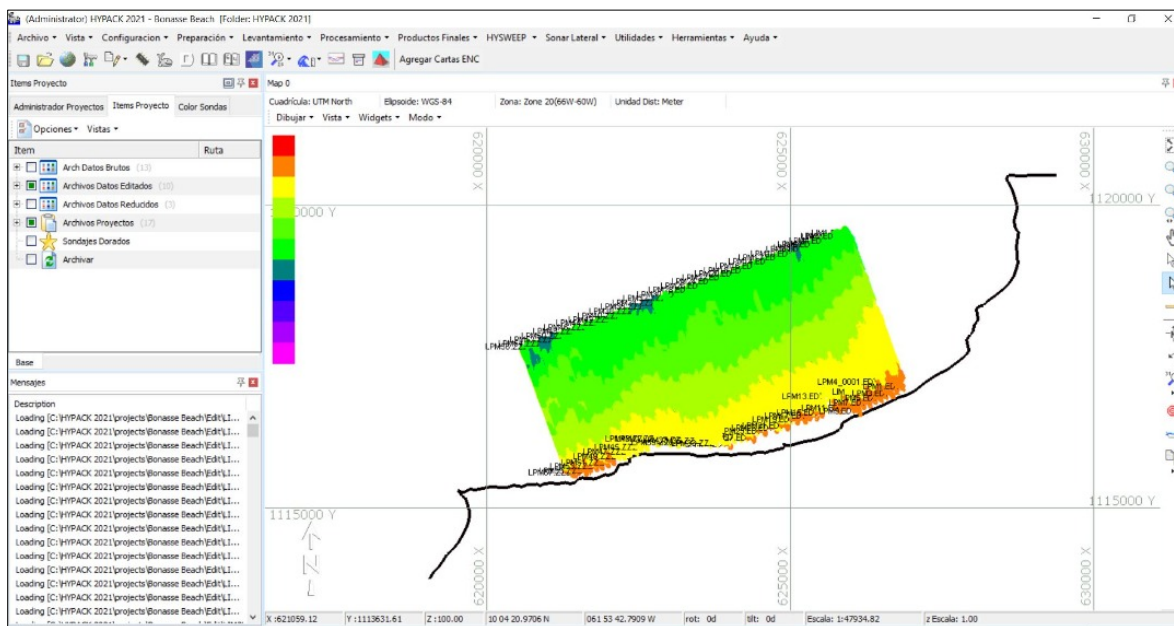


Figura 2. Captura de pantalla del software HYPACK MAX 64 utilizado para la colecta de datos de la ecosonda. Líneas de sondeo del levantamiento batimétrico detallado de la playa.

Los registros batimétricos se procesaron con el software Surfer-21, cuyo esquema batimétrico se muestra en el Plano 1.

El muestreo sedimentológico se realizó, tanto en la zona de préstamo como en la playa.

Para la caracterización granulométrica de los sedimentos, se tomaron muestras en cada estación en la que se realizó la nivelación topográfica del perfil de playa. Las muestras se tomaron manualmente en la anteplaya de los perfiles y se guardaron en sobres de nylon. Las muestras de arena colectadas en el mar, fueron tomadas con ayuda de un muestreador y un winche, instalados en la cubierta de la embarcación (Fotos 15 y 16).



Fotos 15 y 16. Utilización de muestreador y winche para colecta de muestras de arena en el mar.

Las muestras de arena colectadas se secaron al aire libre con luz solar y se enviaron al laboratorio del IMA para su análisis granulométrico.

En el laboratorio de sedimentología del IMA, las muestras se secaron en un horno Memmert Be20 durante 24 horas (Fotos 17 y 18).



Foto 17. Estufa Memmert Be20 utilizada para el secado de las muestras.



Foto 18. Muestras de arena secadas en el horno durante 24 horas.

Teniendo en cuenta la naturaleza arenosa de las muestras, el análisis granulométrico se realizó manualmente por tamizado en seco, utilizando tamices con un juego de mallas de 0.063, 0.125, 0.25, 0.50, 1, 2 y 4 mm y una tamizadora Endecotts Octagon (Fotos 19 y 20).



Foto 19. Juego de tamices utilizados para el tamizado de las muestras.



Foto 20. Tamizadora Endecotts Octagon con juego de tamices.

Los datos de peso por tamiz fueron procesados con el software Gradistat Versión 4.0 desarrollado por Simon Blott, del Grupo de Investigación de Ambientes Actuales, del Departamento de Geología de la Universidad Royal Holloway de Londres (Blott, 2001), obteniendo el diámetro medio de la partícula (M) en mm y unidades ϕ , la desviación estándar y otros parámetros por el método de los momentos y el método de Folk & Ward. Para la clasificación de los sedimentos, se utilizó la propuesta por Wentworth (Shore Protection Manual, 1984) (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación granulométrica de Wentworth (Shore Protection Manual, 1984).

Tipo de sedimento	Diámetro medio M (mm)
Arcilla	0.00049 – 0.0039
Limo	0.0039 – 0.0625
Arena muy fina	0.0625 – 0.125
Arena fina	0.125 – 0.250
Arena media	0.250 – 0.500
Arena gruesa	0.500 – 1.000
Arena muy gruesa	1.000 – 2.000
Grava	2.000 – 4.000

Los resultados de los análisis granulométricos, tanto de las muestras colectadas en la playa como de las muestras colectadas en la zona de préstamo, se muestran en el Anexo 2.

De acuerdo con la metodología establecida en Gradistat, teniendo en cuenta el método logarítmico de momentos, la desviación estándar, o el grado de selección de la arena ($\emptyset$), se clasifican los sedimentos teniendo en cuenta los rangos indicados en la Tabla 4.

Tabla 4. Rangos de clasificación del grado de selección de la arena según el valor de la desviación estándar.

Rango del valor de la desviación estándar ($\emptyset$)	Clasificación
0.35 – 0.50	Well sorted
0.50 – 0.70	Moderately well sorted
0.70 – 1.00	Moderately sorted
1.00 – 2.00	Badly sorted

Entendiendo que el oleaje generado durante los eventos erosivos extremos y, en particular, los huracanes tropicales constituyen los principales agentes erosivos que afectan a la costa de Bonasse, el capítulo IV incluye un estudio específico de este tema considerando los aspectos metodológicos. También se incluyen en ese capítulo otros estudios y modelos matemáticos relativos a las características hidrodinámicas y al transporte de sedimentos.

IV. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

IV.1. Aspectos generales

Trinidad y Tobago son las islas más meridionales de las Antillas Menores, situadas cerca de la plataforma continental sudamericana. (Figure 3)

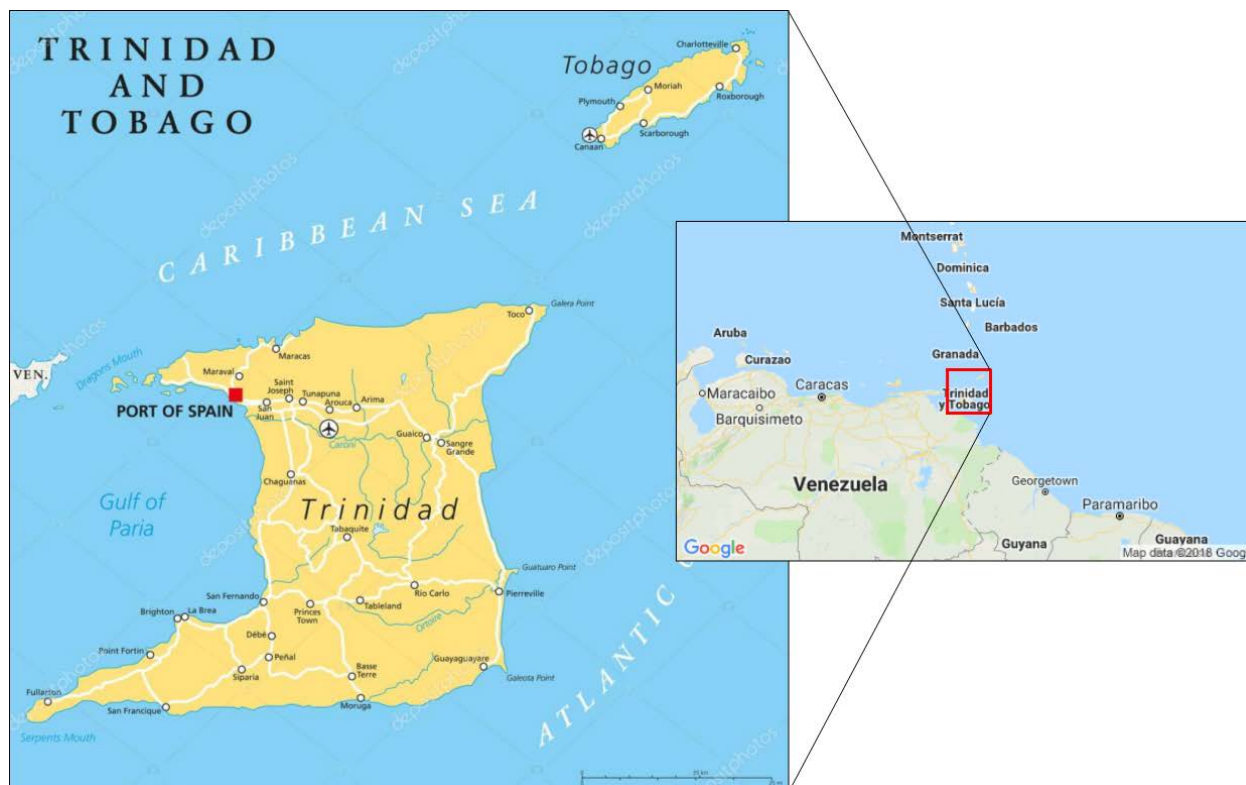


Figura 3. Ubicación geográfica de Trinidad y Tobago

Trinidad se encuentra a 11 km de la costa Noreste de Venezuela y a 130 km al Sur de las Granadinas. Mide 60 km de largo y 80 km de ancho máximo y tiene una superficie de 4,828 km². Trinidad tiene una forma rectangular con tres esquinas peninsulares salientes. Tobago se encuentra a 30 km al Noreste de Trinidad, de la que está separada por un canal de 37 km de ancho, tiene 42 km de largo y 13 km de ancho, con una superficie total de 300 km². Tobago tiene forma de cigarro y una alineación Noreste-Suroeste.

Las islas tienen un clima tropical húmedo de tipo monzónico. Las precipitaciones, alcanzan una media anual de 2,200 mm, de tipo estacional, con una estación húmeda de junio a noviembre y una estación seca de diciembre a mayo. Las temperaturas oscilan entre 25 y 27 °C, la humedad oscila entre el 50 y el 100 %, y la velocidad media del viento oscila entre 20 y 28 km/h. El paisaje

de Trinidad se caracteriza por montañas escarpadas, colinas onduladas y llanuras, y está dotada de costas muy variadas, una buena parte de humedales y una flora y fauna muy diversas.

En la actualidad Trinidad y Tobago, es objeto de muchas investigaciones en el ámbito del Cambio Climático y el aumento del nivel del mar, por ello es signataria de la Convención Marco sobre el Cambio Climático, cuyo objetivo es lograr una reducción drástica de las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero.

Las inundaciones son el peligro natural que más preocupa a la población, en virtud de su frecuencia de ocurrencia y la magnitud de los daños resultantes. Este fenómeno está relacionado con las malas prácticas de gestión de las cuencas hidrográficas y los malos hábitos de vertido de la población, sobre todo en las zonas urbanas.

La contaminación es un problema que va en aumento en todo el país. Los principales contaminantes del agua son los residuos urbanos, domésticos e industriales, los productos y residuos agrícolas, sedimentos, productos petroquímicos y vertidos de las industrias petroleras y energéticas, los residuos de los buques de pesca, los barcos e instalaciones turísticas y yates. Los contaminantes afectan tanto a los recursos de agua dulce del interior, como a los recursos hídricos costeros, incluidas las playas y las costas.

Al igual que en otros países, el crecimiento económico y el desarrollo, junto con el de la población, está provocando la degradación medioambiental de las cuencas hidrográficas, los recursos hídricos y las zonas costeras. En el caso de Trinidad y Tobago, un estado insular, los hábitats y ecosistemas costeros adquieren una significativa importancia. Las zonas costeras sostienen una variedad de ecosistemas y valiosos recursos naturales, y en ellas se ubican las principales industrias y actividades económicas. Al igual que las cuencas hidrográficas, estas zonas están sometidas a las amenazas derivadas de diversas actividades terrestres.

El país experimenta gran parte de la gama de problemas medioambientales, desde contaminación generalizada de sus vías fluviales y zonas costeras, vertidos petroquímicos, vertidos ilegales, deforestación, erosión excesiva del suelo, sobrepesca y el agotamiento de los recursos naturales. Estos problemas se atribuyen a un mal uso de la tierra y a un marco legal e institucional inadecuado para la gestión de las cuencas hidrográficas, los recursos hídricos y las zonas costeras, amenazadas, además, por catástrofes naturales (tormentas tropicales, terremotos, inundaciones y sequías), así como el cambio climático y el aumento del nivel del mar.

IV.2. Características geológico-geomorfológicas generales de Trinidad y Tobago.

Geológicamente, las islas no forman parte del arco antillano. Más bien, Trinidad formó parte del continente sudamericano, y Tobago forma parte de una cadena montañosa hundida relacionada con el continente. En la actualidad, las islas están separadas del continente sudamericano por el Golfo de Paria; un paso al Norte de 19 km de ancho, la Boca del Dragón, y otro al Sur de 14 km, el canal de Colón o Boca de Serpiente como también se conoce.

Trinidad es un segmento levantado de la plataforma neógena del Orinoco, creado en gran parte por el paleo-río Orinoco y su delta. El prisma sedimentario del margen de la plataforma orientado hacia el Atlántico tiene una morfología clinoforme interna, con topsets arenosos marinos y no marinos y depósitos fangosos del talud de aguas profundas, que contienen canales turbidíticos y bloques colapsados del borde de la plataforma.

Las rocas más antiguas de Trinidad son filitas, calizas y cuarcitas metamórficas de finales del Jurásico, al Cretácico se asocian cuarcitas, filitas, pizarras y calizas, al Este de la isla, aparece una zona con rocas volcánicas expuestas en superficie, incluyendo basalto, ceniza y brecha y por la costa Norte las pizarras filitas y de igual forma se asocian al Cretácico los depósitos de pizarras oscuras y cuarcitas, seguidas de argilitas. Durante el Paleoceno, se depositaron el esquisto calcáreo y no calcáreo. En el Eoceno se formaron las margas y los esquistos calcáreos y en la Cordillera Central aparece el flysch turbidítico. El material clástico y el conglomerado marcaron un cambio hacia la erosión en las zonas elevadas a finales del Eoceno. La Cordillera Central fue levantada en el Oligoceno, aunque las arcillas y margas de aguas profundas sugieren una profundización de cuencas como la del Norte.

Al Mioceno se asocian mayoritariamente las arenas petrolíferas y en esta Era se marca el regreso a las arcillas de aguas profundas junto con las calizas arrecifales y la deposición superficial, que prevaleció en muchas partes de la isla hasta el Plioceno, donde los procesos de ascenso y descenso se hicieron comunes, después que la fase principal de la orogenia andina, terminó hacia el Sur. Los cambios en el nivel del mar durante y desde el Pleistoceno han jugado un papel clave en la sedimentación.

IV.3. Entorno geológico de la región de estudio.

La zona de los trabajos se localiza en el Delta del Orinoco, cerca del extremo Noreste de América del Sur, asociada a sedimentos pertenecientes al Mioceno tardío y el Plioceno, a pesar de que

el origen del río Orinoco pertenece al Plioceno y que cambió su flujo del Norte del Golfo de Maracaibo en el Mioceno hacia el Este, entre los Andes de Mérida y la Cordillera del Caribe al Norte y el Escudo de Guayana al Sur (Díaz de Gamero, 1996).

El río Orinoco y su delta, migraron a lo largo del eje de la cuenca de Venezuela Oriental, para emerger hacia el Sur de Trinidad a finales del Mioceno y grandes volúmenes de lodo aún, son transportados y depositados por las corrientes litorales hacia el Noroeste, a lo largo de la plataforma interior y en el frente del Delta del Orinoco, derivados del río Amazonas (Aslan et al., 2003).

Los sedimentos presentes en la zona de estudio, se relacionan con la Formación Morne L'Enfer, que afloran en la costa Suroeste de Trinidad en Erin Bay y Cedros Bay y es una de las formaciones mejor expuestas de la isla (Barr et al. 1958, Suter 1960, Ablewhite y Higgins 1968), fundamentado en más de 1,200 m de testigos de perforaciones en el Oeste de la Cuenca Sur (Figura 4), guiados por el mapa geológico de Trinidad (Kugler 1959), donde los miembros inferior y superior de Morne L'Enfer están bien expuestos.

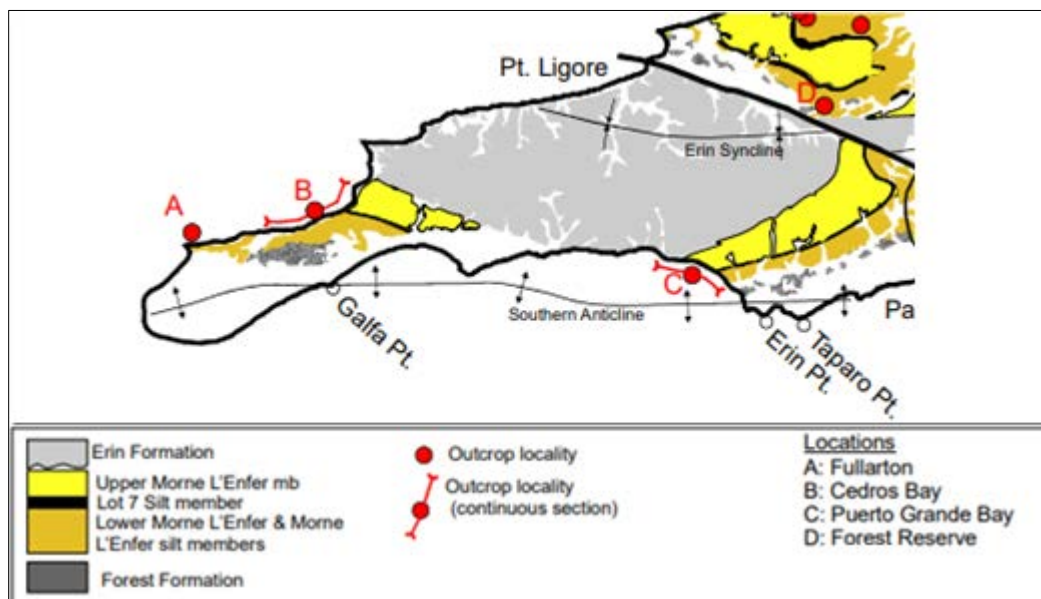


Figura 4. Mapa geológico del Suroeste de Trinidad que muestra la ubicación de las secciones examinadas dentro de la Formación Morne L'Enfer. (Fuente: Chen et al., 2014).

De las correlaciones estratigráficas de Puerto Grande y la Bahía de Cedros a lo largo de las costas y afloramientos más al interior, se aprecia que los miembros inferior y superior de Morne L'Enfer están bien expuestos, donde sus estructuras sedimentarias físicas y biogénicas se

integraron con la mineralogía y las orientaciones de las paleo-corrientes para la obtención de datos regionales sobre los patrones de deposición en esta parte de la Cuenca del Sur.

Se pueden diferenciar al menos siete conjuntos de litofacies a lo largo de la Morne L'Enfer, cada una de las cuales representa procesos de sedimentación específicos y etapas de colmatación de la cuenca. Los ambientes de sedimentación dentro del miembro inferior de Morne L'Enfer varían desde limos y areniscas, la parte superior se caracteriza por rellenos canalizados lateralmente, llanuras de marea y depósitos de llanura de inundación y pantanos. Las facies fluviales hacia la parte superior de este miembro pueden representar un cambio basal clave en facies que es continuo en la Formación Erin.

IV.4. Características morfológicas y sedimentológicas de la playa de Bonasse.

La playa de Bonasse se localiza en Cedros Bay y tiene una longitud de 3,300 m, es de forma lineal apoyada lateralmente en dos acantilados, por el Este el localizado en Marie Point y por el Oeste el localizado en el límite costero de la villa de Fullerton, ambos con alturas superiores a 10 m (Figure 5, Fotos 21 y 22).



Figura 5. Área de estudio del proyecto.



Foto 21. Marie Point, acantilado que limita al Este la playa de Bonasse.



Foto 22. Acantilado en Fullerton que limita al Oeste la playa de Bonasse.

De acuerdo a Saunders (1998), ambos acantilados están constituidos por las intercalaciones de limos, arcillas y areniscas no consolidadas (Fotos 23 y 24), las cuales muestran un franco proceso erosivo, evidenciado por las paredes escarpadas y el material acumulado al pie del acantilado (Fotos 25 y 26).



Fotos 23 y 24. Intercalaciones de limos, arcillas y areniscas en las paredes de los acantilados. Izquierda: acantilado límite Este. Derecha: acantilado límite Oeste.



Fotos 25 y 26. Material producto de derrumbe al pie del acantilado. Izquierda: acantilado límite Este. Derecha: acantilado límite Oeste.

Por la extensión de la playa y su nivel de antropización, se dividió el área de estudio en dos (2) sectores (Figura 6):

- Sector 1: desde el acantilado de Marie Point al Este, hasta el muelle de la Guardia Costera, con una longitud de 1,500 m.
- Sector 2: desde el muelle de la Guardia Costera hasta el acantilado al Oeste en Fullerton, con una longitud de 1,800 m.

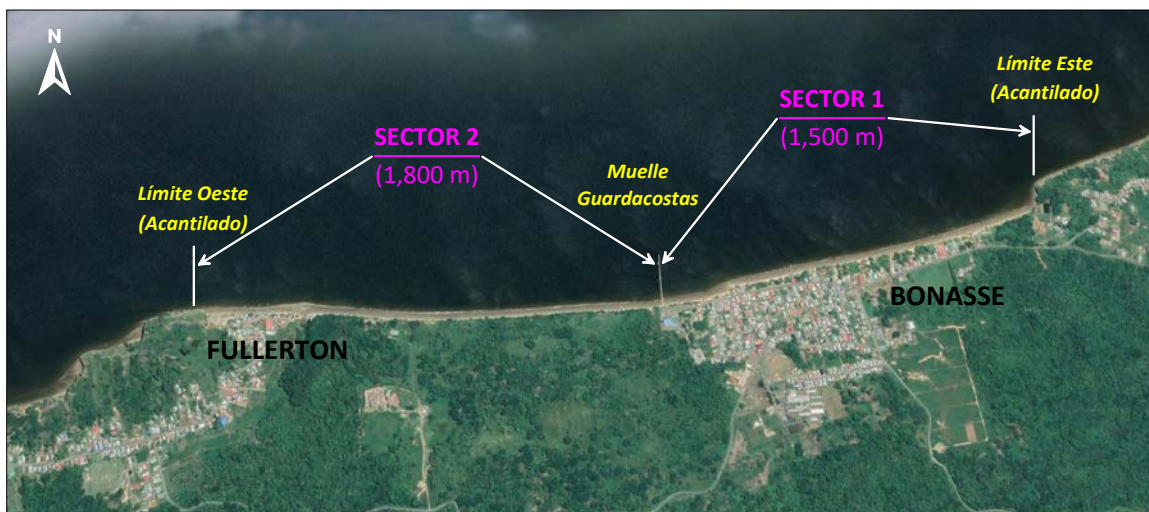


Figura 6. Subdivisión del área de estudio de acuerdo al grado de antropización.

Sector 1

La morfología del Sector 1 en su parte emergida próxima a la orilla, está caracterizada en su mitad Este por la presencia de elevaciones entre 10-15 m de altura aproximadamente, ocupadas regularmente por viviendas, así como, vaguadas entre las elevaciones por donde parte del drenaje pluvial se evacua hacia la playa. En cambio, la mitad Oeste del sector en su parte emergida próxima a la orilla, tiene alturas que no sobrepasan los 3 m; este tramo es el más antropizado, donde se localiza el núcleo poblacional de la villa de Bonasse.

En este sector se desarrollan dos actividades fundamentales. Por una parte, es el más usado por los bañistas, debido a las facilidades creadas para estos efectos, como baños, ventas de productos ligeros y parqueos. Por otra parte, se usa para la varada y amarre de embarcaciones pequeñas, asociado a la actividad pesquera, que es la actividad económica fundamental de la zona. (Fotos 27 y 28)



Fotos 27 y 28. Usos fundamentales de la playa de Bonasse. Izquierda: uso en actividades vinculadas a la pesca. Derecha: uso lúdico, utilizado como balneario.

De acuerdo a los perfiles de playa medidos en este sector, la playa de Bonasse tiene una suave pendiente, donde la parte emergida está dominada por vegetación e inmuebles sobre la duna, con una marcada influencia de los ciclos mareales, que hacen que la playa de unos 60 m de ancho en marea baja, se quede con sólo 20 m en marea alta, reduciendo la playa en 40 m con una berma de sólo unos 7 m de ancho (Figura 7).

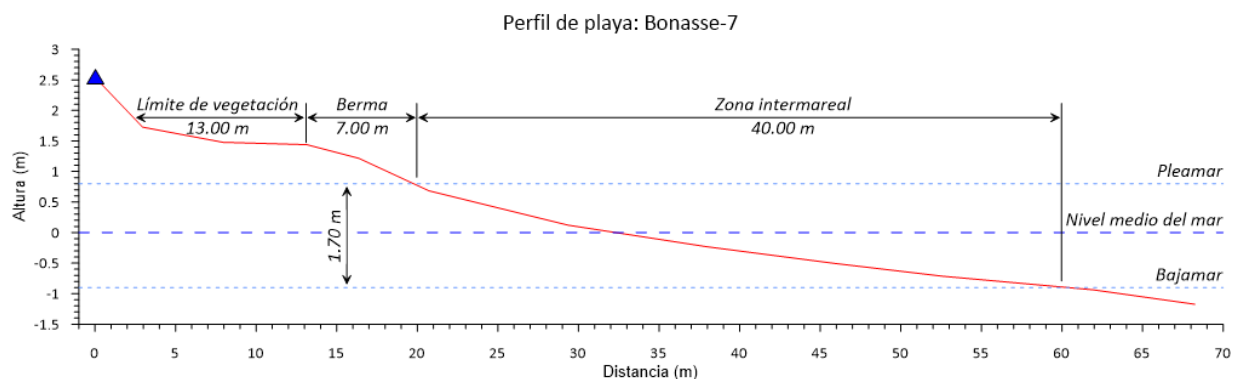


Figura 7. Perfil de playa típica de la playa de Bonasse en el Sector 1.

Las áreas de sol y de baño están constituidas por arenas finas a muy finas, de color pardo, con un alto contenido de material terrígeno. A partir de aproximadamente la profundidad de 1.20 m y a unos 100-120 m de la orilla, los sedimentos van cambiando su textura a areno-fangoso, de color pardo, con matices grises oscuros, hasta que desaparecen las arenas y todo el fondo aparece cubierto de fango, integrándose con los sedimentos presentes en el Golfo de Paria.

Teniendo en cuenta la geomorfología costera de la región, esta distribución de los sedimentos a lo largo del perfil, permite establecer a priori, que el origen de los sedimentos que aparecen en la parte emergida y la pendiente submarina de la playa, están asociados a los aportes de fuentes terrígenas, fundamentalmente de los acantilados existentes aguas arriba, los que llegan a la playa transportados por las corrientes, producidas por el flujo y reflujo de las mareas, y principalmente por las corrientes litorales inducidas por la rotura del oleaje, que se mueven muy próximas a la orilla.

En este sector se aprecian evidencias de la degradación medioambiental, relacionadas con la contaminación y la erosión de la playa, las cuales están asociadas a causas antrópicas y naturales.

Los problemas de contaminación son de causa antrópica y están vinculados al mal manejo de los drenajes y los vertidos domésticos, que arrastran hacia la costa residuos sólidos y líquidos, empobreciendo la calidad de las aguas que bañan la playa y los propios sedimentos que la componen.

Existen en el sector, vertimientos de residuales domésticos directamente al terreno y también estructuras de hormigón que canalizan las aguas residuales y del escurrimiento hacia el mar, sin

un tratamiento previo, lo que constituye sin lugar a dudas, un foco de contaminación de las aguas y los sedimentos de la playa (Fotos 29-34).



Fotos 29 y 30. Presencia de estructura de hormigón que canaliza las aguas residuales y del escurrimiento hacia el mar. Extremo Este Sector 1.



Fotos 31 y 32. Presencia de micro-vertederos de hormigón y cárcava en la playa que canaliza las aguas residuales y del escurrimiento hacia el mar. Parte central Sector 1.



Fotos 33 y 34. Presencia de estructura de hormigón que canaliza las aguas residuales y del escurrimiento hacia el mar. Extremo Oeste Sector 1.

Con relación a los indicios de erosión, debido a la suave pendiente de la playa, las olas en condiciones habituales arriban a la orilla completamente disipadas, por lo que, los indicios de erosión observados no son recientes, son de larga data y se circunscriben a eventos extremos cuando parte de la energía del oleaje se disipa sobre la parte emergida del perfil, dejando huellas de su impacto, además de las medidas tomadas en su momento por los pobladores y autoridades para enfrentar eventos futuros similares (Fotos 35 y 40).



Foto 35. Escarpe de erosión antiguo, suavizado y cubierto por la vegetación.



Foto 36. Retroceso del escarpe de erosión antiguo. Vegetación de duna y post-duna alcanzada por el mar en pleamar.



Foto 37. Muros de protección e inmuebles sobre la playa y escombros de su destrucción por el oleaje.



Foto 38. Vivienda abandonada y muro de protección sobre la playa.



Foto 39. Muro de protección y contención que limita la playa y el vial.



Foto 40. Restos de espigón destruido que aun permanece en la playa.

Sector 2

La geomorfología del sector en un 80% de su extensión está caracterizada por la presencia de elevaciones entre 10-15 m de altura aproximadamente, las cuales en algunos casos extienden sus laderas desde la propia playa y en otros desde una franja plana de hasta 20 m de ancho, cubierta por una densa vegetación (Fotos 41 y 42).



Foto 41. Elevaciones que descansan su ladera en la propia playa.



Foto 42. Elevaciones que descansan su ladera en áreas de la duna de la playa.

Entre estas elevaciones se aprecian, al igual que en el Sector 1, la presencia de vaguadas, por las que drenan aguas asociadas a las lluvias, provenientes de las áreas más altas tierra adentro (Figura 8). Estas vaguadas durante los periodos de seca, mantienen obstruidas las salidas al mar con la basura arrastrada y la formación de bermas, por lo que, en los periodos de lluvias, sobre todo intensas y continuadas, se requiere de apertura permanente para evitar inundaciones en sectores costeros, sobre todo el ubicado en las proximidades del área de amarre y reparación de embarcaciones de Fullerton, donde esta práctica es habitual (B en la Figura 8) (Fotos 43 y 44).



Figura 8. Vaguadas (curvas azules) en el Sector 2 que drenan directamente a la playa.



Foto 43 y 44. Salida al mar de drenajes pluviales a través de las vaguadas. (A y B según Figura 8)

En este sector a pesar de ser el de mayor longitud, la actividad económica fundamental es la pesca y se circunscribe al tramo de playa de 300 m en la fachada del poblado de Fullerton, por lo que en los restantes 1,500 m de playa del sector no se desarrolla ninguna actividad, de hecho, toda esta extensión de playa es completamente virgen (Figura 8).

La playa se caracteriza por presentar un ancho del área de exposición solar reducido, donde en marea alta el nivel del mar puede alcanzar la vegetación y las laderas de las elevaciones, mientras que en marea baja puede alcanzar hasta 30 m de ancho.

En este tramo la pendiente submarina es suave pero superior al Sector 1, lo cual se debe a la distribución de las curvas batimétricas (Plano 1), donde las isobatas son más unidas y se aproximan a la costa, lo cual propicia que el oleaje disipe su energía más próxima a la costa, tanto para condiciones habituales como extremas.

Las áreas de exposición solar y de baño, poseen características similares a las descritas anteriormente para el Sector 1, constituidas por arenas finas a muy finas, de origen terrígeno y color pardo con matices grises, los cuales se distribuyen hasta la profundidad 1.20 m a unos 100-120 m de la línea de costa aproximadamente. Al igual que en el Sector 1, a partir de esta profundidad las arenas comienzan a mezclarse con sedimentos fangosos, hasta que desaparece la arena y todo el fondo aparece cubierto de fango, integrándose con los sedimentos presentes en el Golfo de Paria.

A pesar de que el sector conserva su estado natural y no existe intervención humana, se aprecia un proceso erosivo significativo, donde los principales indicios de erosión son la presencia de

escarpes de erosión, caída de árboles, afloramiento de viejas estructuras por pérdida de arena y el retroceso marcado de la línea de costa, evidenciado por la presencia en primera línea de playa de vegetación que normalmente por su zonación natural, pertenece a áreas de duna y post-duna (Fotos 45-48).



Foto 45. Escarpe de erosión antiguo, suavizado y cubierto por la vegetación.



Foto 46. Caída de árboles bajo la acción del oleaje.



Foto 47. Retroceso del escarpe de erosión antiguo. Vegetación de duna y post-duna alcanzada por el mar en pleamar.



Foto 48. Afloramiento de viejas estructuras por pérdida de arena.

Resumiendo, la playa de Bonasse, como recurso natural, presenta deterioro de sus condiciones físicas y ambientales, resultado de problemas de contaminación por vertidos al mar sin procesar de los drenajes pluviales y desechos líquidos y sólidos de la actividad doméstica fundamentalmente, en detrimento de la calidad de los sedimentos y el agua de mar; así también, se aprecia la existencia de restos de estructuras de hormigón abandonadas y en franco proceso de destrucción, que intervienen desfavorablemente en las condiciones estéticas y funcionales de la playa.

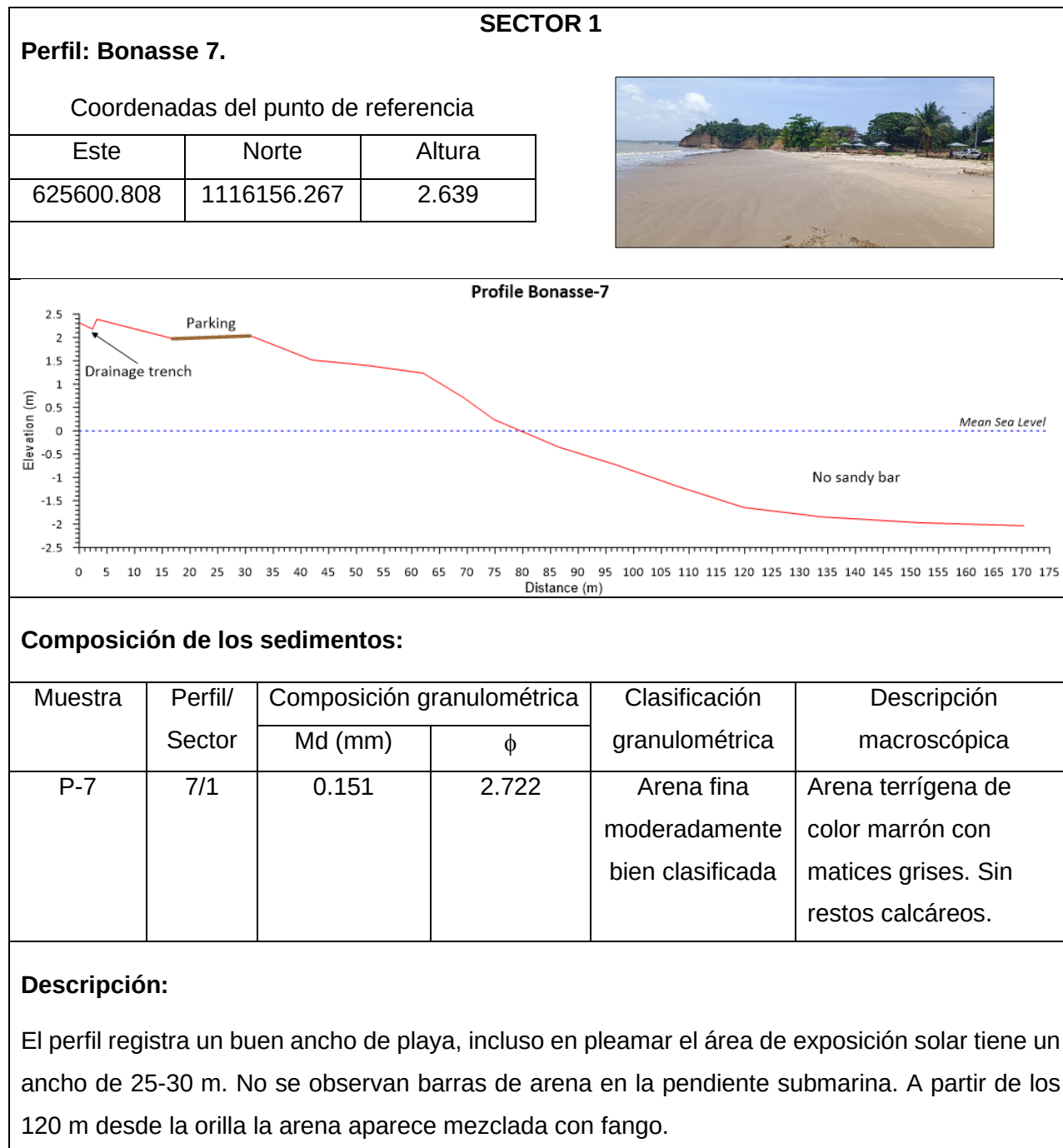
Sin embargo, el principal problema medioambiental, sobre todo en el contexto del Cambio Climático y el ascenso del nivel del mar, es el relativo a la erosión costera que se observa a lo largo de toda la playa, donde se aprecian indicios de erosión que sin lugar a dudas advierten la

presencia inequívoca de este fenómeno, con una intensidad que se puede catalogar de moderada.

Las causas de la erosión son, fundamentalmente naturales, asociadas al desbalance sedimentario de la playa, producto del déficit en los aportes de sedimentos provenientes de los acantilados aguas arriba, lo cual provoca que sean mayores los sedimentos que escapen de la playa por las corrientes litorales, que aquellos sedimentos que ingresan a la playa desde los acantilados, marcando una tendencia erosiva irreversible de manera natural.

A continuación, en la Tabla 5 se sintetizan las características del perfil de playa y los sedimentos presentes en la playa.

Tabla 5. Síntesis de las características de los perfiles y sedimentos de la playa en el frente costero de Bonasse.



SECTOR 1

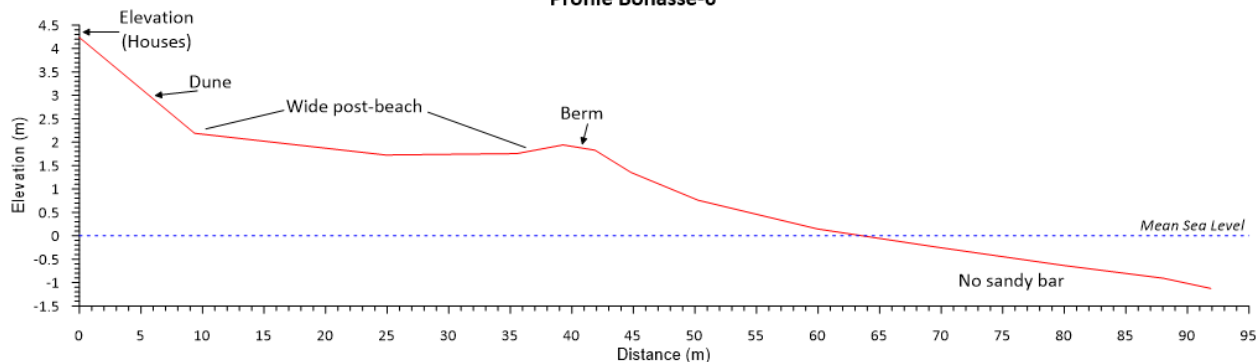
Perfil: Bonasse 6.

Coordenadas del punto de referencia

Este	Norte	Altura
625186.846	1116065.828	4.238



Profile Bonasse-6



Composición de los sedimentos:

Muestra	Perfil/ Sector	Composición granulométrica		Clasificación granulométrica	Descripción macroscópica
		Md (mm)	ϕ		
P-6	6/1	0.159	2.656	Arena fina moderadamente bien clasificada	Arena terrígena de color marrón con matices grises. Sin restos calcáreos.

Descripción:

Perfil con 30 m de ancho del área de exposición solar. Berma recién depuesta que denota un proceso acumulativo. La duna cubierta de vegetación que conecta con una elevación sobre la que existen casas de pobladores. No se observan barras de arena en la pendiente submarina. A partir de los 120 m desde la orilla la arena aparece mezclada con fango.

SECTOR 1

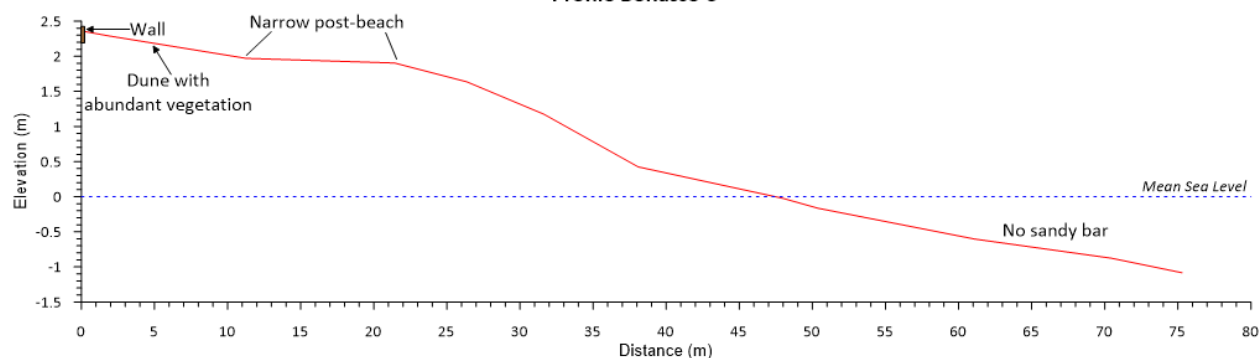
Perfil: Bonasse 5.

Coordenadas del punto de referencia

Este	Norte	Altura
624754.790	1115985.861	2.361



Profile Bonasse-5



Composición de los sedimentos:

Muestra	Perfil/ Sector	Composición granulométrica		Clasificación granulométrica	Descripción macroscópica
		Md (mm)	ϕ		
P-5	5/1	0.147	2.770	Arena fina moderadamente bien clasificada	Arena terrígena de color marrón con matices grises. Sin restos calcáreos.

Descripción:

Perfil con 15 m de ancho del área de exposición solar. Duna estrecha cubierta de vegetación y limitada por un muro y la carretera principal de Bonasse. No se observan barras de arena en la pendiente submarina. A partir de los 120 m desde la orilla la arena aparece mezclada con fango.

SECTOR 1

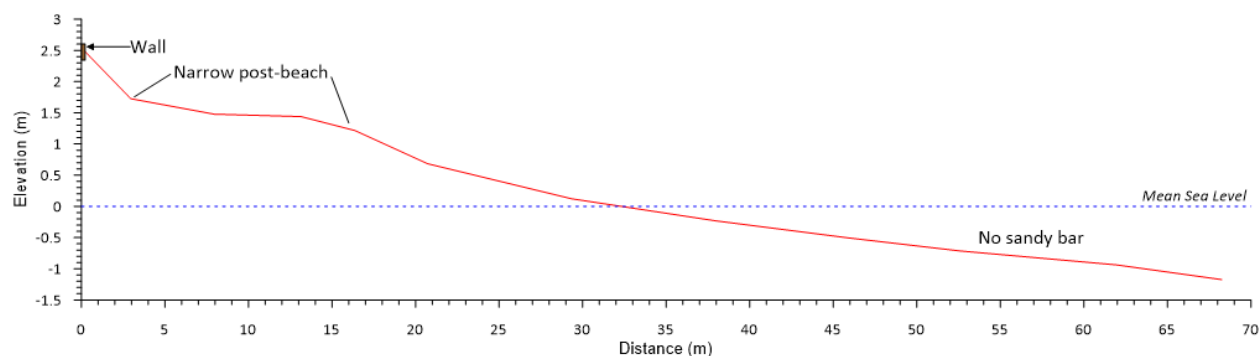
Perfil: Bonasse 4.

Coordenadas del punto de referencia

Este	Norte	Altura
624491.019	1115919.843	2.541



Profile Bonasse-4



Composición de los sedimentos:

Muestra	Perfil/ Sector	Composición granulométrica		Clasificación granulométrica	Descripción macroscópica
		Md (mm)	ϕ		
P-4	4/1	0.202	2.307	Arena fina moderadamente bien clasificada	Arena terrígena de color marrón con matices grises. Sin restos calcáreos.

Descripción:

Perfil con 10 m de ancho del área de exposición solar. No existe duna, en su lugar se encuentra un muro de protección y la carretera que da acceso a las instalaciones de la Guardia Costera. No se observan barras de arena en la pendiente submarina. A partir de los 120 m desde la orilla la arena aparece mezclada con fango.

SECTOR 2

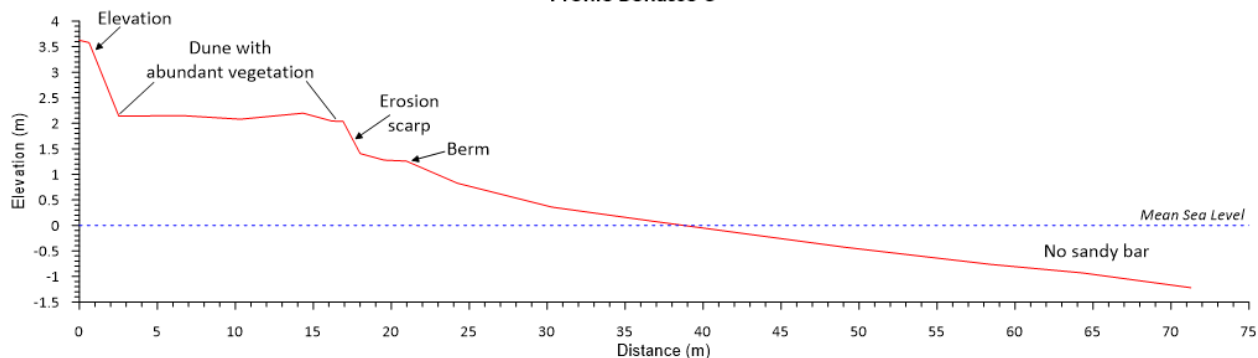
Perfil: Bonasse 3.

Coordenadas del punto de referencia

Este	Norte	Altura
623918.458	1115853.275	3.626



Profile Bonasse-3



Composición de los sedimentos:

Muestra	Perfil/ Sector	Composición granulométrica		Clasificación granulométrica	Descripción macroscópica
		Md (mm)	ϕ		
D-3	3/2	0.171	2.551	Arena fina moderadamente bien clasificada	Arena terrígena de color marrón con matices grises. Sin restos calcáreos.

Descripción:

Perfil con 5-7 m de ancho del área de exposición solar. La duna cubierta por abundante vegetación, que conecta con una elevación también cubierta de abundante vegetación y sin ocupación antrópica. Presencia de escarpe en la base de la duna de 0.50 m. No se observan barras de arena en la pendiente submarina. A partir de los 120 m desde la orilla la arena aparece mezclada con fango.

SECTOR 2

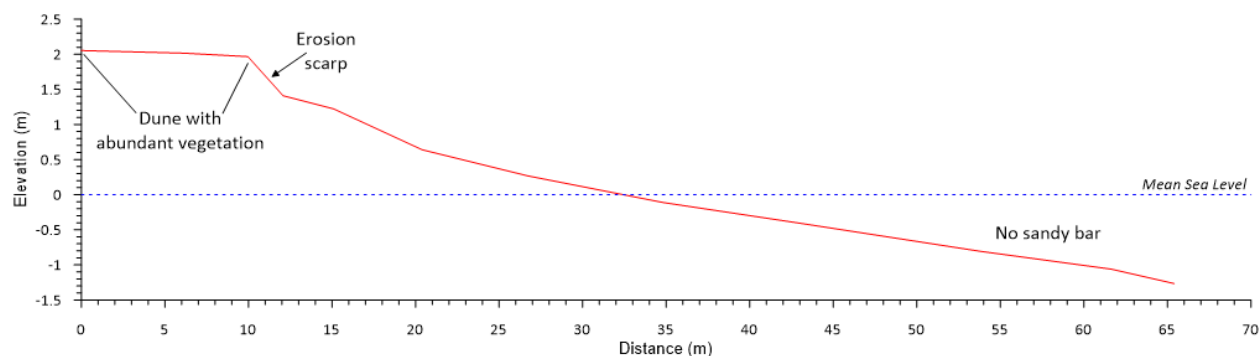
Perfil: Bonasse 2.

Coordenadas del punto de referencia

Este	Norte	Altura
623216.440	1115844.097	2.053



Profile Bonasse-2



Composición de los sedimentos:

Muestra	Perfil/ Sector	Composición granulométrica		Clasificación granulométrica	Descripción macroscópica
		Md (mm)	ϕ		
P-2	2/2	0.188	2.410	Arena fina bien clasificada	Arena terrígena de color marrón con matices grises. Sin restos calcáreos.

Descripción:

Perfil con 5-7 m de ancho del área de exposición solar. La duna cubierta por abundante vegetación. Presencia de escarpe en la base de la duna de 0.60 m. No se observan barras de arena en la pendiente submarina. A partir de los 120 m desde la orilla la arena aparece mezclada con fango.

SECTOR 2

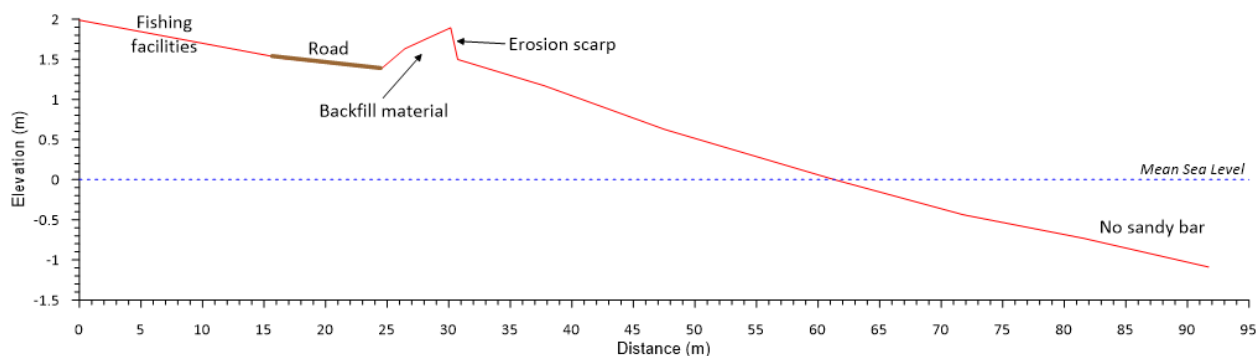
Perfil: Bonasse 1.

Coordenadas del punto de referencia

Este	Norte	Altura
622917.670	1115834.242	1.988



Profile Bonasse-1



Composición de los sedimentos:

Muestra	Perfil/ Sector	Composición granulométrica		Clasificación granulométrica	Descripción macroscópica
		Md (mm)	ϕ		
P-1	1/2	0.180	2.473	Arena fina bien clasificada	Arena terrígena de color marrón con matices grises. Sin restos calcáreos.

Descripción:

Perfil con 5-7 m de ancho del área de exposición solar. No existe duna, en su lugar se encuentra un vial e instalaciones dedicadas a la actividad pesquera del poblado de Fullerton. Existencia de material de relleno proveniente del vial. Se aprecia escarpe en la base del relleno de 0.50 m. No se observan barras de arena en la pendiente submarina. A partir de los 120 m desde la orilla la arena aparece mezclada con fango.

La descripción de las características morfológicas y la sedimentología de los perfiles de playa de Bonasse revelan la no existencia de barras de arena a lo largo de la costa, lo que indica que no hay un transporte de sedimentos onshore-offshore significativo.

A pesar de todos los indicios de erosión observados, estos no muestran una playa con una erosión intensa, cuyos efectos quedan enmascarados por la amplitud de la marea, donde en momentos de bajamar se aprecia una playa de poco más de 30 m de ancho, en contraposición con los apenas 7-10 m de ancho en pleamar.

De acuerdo a trabajos realizados en el Instituto de Asuntos Marítimos (IMA) por el Departamento de Geomática, utilizando el Digital Shoreline Analysis System (DSAS) dentro del software Esri ArcGIS para evaluar el cambio de la línea de costa, se calculó el movimiento neto de la línea de costa a lo largo de transectos en la bahía de Bonasse, y se midió un cambio positivo medio de 0.29 m/año a lo largo del período comprendido entre 1994 y 2014. También se llevó a cabo un análisis para determinar la tasa de cambio de la línea de costa para dos períodos: 1994-2007 y 2007-2014.

Los resultados muestran que la bahía de Bonasse, se erosionó a un ritmo de -0.15 m/año entre 1994 y 2007 y se acrecentó a un ritmo de 0.33 m/año entre 2007 y 2014. De acuerdo a este estudio, la playa pasó de estar en proceso de erosión a estar en proceso de acumulación.

Sin embargo, otro estudio del IMA sobre la base del análisis morfológico de dos perfiles de playa de Bonasse para el periodo 2011-2018 (Figuras 9 y 10), muestran un retroceso del ancho de playa entre -0.80 y -0.44 m/año, respectivamente, por lo que puede decirse que para ese periodo se registró como promedio una pérdida del ancho de playa de -0.62 m/año.

Los resultados de ambos estudios difieren sustancialmente. Para nuestro trabajo asumimos como tasa de retroceso de la línea de costa el valor de -0.62 m/año.

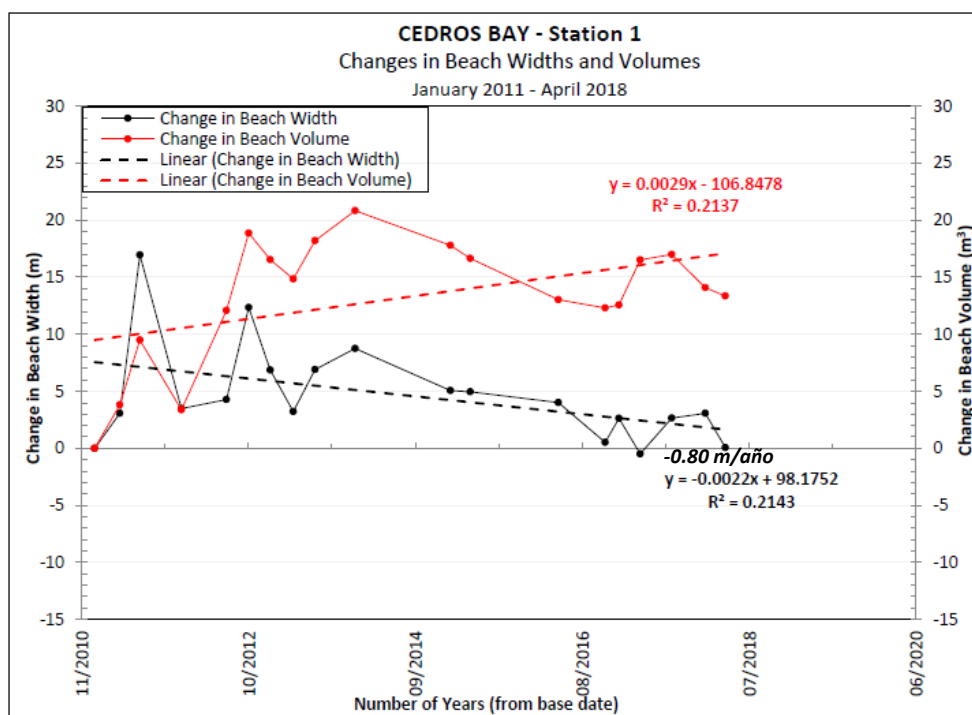


Figura 9. Evolución del volumen y ancho de playa en el periodo 2011-2018. Estación 1, Cedros Bay. Fuente: Instituto de Asuntos Marítimos (IMA).

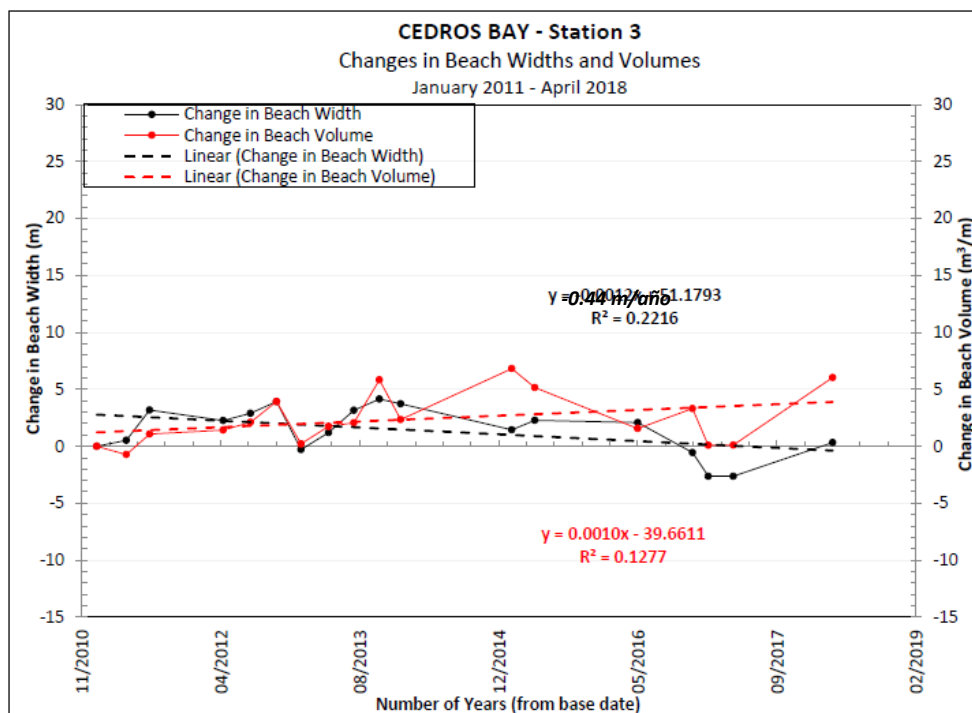


Figura 10. Evolución del volumen y ancho de playa en el periodo 2011-2018. Estación 3, Cedros Bay. Fuente: Institute of Marine Affairs.

IV.5. Características del régimen hidrodinámico.

La morfología de la zona costera que caracteriza la región de estudio, constituida por acantilados, salientes rocosos, playas y bahías, son el resultado de la interacción de las olas, las corrientes y las mareas (Park y Edge, 2011) y al hacerlo, contribuyen a los cambios de la línea de costa, como la erosión (Coelho et al., 2009). Las acciones antrópicas, sin una fundamentación científica ha acelerado en algunos casos los impactos negativos a que se ve sometida la zona costera, independientemente del efecto que producen las mareas en las costas, que ha sido bien documentado e identificado como el responsable del transporte de sedimentos en estuarios y entornos de mareas en todo el mundo (Masselink y Hughes, 2003).

La zona de estudio está influenciada por un gran giro anticiclónico que caracteriza sus patrones de corriente (Gopaul y Wolf, 1995) y un flujo residual de Sur a Norte alimentado por la corriente de Guayana (van Andel y Postma, 1954), y según Oostdam (1982), los flujos que se producen a través de la Boca de las Serpientes, registran velocidades de fondo de 17 cm/s y está dominado por un patrón de flujo hacia el Norte que se dirige a la costa, asimismo expone que la afluencia de agua a través de la Boca de las Serpientes retorna parcialmente hacia el Sur, tanto en las capas de fondo como en las de superficie, en forma de remolino. Las corrientes litorales tienen una dirección predominante hacia el Sur y son generadas por las olas.

Los procesos ondulatorios también desempeñan un papel fundamental en el transporte de sedimentos y por extensión, en la erosión de la zona de estudio, donde el periodo del oleaje presenta ciclos inferiores a 4 s, generados por los vientos Alisios del Noreste que dan lugar a olas de viento que oscilan entre 0.39 m y 0.46 m (Deane, 1973). Sin embargo, los eventos de oleaje que se producen principalmente en la temporada de huracanes (de junio a noviembre) generan olas con alturas que oscilan entre 0.76 m y 1.5 m (Deane, 1973). Las mareas son micromareales con un rango de sicigia y cuadratura de aproximadamente 1.5 m.

Los resultados de los análisis granulométricos de los sedimentos de la playa de Bonasse (Anexo 2), muestran que está constituida por arenas cuarzosas de grano fino a muy fino y una baja presencia de limos, de color marrón claro, y a una distancia de unos 100 m de la línea de costa, se hace totalmente arcillosa, coincidiendo con la composición mineralógica y sedimentológica de los acantilados que se localizan aguas arriba, los cuales constituyen las fuentes de origen de los sedimentos presentes en la playa de Bonasse y las demás playas que se encuentran aguas abajo (Figura 11).

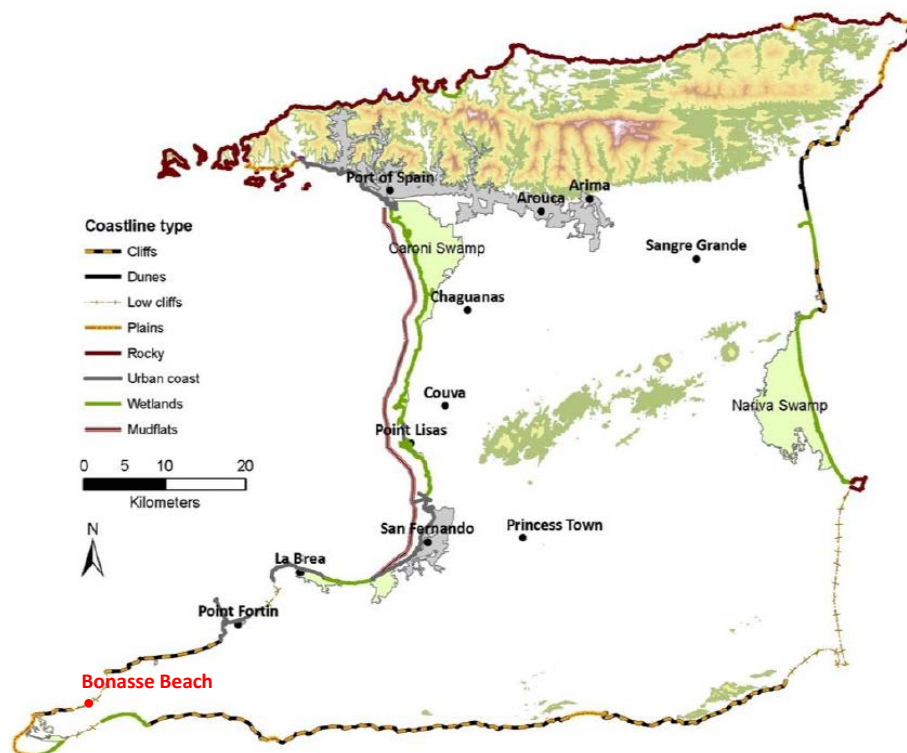


Figura 11. Clasificación del tipo de costa de Trinidad. Fuente: Informe para Trinidad y Tobago sobre la red de vigilancia de playas. Fuente: IMA (2021).

Es de considerar que la región en su conjunto forma parte de un sistema muy dinámico debido a su entorno geográfico y oceanográfico, asociado a la continua erosión que sufren los acantilados, influyendo directamente en la evolución del litoral.

Los indicadores geomorfológicos observados muestran que los factores más influyentes en el transporte de sedimentos de Bonasse y las playas vecinas, están asociados al régimen de oleaje asociado a las condiciones medias anuales y las condiciones extremas durante eventos de tormentas, así como a las corrientes marinas principalmente durante el reflujo mareal, con especial atención a las corrientes litorales producidas por la rotura del oleaje que en definitiva son las responsables del transporte de sedimentos próximo a la costa.

Trinidad y Tobago se encuentra bajo la influencia permanente de los vientos Alisios, los cuales tienen carácter planetario y proceden del primer y segundo cuadrantes.

Parte de la información climatológica con la que se realizaron los análisis y valoraciones para este proyecto, ha sido proporcionada por Servicio Meteorológico de Trinidad y Tobago (TTMS), a través del Instituto de Asuntos Marítimos (IMA).

Se contó con los datos horarios diarios de las estaciones automáticas de Piarco y Chatham, las cuales poseen registros de dirección y velocidad del viento, desde el año 2001-2020 y 2016-2020, respectivamente.

La estación automática de Piarco se ubica en el Aeropuerto Internacional de Piarco, a 79 km de la playa de Bonasse y la estación automática de Chatham se localiza a 14 km de la playa de Bonasse. Entre ambas estaciones hay 68 km.

A partir de los registros de la estación automática de Piarco, se construyó la rosa de vientos que recoge los 20 años de mediciones entre 2001-2020 (Figura 12), previo filtrado de la serie para descartar datos erróneos o perdidos. Los datos horarios fueron promediados para reducirlos a un dato diario, en el caso de la velocidad del viento para determinar el valor medio se calculó directamente la media aritmética y en el caso de la dirección del viento para determinar el valor medio se calculó la media angular.

Del mismo modo, se construyó la Tabla 6, donde se resume el volumen de observaciones desglosados por clases (segmentos de velocidad) y rumbos.

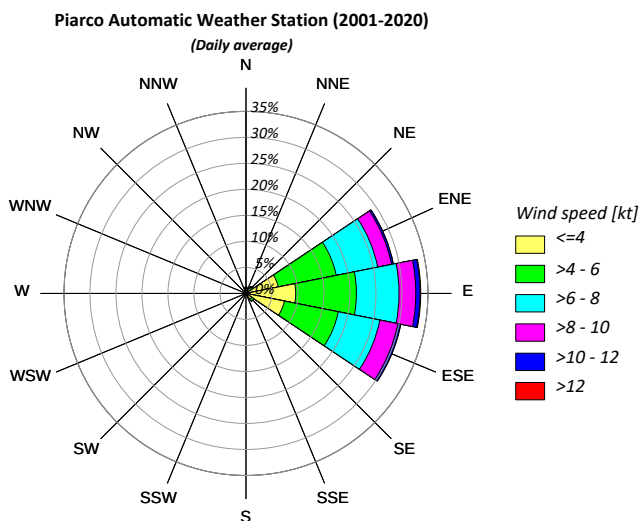


Figura 12. Rosa de vientos para todos los rumbos. Estación automática de Piarco. Periodo de medición 2001-2020. (Datos proporcionados por IMA).

Tabla 6. Resumen de los vientos por rumbos para la estación automática de Piarco

Direcciones	Velocidad del viento (kt)						Frecuencia
	< 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 12	> 12	
N	44	24	10	7	2	0	1.22%
NNE	36	11	2	0	0	0	0.69%
NE	84	25	4	3	1	0	1.64%
ENE	453	812	582	194	25	1	28.91%
E	684	835	586	230	59	9	33.61%
ESE	538	756	583	253	38	4	30.38%
SE	95	34	5	0	0	0	1.87%
SSE	19	1	0	0	0	0	0.28%
S	16	0	0	0	0	0	0.22%
SSW	10	0	0	0	0	0	0.14%
SW	11	1	0	0	0	0	0.17%
WSW	14	1	0	0	0	0	0.21%
W	14	1	0	0	0	0	0.21%
WNW	11	0	0	0	0	0	0.15%
NW	5	0	0	0	0	0	0.07%
NNW	15	1	0	0	0	0	0.22%
Total	2049	2502	1772	687	125	14	100.00%

De acuerdo a la rosa de viento y la tabla anterior, los vientos provenientes del Este Noreste al Sureste, representan el 94.77 % del total de casos de los registros, lo que demuestra la marcada influencia de los vientos Alisios sobre Trinidad y Tobago. La velocidad media del viento registrada para Piarco fue de 5.31 kt (9.83 km/h) y la máxima de 96.00 kt (177.79 km/h).

A pesar de que la Estación Automática de Chatham solo cuenta con datos entre 2016-2020 (4 años), y que, además, existen varios periodos vacíos en la base de datos, con la información disponible también se construyó la rosa de vientos y la tabla resumen del volumen de observaciones desglosados por segmentos de velocidad y rumbos. (Figura 13 y Tabla 7)

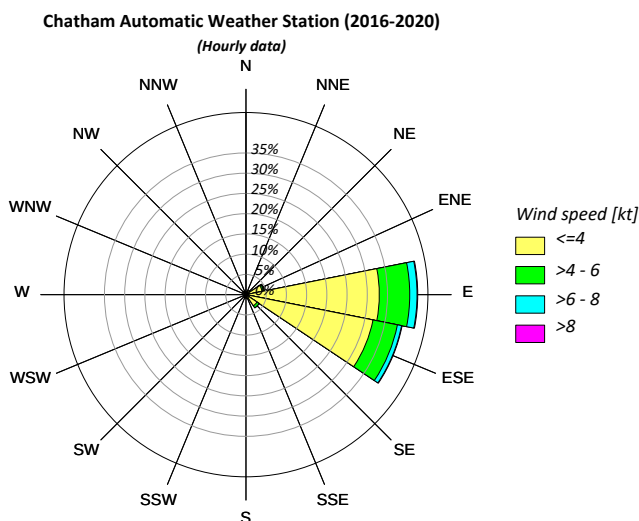


Figura 13. Rosa de vientos para todos los rumbos. Estación automática de Chatham. Periodo de medición 2016-2020. (Datos proporcionados por IMA).

Tabla 7. Resumen de los vientos por rumbos para la estación automática de Chatham.

Direcciones	Velocidad del viento (kt)				Frecuencia
	< 4	4 - 6	6 - 8	> 12	
N	200	7	1	0	0.75%
NNE	211	0	0	0	0.76%
NE	333	7	0	0	1.23%
ENE	1128	128	28	3	4.65%
E	9121	2081	500	47	42.48%
ESE	8860	1701	291	37	39.37%
SE	910	169	11	0	3.94%
SSE	282	2	0	0	1.03%

Direcciones	Velocidad del viento (kt)				Frecuencia
	< 4	4 - 6	6 - 8	> 12	
S	211	3	0	0	0.77%
SSW	232	10	0	0	0.87%
SW	158	3	3	0	0.59%
WSW	124	7	0	0	0.47%
W	135	10	2	0	0.53%
WNW	162	21	3	1	0.68%
NW	201	41	11	1	0.92%
NNW	198	57	7	0	0.95%
Total	22466	4247	857	89	100.00%

De acuerdo a la rosa de viento y la tabla anterior, los vientos provenientes del Este Noreste al Sureste, representan el 90.44 % del total de casos de los registros, lo cual está en correspondencia con el comportamiento de los vientos registrados por la estación de Piarco. La velocidad media del viento registrada para Chatham fue de 2.94 kt (5.44 km/h) y la máxima de 15.60 kt (28.89 km/h).

Los vientos que más influencia tienen sobre la playa de Bonasse y el campo de oleaje que llega a su costa, son las provenientes del Oeste al Noreste, las cuales apenas totalizan el 5.82 % en los registros de la Estación Automática de Chatham y el 4.20 % en los registros de la Estación Automática de Piarco, porcentajes realmente bajos y que probablemente sean el resultado de situaciones meteorológicas locales que se generan y desarrollan en el Golfo de Paria.

Teniendo en cuenta la carencia de información instrumental de estaciones meteorológicas o boyas oceanográficas emplazadas en el Golfo de Paria, y con vistas a suplir el vacío de información necesaria para una correcta evaluación de las condiciones hidrometeorológicas medias anuales en el golfo, se solicitó información de vientos y oleaje de la Serie ICOADS (International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set), perteneciente a The Research Data Archive (RDA) del National Center for Atmospheric Research in Boulder, Colorado, USA.

La Serie ICOADS recopila información visual e instrumental meteorológica y oceanográfica aportada por barcos en ruta, plataformas y boyas. Para nuestro estudio se solicitó información del Golfo de Paria para el periodo 1912-2014.

Luego de filtrada la serie para eliminar datos vacíos o errores, con la información de velocidad y dirección del viento, se construyó la rosa de vientos (Figura 14) y la tabla resumen del volumen de observaciones desglosados por segmentos de velocidad y rumbos (Tabla 8) tal como se realizó para la Estación Automática de Piarco y la Estación Automática de Chatham.

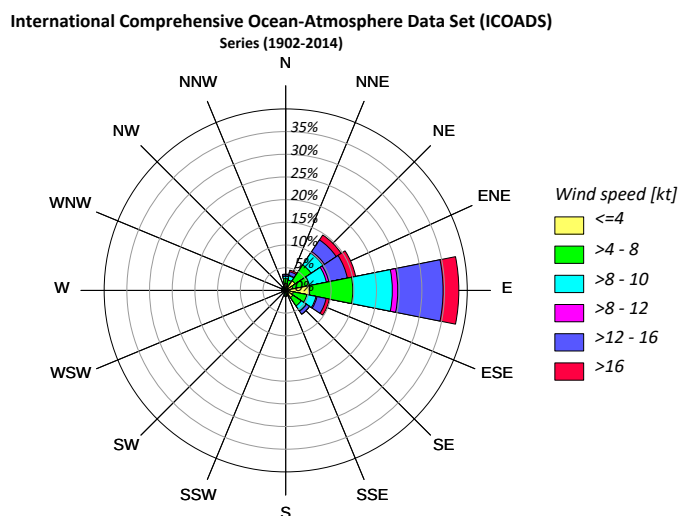


Figura 14. Rosa de vientos para todos los rumbos. Serie ICOADS 1902-2014, con información de buques en ruta y plataformas petroleras en el Golfo de Paria.

Tabla 8. Resumen de los vientos por rumbos. Serie ICOADS 1902-2014. Golfo de Paria.

Direcciones	Velocidad del viento (kt)						Frecuencia
	<=4	4 - 8	8 - 10	8 - 12	12 - 16	>16	
N	278	203	97	10	63	17	3.59%
NNE	187	246	174	21	150	67	4.55%
NE	472	783	585	71	577	243	14.69%
ENE	303	688	705	99	778	347	15.71%
E	982	1765	1620	222	1854	646	38.14%
ESE	316	562	382	45	381	138	9.81%

Direcciones	Velocidad del viento (kt)						Frecuencia
	<=4	4 - 8	8 - 10	8 - 12	12 - 16	>16	
SE	348	413	247	11	150	10	6.34%
SSE	67	78	42	5	22	0	1.15%
S	99	93	36	4	14	0	1.32%
SSW	15	33	18	1	8	0	0.40%
SW	53	46	24	0	15	0	0.74%
WSW	23	35	8	4	4	0	0.40%
W	78	74	14	2	1	0	0.91%
WNW	27	34	8	1	2	0	0.39%
NW	71	74	31	1	10	0	1.01%
NNW	48	66	23	5	11	2	0.83%
Total	3367	5193	4014	502	4040	1470	100.00%

Como se observa en la rosa de vientos y la tabla anterior, el mayor porcentaje de ocurrencia de los vientos en el Golfo de Paria corresponde a las direcciones Noreste al Este Sureste, los cuales representan el 78.35 % del total de casos de los registros, lo cual está en correspondencia con el comportamiento de los vientos registrados para las estaciones de Piarco y Chatham. La velocidad media del viento registrada para el Golfo de Paria de acuerdo a la serie ICOADS, fue de 8.78 kt (16.26 km/h) y la máxima de 36.93 kt (68.39 km/h).

Tomando en cuenta la información aportada por las Estaciones Automáticas de Piarco y Chatham, así como la ofrecida por la Serie ICOADS, se puede afirmar que, en el área de estudio, existe un predominio de los vientos de componente Este, gobernados por los vientos Alisios, los cuales tienen una ocurrencia superior al 87 % de los casos registrados.

Sin embargo, por la orientación de la línea de costa y su configuración, estas direcciones de los vientos tienen poca influencia en los procesos hidrodinámicos que tienen lugar próximo a la costa

de Bonasse Beach, donde las direcciones del viento y el oleaje que mayor impacto podrían ocasionar son las comprendidas del Oeste al Noreste.

De los registros de la Serie ICOADS y la Figura 14 y Tabla 8, se puede apreciar que, de las direcciones Oeste al Noreste, ocurre el 24.67 % de los casos, que en términos de tiempo significa 2.96 meses al año con vientos de esas direcciones.

La Serie ICOADS además proporciona datos de oleaje (dirección, periodo y altura). A partir de los resultados del análisis de vientos, y tomando en cuenta las direcciones de interés para la zona de estudio, se filtró la serie y se redujo a estas direcciones. En la Figura 15 se presenta la rosa de oleaje (Hs) para todas las direcciones y en la Figura 16 la rosa de oleaje (Hs) para las direcciones de interés, así como las tablas resúmenes del volumen de observaciones desglosados por segmentos de velocidad y rumbos (Tablas 9 y 10).

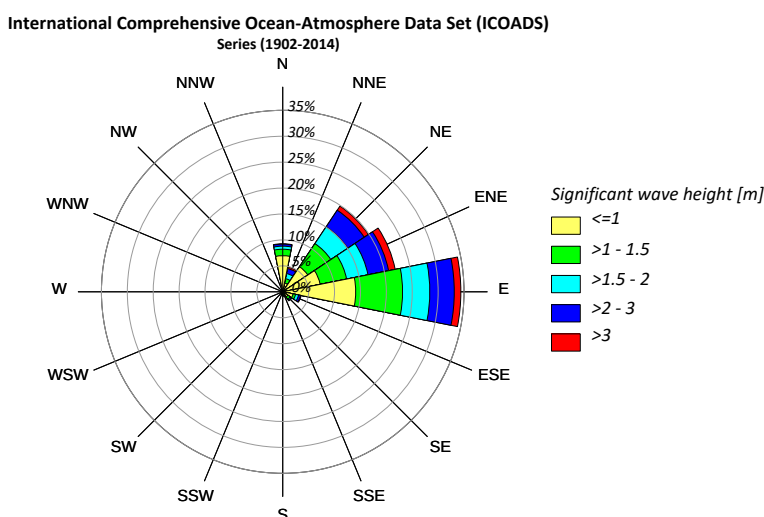


Figura 15. Rosa de oleaje para todos los rumbos. Serie ICOADS 1902-2014, con información de buques en ruta y plataformas petroleras en el Golfo de Paria.

Tabla 9. Resumen del oleaje por rumbos. Serie ICOADS 1902-2014. Golfo de Paria.

Direcciones	Altura de ola significativa (m)					Frecuencia
	<=1	1 - 1.5	1.5 - 2	2 - 3	>3	
N	285	51	24	16	3	9.27%
NNE	70	36	41	40	12	4.87%

Direcciones	Altura de ola significativa (m)					Frecuencia
	≤1	1 - 1.5	1.5 - 2	2 - 3	>3	
NE	238	219	160	157	39	19.88%
ENE	301	213	172	166	53	22.13%
E	576	370	215	193	52	34.38%
ESE	83	20	24	16	5	3.62%
SE	48	22	9	5	2	2.10%
SSE	26	6	4	0	1	0.90%
S	12	10	2	3	0	0.66%
SSW	4	2	1	0	1	0.20%
SW	8	2	1	4	2	0.42%
WSW	5	4	2	1	1	0.32%
W	8	5	3	0	0	0.39%
WNW	1	6	1	3	2	0.32%
NW	5	0	1	3	0	0.22%
NNW	3	6	0	4	0	0.32%
Total	1673	972	660	611	173	100.00%

De la rosa de oleaje y la tabla resumen referentes a todas las direcciones, del Noreste al Este tiene lugar el mayor porcentaje de ocurrencia de las olas que se registraron en el Golfo de Paria (76.39 %), lo que está totalmente en correspondencia con los resultados de los análisis de las series de vientos. Asimismo, se denota que para las direcciones del Norte al Noreste se registró el 34.02 % de los casos, direcciones del oleaje que sí tienen influencia directa en la dinámica litoral de la playa de Bonasse.

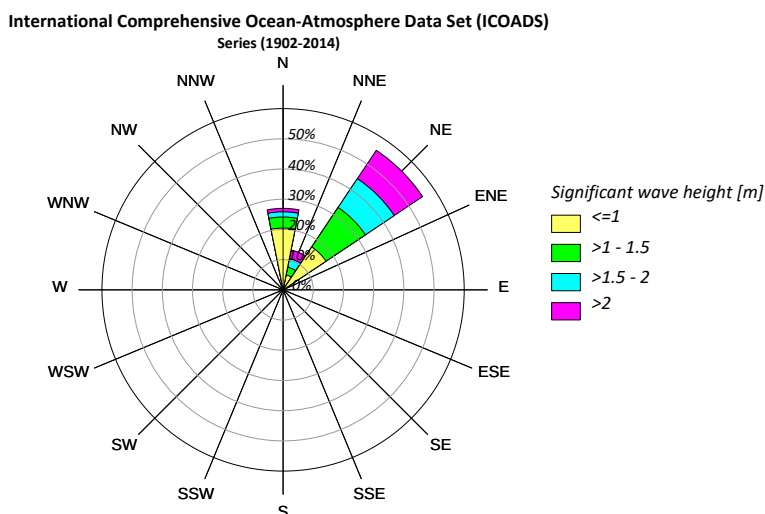


Figura 16. Rosa de oleaje para rumbos de interés. Serie ICOADS 1902-2014, con información de buques en ruta y plataformas petroleras en el Golfo de Paria.

Tabla 10. Resumen del oleaje para rumbos de interés. Serie ICOADS 1902-2014. Golfo de Paria.

Direcciones	Altura de ola significativa (m)				Frecuencia
	<=1	1 - 1.5	1.5 - 2	>2	
N	285	51	24	16	26.99%
NNE	70	36	41	40	13.42%
NE	238	219	160	157	55.56%
WSW	2	2	2	1	0.50%
W	8	5	3	0	1.15%
WNW	1	6	1	3	0.79%
NW	5	0	1	3	0.65%
NNW	3	6	0	4	0.93%
Total	612	325	232	224	100.00%

El resultado más significativo del filtrado de la Serie ICOADS para las direcciones de interés que se presentan en la Figura 16 y Tabla 10, es que para esas direcciones el 95.97 % de los casos

pertenecen a las direcciones del Norte al Noreste. Además, el 64 % de las alturas de olas significante (H_s) registradas no sobrepasan 1.5 m de altura.

A partir de la Serie ICOADS filtrada para las direcciones de interés, se determinaron los regímenes medios anuales de los parámetros de estado de mar, altura de ola signficante (H_s) y período de pico (T_p) en profundidades indefinidas para el Golfo de Paria.

Estos regímenes medios representan las condiciones medias anuales del oleaje para el Golfo de Paria, donde no se tienen en cuenta los oleajes provenientes de tormentas tropicales, considerando estas últimas de interés para establecer el régimen extremal del oleaje en el golfo.

Para la elaboración de los regímenes medios se han utilizado los datos de oleaje visual descritos anteriormente, los cuales han sido dibujados en un papel probabilístico Gumbel de máximos (Figura 17 y 18), cuya metodología se expone más adelante en este capítulo.

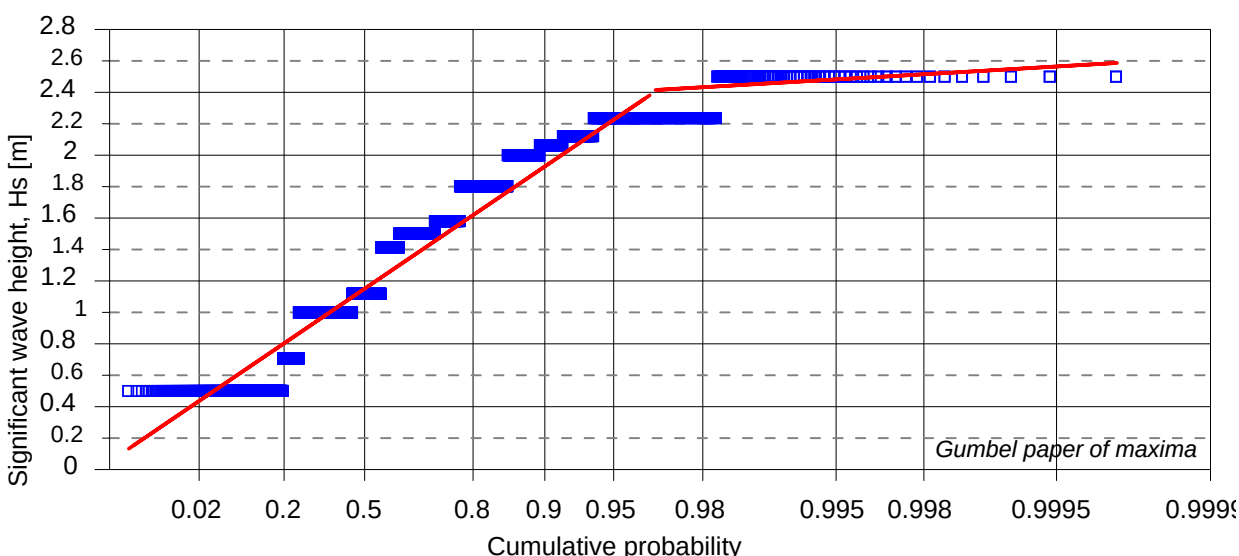


Figura 17. Régimen medio de altura de oleaje signficante (H_s) para profundidades indefinidas en el Golfo de Paria. Serie ICOADS 1902-2014.

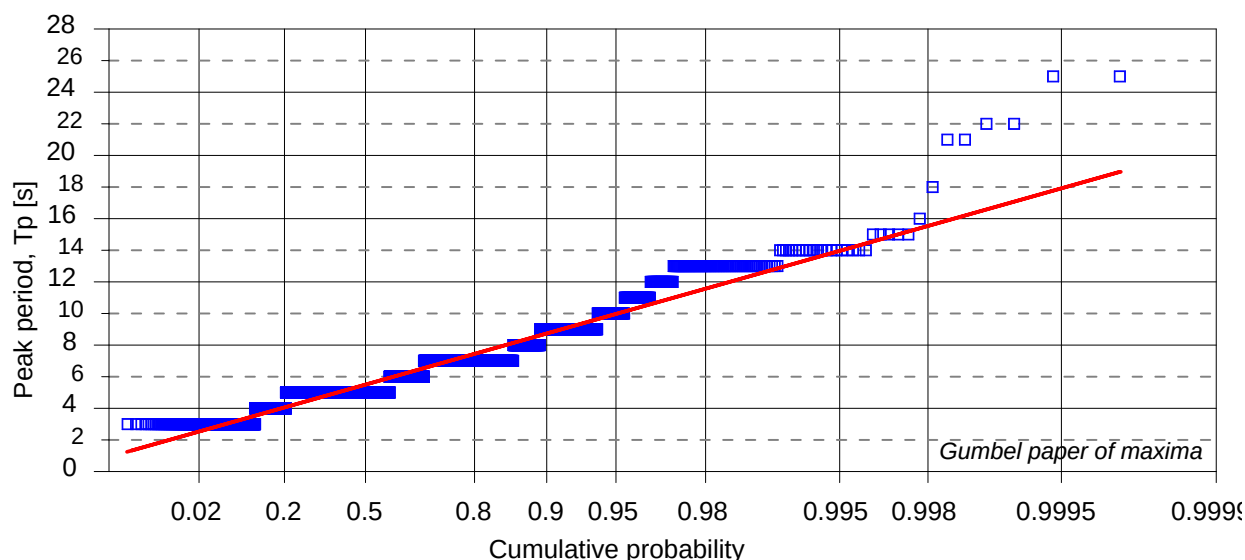


Figura 18. Régimen medio de periodo de pico (T_p) para profundidades indefinidas en el Golfo de Paria. Serie ICOADS 1902-2014.

Dado el origen y las limitaciones de las fuentes de información utilizadas para caracterizar el viento y el oleaje, se ha optado por estimar el régimen extremal del oleaje a partir de datos de vientos y presión atmosférica, asociados a organismos tropicales.

En este trabajo se analizaron las trayectorias de los huracanes que afectaron a Trinidad y Tobago entre 1851 y 2021. Aunque algunos de ellos al deslizarse por las proximidades del territorio nacional ostentaban una categoría inferior, desde el punto de vista ingenieril, se pueden considerar como eventos erosivos de carácter extremo.

Particularmente la zona de interés del proyecto, se encuentra confinada dentro del Golfo de Paria, cuyas profundidades y extensión, constituyen un obstáculo natural, que impide el desarrollo de las olas de tormenta generadas por organismos ciclónicos, en su desplazamiento de Este a Oeste por el golfo, al encontrarse limitados por calado y fetch. El oleaje generado por tormentas que se desplazan por el mar Caribe próximo a Trinidad y Tobago, deben rebasar los estrechos formados por la Boca del Dragón, con lo cual el oleaje que llega a la zona de estudio por esta vía, también tendrá limitado su desarrollo.

Sin embargo, el fenómeno de la marea de tormenta o surgencia, asociado a este tipo de organismos, sí constituye un elemento a tener en cuenta en las actuaciones costeras, por cuanto genera una sobreelevación del nivel del mar que trae consigo la llegada de mayores olas, lo cual

hace que el proceso de transformación del oleaje sea especialmente importante en diferentes escenarios.

La marea de tormenta es el ascenso del nivel medio del mar debido a la acción de los vientos de los ciclones tropicales sobre una región del océano. Esta marea dura de 12 horas a 3 días, puede causar inundaciones en las zonas bajas, colindantes a la costa, y oleaje que impacte sobre las estructuras y construcciones cercanas al mar, así como la remoción de la arena de las playas por el impacto directo de las olas y las corrientes inducidas por estas. Estos impactos se ven incrementados cuando se combinan la pleamar de la marea astronómica con la marea de tormenta.

La lista de organismos tropicales que afectaron al país entre el 2000 – 2020, fue facilitada por el Servicio Meteorológico de Trinidad y Tobago, a través del IMA, la cual fue verificada y ampliada con información disponible en el sitio web del US National Hurricane Centre.

Trinidad y Tobago históricamente ha sido afectado por 24 eventos ciclónicos: 5 casos con la categoría de depresión tropical (TD), 10 casos con la categoría de tormenta tropical (TS) y 9 con la categoría de huracán (H), de ellos 7 huracanes de categoría 1 (H1), 1 huracán de categoría 2 (H2) y 3 huracanes de categoría 4 (H4), de acuerdo a la escala Saffir-Simpson (Simpson, 1974), durante el período 1851-2021 (Tabla 6).

Tabla 11. Lista de tormentas históricas que han afectado a Trinidad y Tobago.

Mes	TD	TS	H1	H2	H3	H4	H5	Total
Junio	-	1	1	-	-	-	-	2
Julio	1	1	1	-	-	-	-	3
Agosto	3	5	1	-	-	-	-	9
Septiembre	1	2	2	1	-	1	-	7
Octubre	-	-	2	-	-	-	-	2
Noviembre	-	1	-	-	-	-	-	1
Totales	5	10	7	1	0	1	0	24
Porcentaje	21%	42%	29%	4%	0%	4%	0%	100%

Se puede concluir que:

- a) Desde el año 1851 hasta el 2021 se cumplieron 170 años de registros de tormentas, y solo 24 tormentas han afectado al país. El mayor porcentaje (42%) corresponde a Tormentas Tropicales, el 92% agrupa a las tormentas entre Depresión Tropical y Huracán categoría 1.
- b) Solamente en una ocasión el país fue afectado por un huracán de gran intensidad, huracán de categoría 4 (huracán Iván en el año 2004)
- c) En solo una ocasión se ha sufrido la afectación de 2 o más eventos ciclónicos en el mismo año, 1 Depresión Tropical, 1 Tormenta Tropical y 1 Huracán categoría 4 en el año 2004.
- d) Los meses de mayor peligrosidad para el país son agosto y septiembre, con 16 organismos tropicales del total de 24 que han afectado el territorio. Lo que significa que en esos meses ocurre el 67% de las afectaciones totales.
- e) Específicamente, en el mes de septiembre han ocurrido los huracanes más intensos. Huracán Flora (H2) en 1963 y Huracán Iván (H4) en 2004.

En la naturaleza las perturbaciones ciclónicas constituyen procesos aleatorios que para la planificación y diseño están basados en eventos futuros, cuya magnitud y frecuencia, en términos de intensidad de los vientos, lluvias, oleaje o inundaciones por surgencia, no puede predecirse, se debe recurrir a estudios de la probabilidad y frecuencia de alguno de estos parámetros.

El periodo de retorno de un evento extremo, es la frecuencia con la que se presenta dicho evento y su grado de magnitud está relacionado de forma inversa con su periodicidad.

Para el cálculo del periodo de retorno de los ciclones tropicales que afectaron Trinidad y Tobago, se utilizó el parámetro de intensidad de los vientos, el cual está asociado a la presión atmosférica en el ojo del meteoro, y define las diferentes categorías expresadas en la escala Saffir-Simpson.

Para ello se utilizó la distribución de Gumbel, para modelar la distribución de los valores extremos máximos, cuyos resultados se representan en un papel probabilístico Gumbel de máximos (Figura 19, Tabla 12). El procedimiento fue el siguiente:

1. Extracción de información relevante de la serie de tormentas históricas HURDAT en el periodo 1851-2021. (en total 1936 tormentas en 170 años).
2. Extracción de información relevante de la serie de tormentas históricas HURDAT en el periodo 1851-2021. (en total 24 tormentas impactaron las costas de Trinidad y Tobago en 170 años de registros).

3. Ordenamiento de la serie de tormentas históricas que afectaron Trinidad y Tobago, de manera descendente, utilizando el parámetro de velocidad de vientos máximos sostenidos, para determinar el periodo de retorno y su correspondiente probabilidad de excedencia.
4. Ajuste del conjunto de datos a una distribución acumulativa Gumbel de máximos para estimar el periodo de retorno para ciclones tropicales.
5. Representación del conjunto de datos en un papel probabilístico Gumbel de máximos.

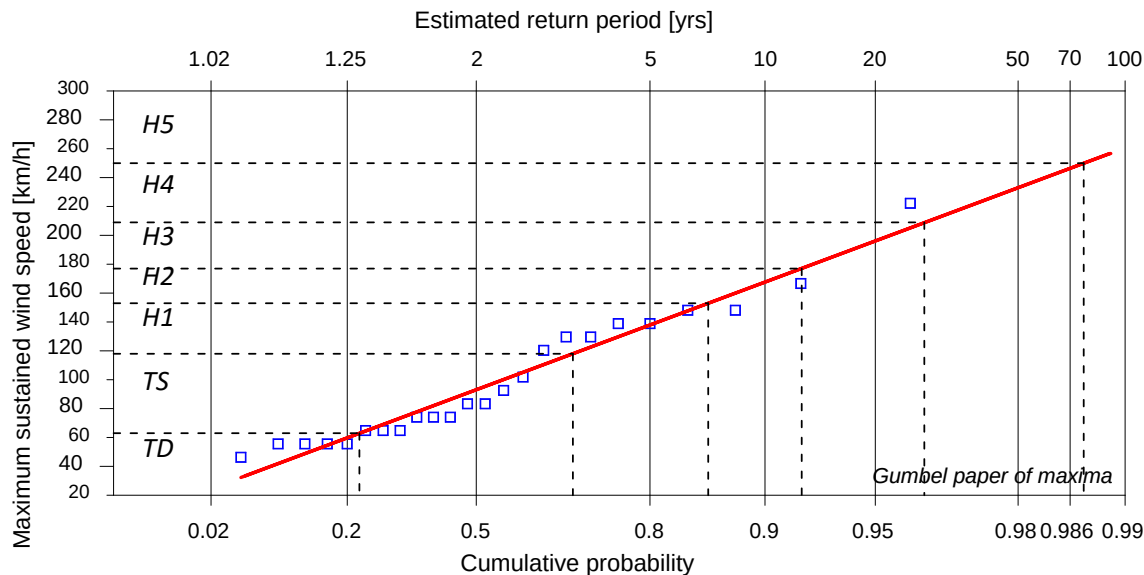


Figura 19. Representación del periodo de retorno de las tormentas tropicales por categorías para Trinidad y Tobago. Distribución Gumbel de máximos.

Tabla 12. Periodo de retorno y probabilidad de excedencia asociada, para ciclones tropicales que afectaron a Trinidad y Tobago, desde la categoría TD a la categoría H5 de la escala Saffir-Simpson.

Categoría	Periodo de retorno (Años)	Probabilidad (%)
TD	1.04	96%
TS	1.29	77%
H1	3.24	31%
H2	7.07	14%
H3	12.57	8%
H4	27.35	4%
H5	76.45	1%

Olas de tormenta

Para estimar el régimen extremal que llega a zona de estudio, se ha partido de los datos de vientos y presión, asociados a organismos tropicales.

El procedimiento utilizado para el cálculo del oleaje generado por huracanes está descrito en el USA-CERC (1977), éste se basa en un método empírico propuesto por Sverdrup, Munk y Bretschneider (Método SMB, descrito en la misma fuente), el cual está resuelto para fetch's cortos y velocidades de viento altas. (Bretschneider, (1959), según Aldeco, J. y Montañó-Ley, Y., (1986))

La estimación de la altura de ola significativa y período asociado a este, en el punto de vientos máximos, se realizó usando las siguientes ecuaciones:

$$H_s = 5.03 \exp[R (P_N - P_O)/6271.6][1 + (0.152V_F/U_R)] \quad (1)$$

$$T_s = 8.6 \exp[R (P_N - P_O)/12543.2][1 + (0.076V_F/U_R)] \quad (2)$$

donde:

H_s, altura de ola significativa en aguas profundas (m)

T_s, período correspondiente a la ola significativa (s)

R, radio de vientos máximos (km)

P_N , presión normal de 1013.25 mb

P_O , presión en el ojo del huracán (mb)

V_F , velocidad de desplazamiento del huracán (km/h)

U_R , velocidad de vientos máximos sostenidos (km/h)

El radio de vientos máximos R , se calculó utilizando la expresión:

$$R = 0.0007 \exp[0.01156 P_O] \quad (3)$$

donde:

R , radio de vientos máximos (km);

P_O , presión en el ojo del huracán (mb);

Los valores de P_O , V_F y U_R , fueron tomados o calculados de la base de datos históricos de tormentas tropicales en el Océano Atlántico (HURDAT), desarrollada por el US National Hurricane Centre.

En la Figura 20 se presenta el régimen extremal de altura de ola significativa obtenido, ajustado a una distribución Gumbel de máximos.

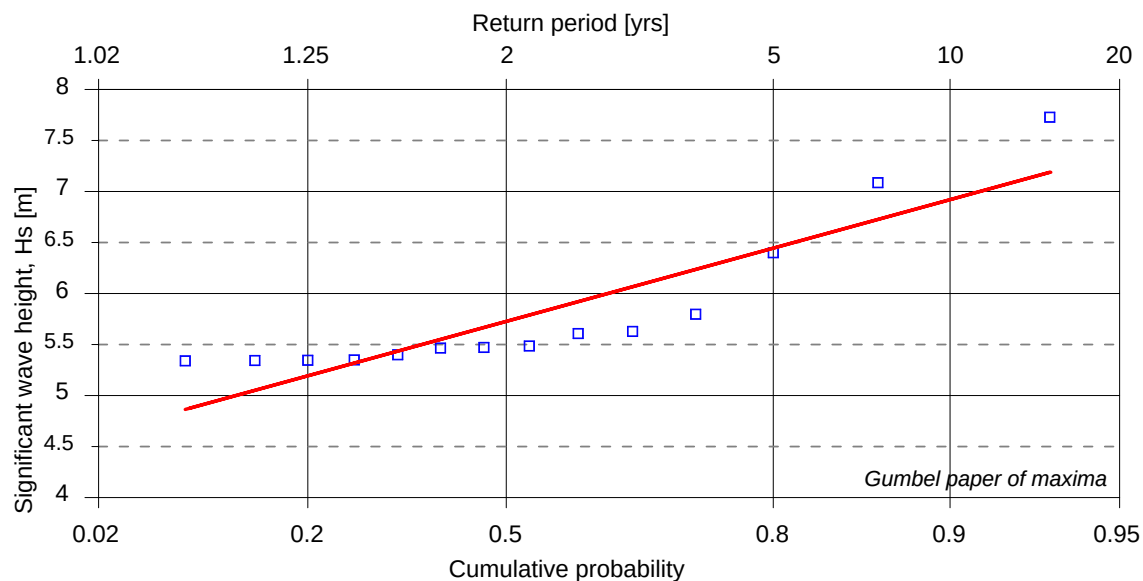


Figura 20. Régimen extremal de altura de ola significativa (H_s) en profundidades indefinidas, asociado a tormentas tropicales frente a las costas de Trinidad y Tobago. Distribución Gumbel de máximos.

Marea de tormenta

La amplitud de la marea de tormenta depende de varios factores físicos de la zona costera, como la batimetría, la línea de costa y su ubicación respecto de la trayectoria del ciclón y los vientos generados por este.

En aguas profundas es de poca importancia, en cambio, si los vientos del ciclón tropical se presentan sobre regiones marinas someras, adquiere valores de más de un metro, tal es el caso de la zona de estudio, confinada dentro del Golfo de Paria.

Los métodos de cálculo de la marea de tormenta más precisos requieren de las curvas batimétricas (isobatas). Sin embargo, para este reporte no se cuenta con una batimetría del Golfo de Paria, solamente la batimetría realizada para la playa de Bonasse y la zona de préstamo de arena, que se encuentra distante y no conecta con la batimetría de la playa.

Para obtener las elevaciones del nivel medio del mar debido a la marea de tormenta, se requiere simular el ascenso del nivel medio del mar y las velocidades que provocan los vientos del ciclón tropical sobre la superficie del océano.

La simulación del ascenso del mar se puede realizar por medio de un programa de cómputo que resuelva las ecuaciones de movimiento del agua dentro de una región expuesta a los vientos del ciclón tropical. Para ello, se toma en cuenta el campo de viento que presenta el ciclón tropical en diferentes momentos, así como información detallada del fondo marino próximo a la costa y la topografía del terreno. Sin embargo, para una escala geográfica media, se puede estimar la elevación más alta que alcanza la marea de tormenta durante la presencia del ciclón tropical con una adecuada aproximación y un método simplificado.

La elevación del nivel medio del mar más grande, provocada por la marea de tormenta, puede ser calculada a partir de la presión atmosférica en el ojo, la velocidad de los vientos máximos sostenidos y del radio de vientos máximos.

Para realizar estas estimaciones, se tomaron los parámetros de tormentas reales que azotaron a Trinidad y Tobago, las que representan los escenarios más desfavorables, a excepción de los huracanes categorías 3 y 5, que no se cuenta con registros al respecto, por lo que, se tomaron las características de tormentas reales que afectaron otras islas del Caribe (Tabla 13).

Tabla 13. Características de las tormentas que fueron simuladas para el cálculo de la surgencia de tormenta para diferentes categorías.

Nombre	Categoría	Presión (mb)	R (km)	Ur (km/h)
Gonzalo (2020)	TD	1009	81.42	55.56
Bret (2017)	TS	1008	80.48	83.34
Emily (2005)	H1	991	66.12	138.90
Flora (1963)	H2	975	54.96	166.68
Keith ¹ (2000)	H3	939	36.25	201.17
Ivan (2004)	H4	946	39.30	222.24
Dean ¹ (2007)	H5	905	30.48	273.59

Con base en el análisis de mediciones sobre elevaciones de la marea de tormenta de algunos ciclones tropicales, y de expresiones empíricas propuestas en Estados Unidos y en Japón, se obtuvo una expresión para conocer la amplitud máxima de la marea de tormenta debida a un ciclón tropical:

$$h = (0.03R + 0.000119U_R^2 - 1.4421)F \quad (4)$$

donde:

h, elevación más alta (m) que alcanza la marea de tormenta en el mar cerca de la costa,

R, radio de vientos máximos (Km),

U_R, velocidad de vientos máximos sostenidos (Km/h)

F, factor correctivo por dirección del viento.

El factor correctivo (F), se determina a partir del ángulo “α” que forma la dirección de desplazamiento del ciclón tropical con respecto a la línea de costa próxima al sitio de interés. Este factor se determina por medio de la expresión:

$$F = \begin{cases} 0.6(1 + \sin \alpha) & \text{si } 0^\circ < \alpha < 180^\circ \\ 0.6 & \text{en otros casos} \end{cases} \quad (5)$$

¹ No afectó a Trinidad y Tobago; sólo se toma como referencia.

De la aplicación del método simplificado a través de las formulaciones (4) y (5), se obtuvieron los valores expresados en la Tabla 14.

Tabla 14. Resultados de la estimación de la marea de tormenta (m).

Categoría	Marea de tormenta
TD	0.84 m
TS	1.11 m
H1	1.75 m
H2	2.17 m
H3	2.75 m
H4	3.46 m
H5	5.17 m

IV.6. Caracterización de la dinámica litoral mediante la modelación del oleaje

La propagación del oleaje hacia la costa produce transformaciones en los frentes de olas, causadas principalmente por los fenómenos de refracción, difracción, rotura y disipación por el fondo, por lo que también se producen alteraciones en la distribución espacial de la energía del oleaje.

Para caracterizar la dinámica del oleaje es necesario propagar los frentes de ondas desde aguas profundas en el Golfo de Paria hacia la costa. Estas propagaciones se han realizado utilizando el Modelo de Propagación de Oleaje Oluca-SP, del Sistema de Modelado Costero (SMC), desarrollado por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y Costera de la Universidad de Cantabria, España.

Se propagó oleaje espectral, utilizando un espectro frecuencial del tipo TMA (Texel Marsen Arsloe) (Bouws et al., 1985), que es aplicable en zonas cercanas a la costa donde las profundidades son reducidas y el oleaje se ve afectado por el fondo, el cual se define a partir de un espectro JONSWAP. Las propagaciones se realizaron para los 2 escenarios indicados en la Tabla 15, y los resultados se muestran en la siguiente sección.

Tabla 15. Escenarios y parámetros para la modelización de las olas.

Parámetro	Escenarios (Oleaje)	
	Habitual	Depresión Tropical
Altura significativa (Hs)	1.20 m	4.86 m
Periodo de pico (Tp)	6 s	9 s
Direcciones	N, NNE, NE	NW, N, NE

Los datos de oleaje utilizados para las ejecuciones del modelo se refieren a los regímenes medio direccional y escalar de los parámetros del estado del mar a profundidades indefinidas.

El escenario de oleaje habitual corresponde a las condiciones medias anuales (probabilidad del 50%) recogidas en la Figura 17, que describen el régimen medio para las direcciones de interés que afectan la playa de Bonasse.

Para el escenario de oleaje extremal, se simuló el evento más probable, correspondiente a una depresión tropical con un período de retorno de 1.04 años y una probabilidad de ocurrencia del 96% (Tabla 12).

Los resultados gráficos de las modelaciones presentadas en este estudio, son las isolíneas y los vectores de dirección del oleaje (altura de ola significativa Hs), que permitirán caracterizar espacialmente el comportamiento del oleaje en su trayecto hacia la costa.

En el Anexo 3 se presentan los resultados de las modelizaciones matemáticas llevadas a cabo para los diferentes escenarios. A continuación, se comentan las situaciones típicas de los dos escenarios modelados.

Escenario de oleaje habitual

El oleaje habitual es el que representa las condiciones medias anuales, que son las producidas por los vientos Alisios. Este escenario es uno de los responsables de los estadios acumulativos en las playas.

La Figura 21 muestra el resultado de la simulación realizada para la dirección Noreste, en la playa de Bonasse, que es la dirección predominante, por tanto, representativa de este escenario.

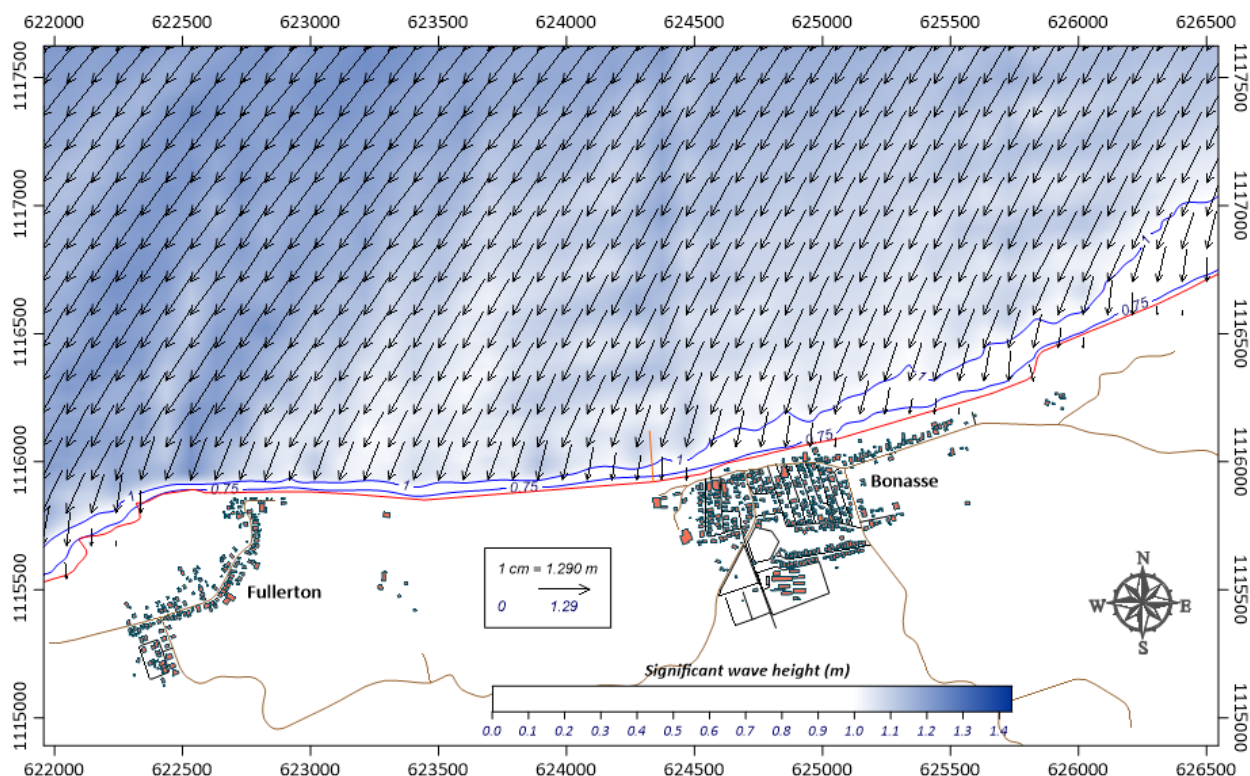


Figura 21. Distribución de isolíneas, vectores y magnitud de altura significativa para la playa de Bonasse. Oleaje habitual, dirección Noreste (NE).

El análisis de la figura anterior, evidencia que para condiciones habituales el oleaje se propaga por el Golfo de Paria con un ángulo de incidencia de 45° respecto a la costa de Bonasse. Al acercarse a la playa, los trenes de ondas comienzan a sufrir afectaciones en la dirección de propagación, las cuales son visibles dentro de la zona de rompientes del oleaje. A partir de esta zona, y debido a los procesos de asomeramiento, refracción y difracción, la altura y dirección de los frentes de oleaje sufren las mayores transformaciones, produciéndose una rápida disipación de la energía del oleaje en una estrecha franja muy cercana a la orilla, que no producirá movimientos de arena de magnitud considerable.

En la mitad Este de la playa, limitado por el espigón de la Guardia Costera, la isolínea de 1 m de altura de ola significativa, se dispone más alejada de la orilla, lo que significa que la rotura del oleaje se produce más alejado de la orilla, lo cual está en correspondencia con la disposición de las profundidades y explica el por qué en esta mitad de la playa, el ancho del área de exposición solar es mayor que para la mitad Oeste de la playa, donde la playa es más angosta con un área de exposición solar reducida.

Escenario de oleaje extremal

Se ha demostrado en diversos estudios bajo ciertas circunstancias, que la pérdida de arena y la desaparición total de playas, tienen una de sus causas directas en los oleajes de temporal asociados a eventos meteorológicos extremos, tales como tormentas tropicales y huracanes.

En la Figura 22 se muestra la simulación realizada para el impacto de una depresión tropical con las características descritas anteriormente, seleccionando la dirección Noreste por ser ésta la que adoptarán todos los frentes de onda una vez que se acerquen a la costa.

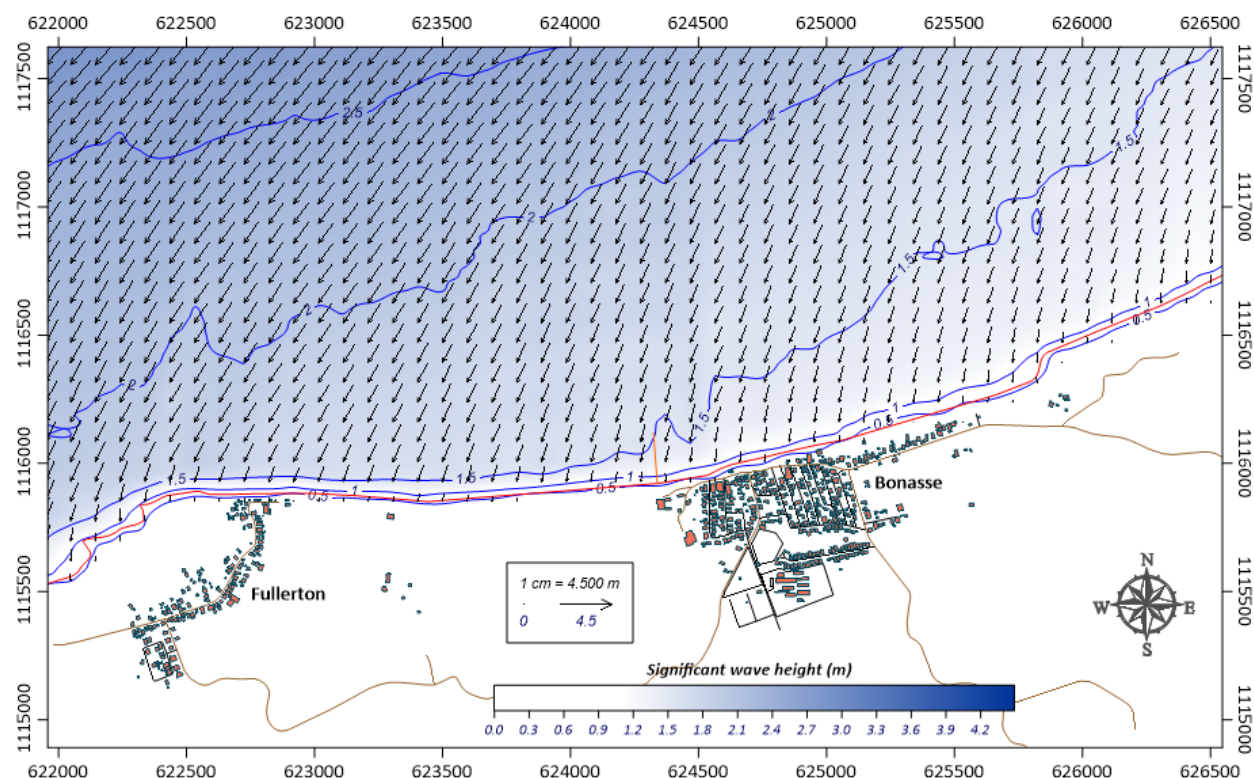


Figura 22. Distribución de isótopos, vectores y magnitud de altura significativa para la playa de Bonasse. Oleaje extremal, dirección Noreste (NE)

Bajo estas circunstancias, los trenes de ondas generados, adoptan un esquema de propagación similar al generado bajo condiciones habituales, con la particularidad de que los huracanes son centros de bajas presiones y producen una sobre-elevación que garantiza que trenes de ondas mayores que los habituales lleguen con energía de huracán a la costa.

Como se aprecia, la disipación del oleaje a través de los procesos de asomeramiento y rotura comienza a más de 1 km de la orilla, produciéndose de manera cuasi-uniforme a lo largo de toda

la costa. Al no existir barras de arena de significación, prácticamente sobre la orilla, a menos de 100 m son capaces de llegar olas rotas con una altura de 1 m, sin embargo, existen variaciones longitudinales en la batimetría, que sectorizan la playa, como ya se observaba en el análisis de las condiciones habituales. Hacia la mitad occidental de la playa, entre Bonasse y Fullerton, donde la batimetría es más abrupta, el oleaje arriba a la orilla con mayor energía, observándose que la isolínea de 1.5 m de altura de ola significativa se dispone a lo largo de todo el sector a menos de 100 m de la orilla, contrariamente al sector Este de la playa, donde la isolínea de 1.5 m de altura de ola significativa se aleja gradualmente hacia el Este, situando la zona de rotura del oleaje más alejado de la orilla, lo cual constituye un nivel de protección natural para este sector bajo un escenario de tormenta.

Este esquema de distribución de propagación del oleaje, similar, pero de mayor magnitud al producido para condiciones habituales, condiciona el sistema circulatorio y la distribución sedimentaria a lo largo de la franja costera de la zona de estudio.

Sistema circulatorio

Dentro de la zona de rompientes la rotura del oleaje genera una serie de corrientes, que dependen del ángulo de arribo a la costa y de la altura de la ola. Estas corrientes, denominadas corrientes longitudinales o de rotura, son de especial importancia en la disposición del equilibrio de una playa, y más concretamente, en su forma en planta, dada la capacidad de transporte de arena.

Las corrientes de rotura se producen en la zona de rotura del oleaje, en un área donde el sedimento se encuentra en suspensión y es fácilmente transportable por efecto de dichas corrientes. De este modo, para que una determinada forma en planta esté en equilibrio es necesario que, o bien no existan corrientes longitudinales, o bien que, aun existiendo, el gradiente de transporte generado por estas sea nulo.

Para la determinación de estas corrientes de rotura, se utilizó el modelo COPLA, desarrollado por el GIOC de la Universidad de Cantabria, España. Las modelaciones efectuadas aparecen en el Anexo 3.

A modo de ejemplo, la Figura 23 muestra la simulación realizada para oleaje producido por una depresión tropical de dirección Noreste, comportamiento similar para los demás escenarios modelados.

La transformación y rotura del oleaje genera un patrón de circulación gobernado por una corriente longitudinal de Este a Oeste, tanto para las condiciones habituales como para las condiciones de tormenta, patrón que está en correspondencia con la distribución de los sedimentos arenosos que se observa a lo largo de la costa, el que se presenta en una estrecha franja pegada a la costa, tal como se proyecta el sistema circulatorio mostrado en la Figura 23.

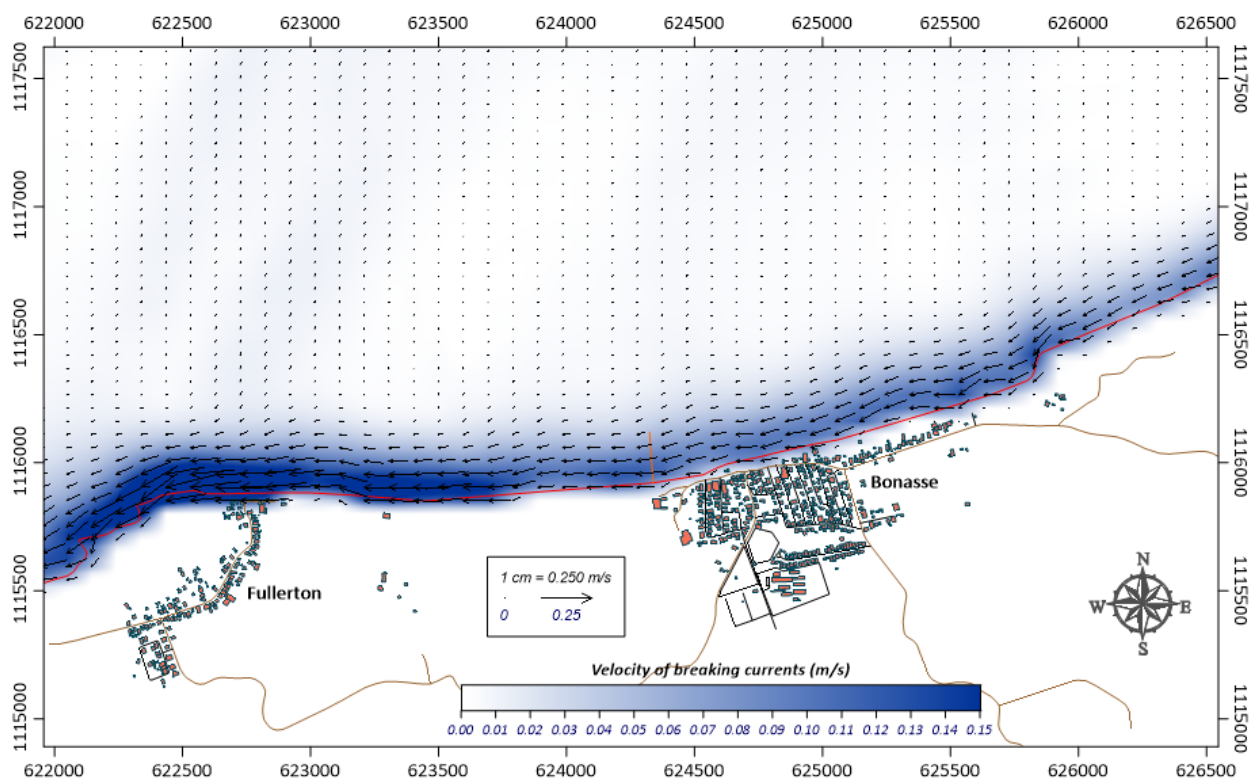


Figura 23. Distribución de vectores y magnitud de las corrientes de rotura para la playa de Bonasse. Oleaje extremal, dirección Noreste (NE).

IV.7. Transporte de sedimentos

La distribución de los sedimentos en una playa se encuentra estrechamente ligada al sistema de corrientes de la misma. Para que exista un transporte de sedimentos son necesarias dos acciones: un mecanismo que ponga el sedimento en suspensión, y un elemento que sirva de transporte del mismo.

Estas dos acciones se presentan de forma simultánea dentro de la zona de rompientes de una playa. Por un lado, la rotura del oleaje pone el sedimento en suspensión, y por otro, las corrientes inducidas por la rotura se encargan de transportar este sedimento.

En el Anexo 3 se presentan las modelaciones realizadas para las situaciones de oleaje propagadas, para ello se utilizó el modelo EROS, desarrollado por el GIOC de la Universidad de Cantabria, España.

EROS resuelve las ecuaciones del flujo de sedimentos dentro de la zona de rompientes, así como los cambios en la batimetría asociados a las variaciones espaciales del transporte de sedimentos. Toma como datos de entrada, los datos de salida del oleaje calculados por el modelo Oluca-SP, y datos de salida del campo de corrientes de rotura calculado por el modelo Copla-SP. El modelo computa el transporte total, suma del transporte en suspensión y del transporte por fondo, utilizando para ello las formulaciones de Soulsby (1997) y Van Rijn (1997).

De acuerdo a las modelaciones realizadas, el transporte de sedimentos próximo a la costa es débil para todos los escenarios, lo que está en correspondencia con la poca intensidad de las corrientes.

En la Figura 24 se muestra la simulación efectuada para oleaje producido por una depresión tropical de dirección Noreste, que se corresponde al escenario modelado y mostrado en la Figura 23, relativa a las corrientes inducidas por dicho oleaje.

Como ya se abordó, la rotura del oleaje genera un patrón de circulación gobernado por una corriente longitudinal, de dirección Oeste. Este sistema circulatorio genera un transporte potencial de sedimentos que sigue dicho patrón circulatorio, sin embargo, la magnitud del transporte es baja, tanto para condiciones habituales como de tormentas, donde se reporta un transporte potencial máximo de apenas 2.20 m³/hour/ml.

Como se observa en la Figura 24, los mayores vectores de transporte se sitúan en la vecindad del poblado de Fullerton, cerca del acantilado que constituye el límite Oeste de la playa, el cual constituye uno de los elementos morfológicos que mayor aporte de sedimentos proporciona al sistema de playas que se encuentran aguas abajo.

Este patrón del transporte de sedimentos pudo ser constatado en la playa a través de los diferentes elementos morfológicos de la playa, tanto en perfil como en planta, donde la no existencia de barras de arena y la estrechez de la franja de sedimentos en el lecho próximo a la orilla, denotan un transporte de sedimentos débil, de poca intensidad.

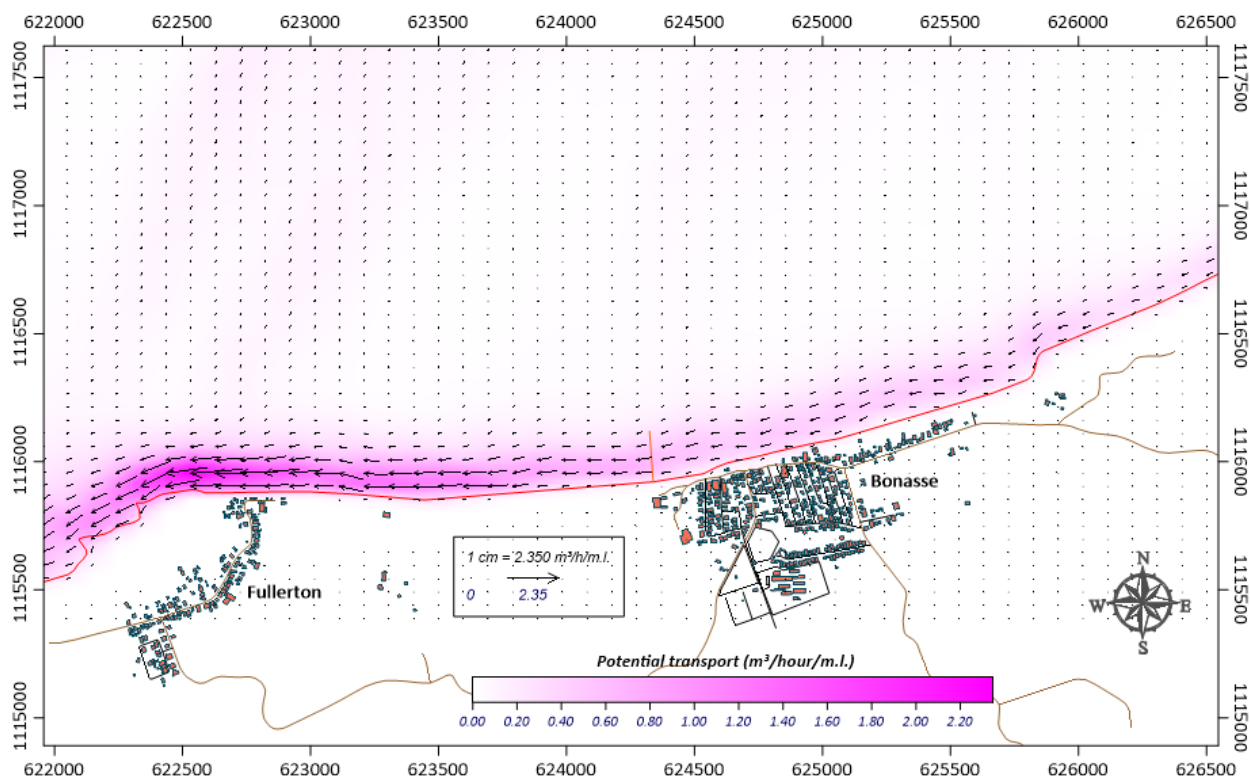


Figura 24. Distribución de los vectores y magnitud del transporte de sedimentos para la playa de Bonasse. Oleaje extremal, dirección Noreste (NE).

IV.8. Esquema morfodinámico de funcionamiento.

El Sistema Costero en el que se encuentra enclavada la playa de Bonasse tiene una dinámica activa, dominada por los procesos físicos que tienen lugar en el Golfo de Paria.

“Geológicamente el Golfo de Paria es una cuenca tectónica, y sus características hidrográficas, así como la composición de los sedimentos, han recibido la atención de numerosos investigadores a través de los años, quienes determinaron que la dinámica del golfo está controlada por la circulación estuarina, la variabilidad temporal de las mareas, procesos costeros y el sistema de vientos locales. La velocidad de la corriente dentro del Golfo de Paria varía entre 15-33 cm/s (Moore y Todd 1993) y las mareas son del tipo mixto semidiurno (Gade 1961). Benitez y Okuda (1976) señalan que la cantidad de agua que proviene del Orinoco y de otros ríos que desembocan en el golfo produce una significativa reducción de la salinidad superficial del agua. Por lo tanto, la salinidad es el factor principal que controla la densidad y circulación en el golfo.” (Salcedo, R. y Barrios, W. 2020)

Gade (1961), citado por Salcedo, R. y Barrios, W. (2020), elabora un esquema con los patrones de las corrientes en el Golfo de Paria (Figura 25).



Figura 25. Patrones de las corrientes en el Golfo de Paria. (Gade 1961).

De acuerdo a este patrón las corrientes provenientes del Atlántico penetran al golfo por el canal de Colón o Boca de Serpientes, localizado entre la Península de Los Cedros y el Delta del Orinoco. Dentro del golfo las corrientes durante el flujo de marea se mueven hacia el Norte siguiendo la propia configuración de la costa Oeste de Trinidad, saliendo al Mar Caribe a través de la Boca de Dragones, entre la Península de Paria de Venezuela y la Península de Chaguaramas de Trinidad. Durante el reflujo, cuando las mareas se invierten, las corrientes dentro del golfo cambian de dirección hacia el Sur, formando una especie de remolino en sentido anti-horario que marca el patrón general del sistema circulatorio dentro del Golfo de Paria.

Este sistema circulatorio es el responsable de transportar hacia el Golfo de Paria, parte de los sedimentos fangosos expulsados por el río Orinoco, los cuales son acarreados en suspensión durante los flujos de marea.

Sin embargo, a la par de este sistema circulatorio general del Golfo de Paria, existen otros procesos costeros próximos a la costa que son independientes de las mareas, y son básicamente los responsables del transporte de sedimentos (arena) que alimenta las playas existentes. Estos procesos costeros son el resultado de la interacción de los vientos locales con el mar, capaces

de producir oleaje que durante los procesos de rotura generan las corrientes litorales que acarrean los sedimentos arenosos desde las zonas de producción hacia las playas.

En el capítulo IV, se hace una revisión exhaustiva de la interacción de estos procesos, fundamentada con los resultados de las modelaciones matemáticas que aparecen en el Anexo 3.

En la Figura 26 se muestra de manera gráfica el esquema morfodinámico de funcionamiento de la playa de Bonasse, el cual es el resultado de la interpretación de los diferentes procesos que tienen lugar en la zona de rompientes, validados con los indicadores geomorfológicos y sedimentológicos observados a lo largo de la playa, y los resultados de las simulaciones matemáticas.

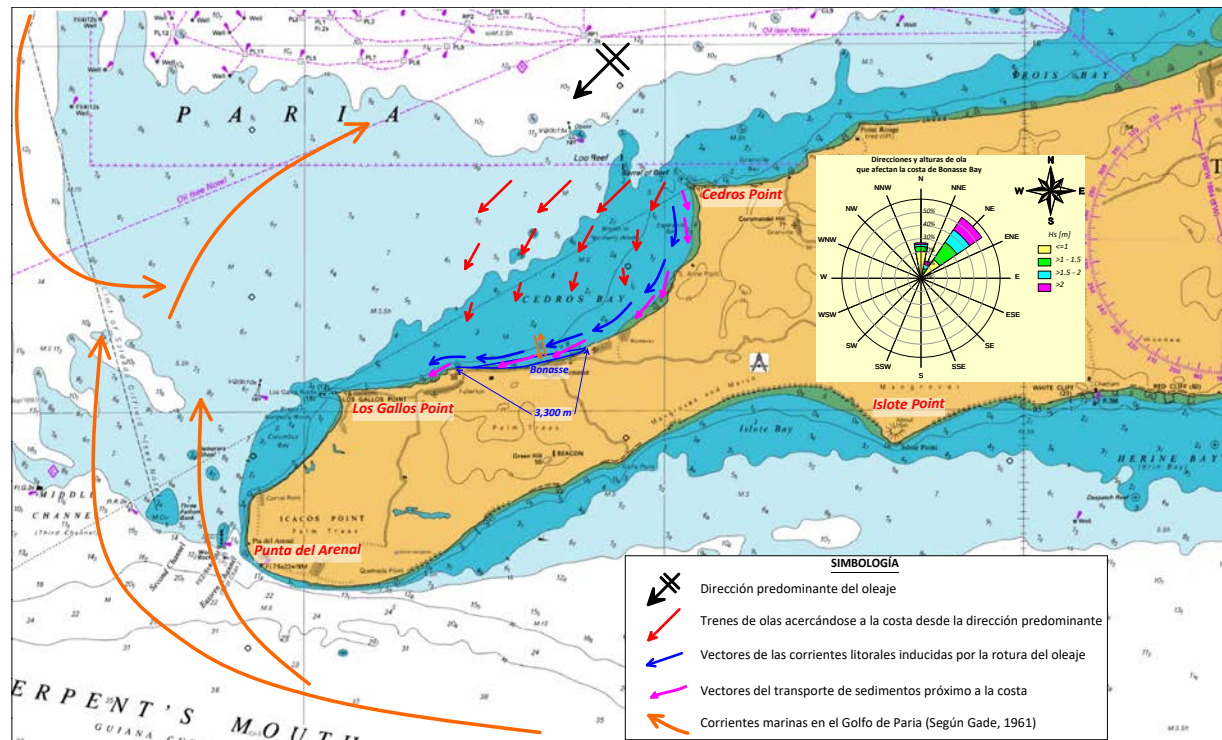


Figura 26. Esquema morfodinámico de funcionamiento de la playa de Bonasse.

V. ESTRATEGIA PARA LA RECUPERACIÓN Y PROTECCIÓN DE LA PLAYA

Para evaluar las medidas de recuperación y protección de la playa de Bonasse, se ha partido de los resultados del trabajo publicado por Wong (2018), titulado "Coastal Protection Measures - Case of Small Island Developing States to Address Sea-level Rise".

Haciendo una revisión de las últimas Comunicaciones Nacionales (CN), Wong (2018) presenta una tabla resumen con las características topográficas de la zona costera y los tipos de soluciones más aplicadas y propuestas en los 35 países de los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo (PEID), que en el caso de Trinidad y Tobago se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Características topográficas y medidas de adaptación existentes y propuestas en Trinidad y Tobago únicamente. (Extraído de Wong, 2018).

PEID (última CN)	Características topográficas significativas (páginas)	Medidas de adaptación existentes (páginas)	Medidas y opciones de adaptación propuestas (páginas)	Comentarios sobre la ABE ² y otros aspectos
Trinidad and Tobago	Islas montañosas, arrecifes de coral, playas, manglares (6, 80, 89)	Diques, espigones (84)	Protección de los ecosistemas costeros (89)	Alcance de la EBA (arrecifes de coral, manglares)

Tras describir los tipos de soluciones aplicadas, Wong (2018) elaboró la primera clasificación de tecnologías de protección costera para los pequeños Estados insulares (Tabla 17).

Tabla 17. Clasificación de primer corte de la tecnología de protección costera para los PEID. (Wong 2018).

Tecnología de protección	Evaluación para los PEID
A. Estructuras duras Diques y revestimientos Diques Escolleras y espigones	Costoso; implementado para estructuras críticas; para opciones de "no retirada"; revestimientos al alcance de los PEID más ricos
B. Estructuras blandas	A corto plazo; para un empleo selectivo, por ejemplo, en las costas turísticas

² ABE: Adaptación Basada en los Ecosistemas.

Tecnología de protección	Evaluación para los PEID
Alimentación de la playa Sacos de arena	
C. Estructuras híbridas Costas vivas	Alcance para los PEID, pero generalmente restringido a las costas de menor energía; se requiere investigación para su implantación en las costas de mayor energía. Actualmente es el mejor y tiene un amplio alcance para los PEID; puede combinarse con estructuras híbridas; se requiere más investigación
D. ABE Manglares Arrecifes de coral Dunas	
E. Topografía/elevación Reclamación Salvar algunas islas	Costosa, pero puede ser más permanente que la tecnología de la categoría "A".
F. Flotante Viviendas fijas/elevadas Viviendas flotantes/anfibias Islas flotantes	Debería considerarse más seriamente teniendo en cuenta los nuevos materiales y tecnologías
G. Imitar la naturaleza Construir con la naturaleza Vivir con el agua	Investigación necesaria para el empleo en los PEID
H. Ideas nuevas e innovadoras	Se actualizará periódicamente en función de los nuevos materiales y tecnologías que aparezcan en el futuro

En Trinidad y Tobago predominan las costas bajas con elevaciones muy próximas al borde costero, donde se encuentran playas, arrecifes de coral y manglares, caracterizadas por ecosistemas marino-costeros de importantes valores por su biodiversidad y esenciales para el desarrollo del turismo y la pesca. Las medidas de adaptación aplicadas con el uso de estructuras duras (muros de contención y espigones) han sido de muy poca magnitud y las propuestas de medidas y opciones de adaptación se dirigen a la protección de los ecosistemas costeros.

En los últimos años, a raíz de la crisis climática que se espera debido a los Cambios Climáticos y el ascenso del nivel del mar, que prevén el incremento de los riesgos de erosión, inundaciones

y tormentas extremas en las regiones costeras de todo el mundo, la comunidad científica ha sufrido la idea de soluciones basadas en la naturaleza o ecosistemas.

Las soluciones basadas en ecosistemas se refieren a un conjunto de acciones o políticas que aprovechan el poder de la naturaleza para abordar algunos de nuestros desafíos sociales más urgentes, como el creciente riesgo de desastres naturales o el Cambio Climático. Estas soluciones implican proteger, restaurar y gestionar de manera sostenible los ecosistemas, de manera que aumente su resiliencia y capacidad para abordar esos desafíos sociales y al mismo tiempo que salvaguarden la biodiversidad y mejoren el bienestar humano.

Este enfoque ha tomado impulso en diversas partes del mundo durante las últimas dos décadas, derivando en diversas políticas y guías que se alinean a la incorporación de los procesos naturales en la ingeniería, por ejemplo, Shoreline Management Plans (Reino Unido, 2006), Building with Nature (Países Bajos, 2012), Living shorelines (EUA, 2016) y Nature-based solutions en Programa de la International Union for Conservation of Nature, recientemente renovado en 2021.

En particular, una alternativa basada en ecosistemas para la mitigación del riesgo por inundación y erosión, es la “infraestructura verde”. Tras su implementación, esta infraestructura busca conservar, o recuperar en caso necesario, los flujos de masa y energía que permiten la conectividad entre ecosistemas, su funcionamiento y resiliencia.

La selección de una solución exitosa dependerá de un diagnóstico adecuado que incluya un diseño resistente, resiliente y específico para el sitio a intervenir, dada la complejidad de los procesos costeros, tal como se ha realizado en el presente Proyecto.

Dentro de las soluciones de infraestructura verde, está la llamada “**Ingeniería mejorada con el uso de ecosistemas**”.

En este tipo de infraestructura verde, las medidas tradicionales de protección, tanto rígidas como blandas, se modifican para cambiar los procesos físicos (por ejemplo, la intensidad del oleaje y el transporte de sedimentos), produciendo beneficios a los procesos naturales que se mantienen o adaptan imitando a los ecosistemas naturales. Por ejemplo, los rellenos de playas y la revegetación de dunas costeras con plantas autóctonas, son medidas de este tipo, que han demostrado ser efectivas, las cuales serán implementadas en el presente Proyecto.

Teniendo en cuenta los problemas de contaminación detectados y descritos en el Proyecto, también se proponen medidas para su control y mitigación, las cuales forman parte del conjunto de medidas de adaptación encaminadas a la rehabilitación y protección del ecosistema costero donde se encuentra la playa de Bonasse.

El conjunto de medidas propuesto se puede clasificar como:

- Medidas a corto plazo (<3 años)
- Medidas a mediano plazo (3-7 años)
- Medidas a largo plazo

De acuerdo a esta escala temporal (corto, mediano y largo plazo), se proponen acciones para cada escala.

V.1. Medidas a corto y medio plazo

La solución a los problemas ambientales detectados en la playa, parte de la implementación de **acciones de manejo costero** y la aplicación de **medidas ingenieras** de bajo impacto ambiental, que permitan la rehabilitación y protección de la playa en todo su conjunto.

Las acciones de manejo costero deberán estar dirigidas a eliminar todos los focos de contaminación, también deberá velar por la integridad física del medio litoral, impidiendo nuevas construcciones en las dunas y la playa, además de retirar todos los restos de las estructuras de hormigón abandonadas que existen actualmente y que, por su carácter, son incompatibles con el buen funcionamiento de la playa.

Estos focos de contaminación, afectan la estética y funcionalidad de la playa como balneario, además de ser potenciales generadores de enfermedades, por el incremento de microorganismos nocivos para la salud humana en las aguas y sedimentos.

Asimismo, estas acciones de manejo darán paso a la implementación de medidas ingenieras como las que se proponen en el Proyecto, las que están orientadas, por una parte, a mitigar los efectos de la erosión y restituir las condiciones morfológicas, estéticas y funcionales de la playa y, por otra parte, a enfrentar los desafíos que imponen los Cambios Climáticos y el ascenso del nivel del mar.

Resulta comprensible que las actuaciones para solucionar los problemas de erosión, se orienten a la eliminación y/o mitigación de las causas que los generan y a la ejecución de trabajos que permitan la rehabilitación de los sectores de playa erosionados.

Como se ha identificado, la causa fundamental de la erosión, se debe al déficit en los aportes de sedimentos a la playa, siendo mayores las pérdidas que los aportes, marcando una tendencia erosiva irreversible de manera natural.

Es evidente que las soluciones a implementar para la rehabilitación de la playa, deben contribuir a devolver los sedimentos perdidos a lo largo de los años, restituyendo los volúmenes de arena y el ancho de playa, que permitan la protección de las infraestructuras e inmuebles ante eventos meteorológicos extremos y el incremento del nivel del mar producido por los cambios climáticos.

Dentro de las soluciones más populares, desarrolladas muchas veces por iniciativas privadas, sin un fundamento científico, están la construcción de rompeolas, espigones y malecones, entre otras; soluciones rígidas que lejos de resolver los problemas de erosión, contribuyen a agravar los mismos, estas estructuras no producen sedimentos que satisfagan los déficits de la playa, siendo su función la disipación de la energía del oleaje o la interrupción del transporte longitudinal de sedimentos, por lo que este tipo de soluciones se desestiman en este proyecto.

Las acciones a corto y mediano plazos del Proyecto se conciben en dos (2) grupos de acciones:

- 1º. Acciones de manejo costero.
- 2º. Acciones de ingeniería mejorada con el uso de ecosistemas: alimentación artificial de arena y revegetación de dunas.

La selección de la alimentación artificial de arena como técnica de avanzada para el mantenimiento de las playas naturales, se hizo en base a sus reconocidas ventajas ecológicas y estéticas con respecto a otras técnicas (National Research Council, 1995).

Estas acciones se abordan y desarrollan en detalle en el Proyecto.

Este tipo de acciones, ejecutadas de manera conjunta, han demostrado una elevada eficacia, puesto que mediante su aplicación las playas son diseñadas con una doble función, para uso lúdico y como obras de protección de la zona costera, devolviendo, de manera casi instantánea, el déficit en el volumen de sedimentos requeridos para la recuperación de sus condiciones:

- Morfológicas: conformando un perfil bien desarrollado y completo, con la presencia de los distintos elementos morfológicos típicos de su estructura (fundamentalmente barras submarinas, bermas y dunas, estas últimas revegetadas con especies propias de playas del Caribe), y un incremento notable del ancho de la franja de exposición solar.
- Estéticas: avanzando en la restauración gradual de los valores estéticos y paisajísticos naturales del ecosistema original, mediante la rehabilitación del perfil arenoso y la vegetación costera correspondiente, así como la eliminación de los diferentes elementos contaminantes existentes en el entorno.
- Funcionales: concibiendo para la playa recuperada un doble valor de uso:
 - Lúdico: a cuyo acondicionamiento contribuirá el logro de los preceptos antes referidos, relativos a la conformación de un perfil con área de exposición solar y capacidad de carga adecuadas, y una imagen natural atractiva. Representando nuevas oportunidades para el fomento de la actividad turística y pesquera, la valuación de los terrenos y la generación de empleos.
 - Defensa costera: tomando ventaja de la naturaleza esencialmente disipativa de las playas, con volúmenes de arena suficientes para conformar perfiles extensos, de suave pendiente, con presencia de barras submarinas, bermas y potentes dunas, concebidos bajo adecuados parámetros de diseño, los que garantizan una eficiente disipación de la energía de las olas generadas por eventos meteorológicos extremos, contribuyendo al enfrentamiento al incremento del nivel del mar provocado por los Cambios Climáticos.

Las acciones enunciadas y propuestas para su ejecución a corto y mediano plazo, se alinean, además, con la implementación de los conceptos de Desarrollo Sostenible, Turismo Sostenible, y Adaptación al Cambio Climático basado en Ecosistemas.

En cualquier caso, independientemente de las acciones o estrategias seleccionadas, la naturaleza dinámica de una playa, en especial en un escenario de incremento del nivel del mar como el que se pronostica a consecuencia del Cambio Climático, hace necesario que su manejo deba continuar a largo plazo.

V.2. Medidas a largo plazo

La estrategia a largo plazo para la rehabilitación y protección de la playa de Bonasse, deberá tener en cuenta la efectividad esperada de las medidas a corto y mediano plazo que se proponen, para lo cual el monitoreo de las variaciones morfológicas y sedimentológicas de la playa, así

como de otros parámetros físicos y químicos, como calidad de agua de baño y de los sedimentos, son esenciales para un correcto diagnóstico de la calidad ambiental de la playa.

Esta estrategia deberá partir por el establecimiento de una línea base ambiental, que sirva de referencia para el establecimiento de indicadores ambientales, que permitan a los tomadores de decisiones adoptar las medidas necesarias de manera preventiva.

El enfoque de las estrategias de los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo (PEID) para el enfrentamiento al Cambio Climático, es esencialmente adaptativo. Para muchos países, la adaptación pasa, esencialmente, por el diseño de estrategias para una gradual retirada de las zonas más vulnerables, ajustada al ritmo pronosticado de la elevación del nivel del mar y al retroceso de la línea de costa.

Sin embargo, Wong (2018) reconoce que la retirada, como estrategia de adaptación, no es posible en muchos Pequeños Estados Insulares en Desarrollo (PEID) debido a su pequeño tamaño, sus limitadas tierras y su naturaleza de baja altitud.

El incremento del nivel medio del mar, provocará un ajuste del perfil de equilibrio de las playas, con un movimiento de este hacia tierra, lo que se traduce en un retroceso de la línea de costa (Regla de Bruun). Una de las medidas más efectivas para enfrentar y mitigar este fenómeno, es proporcionar a las playas nuevos volúmenes de arena de manera artificial, lo cual garantice elevar la cota del perfil y por ende la protección de la zona costera.

El hecho de que la playa de Bonasse se encuentre confinada dentro del Golfo de Paria, donde las profundidades son someras y las condiciones medias anuales del viento y oleaje, no produzcan importantes cambios en el perfil de playa, garantiza que, aunque haya déficit en los aportes de sedimentos a la playa, los sedimentos aportados a través de la aplicación de la alimentación artificial de arena, se mantengan en el tiempo con una baja tasa de pérdidas, la cual debería alcanzar un máximo en momentos de eventos meteorológicos extremos, los cuales tienen baja probabilidad de ocurrencia. Por tanto, la aplicación periódica de la alimentación artificial de arena, no es un elemento esencial en la estrategia de manejo a largo plazo, para el enfrentamiento a los efectos de la erosión en la zona de estudio.

Tomando en consideración que la erosión en la playa de Bonasse, está provocada fundamentalmente por causas naturales, y en menor medida por causas antrópicas, así como

los posibles efectos del Cambio Climático a mediano y largo plazo, la estrategia de manejo a largo plazo se puede sintetizar en los elementos siguientes:

- Creación de un marco legal que promueva y garantice la implementación de estrategias y acciones, dirigidas al uso sostenible de la zona costera, con énfasis en las playas.
- Monitoreo de la efectividad de las actuaciones ejecutadas que conforman parte de la estrategia a corto y mediano plazo, y en general, de la evolución de la playa, para definir el momento en que se requiera de nuevas actuaciones.
- Integrar el monitoreo morfológico y sedimentológico de la playa al Programa de Monitoreo Nacional que lidera el IMA, con al menos 4 perfiles de playa.
- Otras acciones, como las encaminadas al mantenimiento y protección de las dunas, y el control de la contaminación, deberán ser evaluadas, diseñadas y ejecutadas según corresponda.

VI. DISEÑO DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN PROPUESTAS

VI.1. Acciones de manejo costero

Teniendo en cuenta que las afectaciones medioambientales que sufre la playa de Bonasse, no sólo están relacionadas con el déficit en los ingresos naturales de arena, sino también que son consecuencia de inadecuadas prácticas de manejo de la zona costera, la recuperación de la playa partirá de la ejecución de acciones de manejo costero, que debido al impacto social que tales actuaciones pueden tener, se escalonará en dos paquetes de medidas, a desarrollarse en el corto y mediano plazos:

(A) Acciones en el Corto Plazo.

Limpieza y saneamiento del litoral. Gestión de drenajes.

Estas acciones se deben ejecutar de inmediato y tendrán un carácter permanente.

Se refiere a la eliminación de todos aquellos elementos que pueden considerarse “basura” (desechos orgánicos e inorgánicos, restos de avíos de pesca, árboles caídos, acumulaciones de sargazo, etc., que se encuentran en la parte emergida de la playa), así como escombros sueltos de estructuras e instalaciones destruidas (Fotos 49 y 50).



Foto 49. Escombros y residuos de vegetación en la playa.



Foto 50. Práctica inadecuada de quema de basura en la playa.

En cuanto a la gestión de los drenajes en esta etapa, se refiere a la eliminación de micro-vertederos (Fotos 51 y 52) de aguas negras y albañales, así como el saneamiento mediante la retirada de sedimentos contaminados en los sitios de micro-vertederos. También se incluyen en

este punto, el control estricto de las descargas de las embarcaciones de pesca que quedan varadas/atracadas en la playa, tanto en Bonasse como en Fullerton.



Foto 51. Vertidos de aguas negras y albañales a través de micro-vertederos directamente a la playa.



Foto 52. Grupo de buitres negros atraído por los vertidos de los micro-vertederos a la playa.

(B) Acciones en el Mediano Plazo.

Eliminación de estructuras rígidas. Gestión de drenajes.

Estas tareas se deben ejecutar como parte de las acciones de preparación de la playa, para la ejecución de la Alimentación Artificial de Arena.

Incluye la demolición y retirada de todas las estructuras rígidas medio destruidas y sin valor de uso, presentes en la parte sumergida de la playa, cuya eliminación y retirada facilitará la ejecución de las tareas propias del vertimiento de arena y permitirá la reconstrucción y restitución de la planta y perfil de la playa, devolviendo al balneario las condiciones físicas y ambientales naturales del entorno para un funcionamiento estable y sostenible. (Fotos 53 y 54)



Foto 53 y 54. Restos del antiguo espigón ubicado en el poblado de Bonasse.

Se agrega a este punto, el desbroce y eliminación de aquellos árboles que estén en peligro de ser derribados.

La gestión de los drenajes en esta etapa, tendrá dos frentes de acción. Por una parte, el seguimiento en la eliminación de micro-vertederos que aún no hayan sido eliminados y, por otra parte, la ejecución de las soluciones para el control y saneamiento las descargas de los drenajes que se evacuan a través de las estructuras de hormigón (canales) presentes en ambos extremos del poblado de Bonasse y que vierten directamente al mar sin ningún tipo de tratamiento.

El establecimiento de plantas de tratamiento de residuales, así como un sistema de drenajes por medio de conductoras magistrales y emisarios submarinos, deberán ser objeto de evaluación y proyectos que conformarían el Master Plan del litoral de Bonasse.

VI.2. Alimentación Artificial de Arena (Mediano plazo)

Dentro de las actuaciones implementadas a nivel mundial en la ingeniería de costas, existe un amplio abanico de medidas cuyo objeto principal es DEFENDER, PROTEGER o REGENERAR playas sometidas a un proceso erosivo.

La defensa y protección de la costa supone fijar la línea de costa y detener su recesión, mientras que la regeneración supone recuperar las condiciones en que se encontraba la playa antes de iniciarse la erosión e incluso mejorarlas.

Las actuaciones se clasifican en:

- Duras (obra dura), las que consisten en la rigidización de un tramo de costa mediante la construcción de espigones o cualquier otra estructura que detenga la arena. Es de significar que este tipo de actuaciones no produce arena.
- Blandas (obra blanda), son aquellas en las cuales no se emplean estructuras ni elementos resistentes. Se incluyen la Alimentación Artificial de Arena y la regeneración o creación de dunas.
- Mixtas (obra dura + obra blanda), es la combinación de ambas actuaciones.

Hasta hace algunos años la regeneración de las playas no se concebía sin la construcción de espigones, pero actualmente se ha comprobado que, en muchos casos, sobre todo en playas abiertas, este tipo de actuaciones si bien en contadas ocasiones cumple su objetivo localmente, produce erosión en las zonas adyacentes, por lo que su implementación por sí sola está en desuso dado los problemas ambientales que genera, se aconseja su inserción en los proyectos de manera que se combinen la obra dura (rigidización de un tramo de costa) y la obra blanda (alimentación artificial o bypass).

Las soluciones a los problemas de erosión costera más aceptables desde casi todos los puntos de vista, pero particularmente desde el ambiental, son las que se han dado en llamar 'soluciones blandas', y entre ellas, la Alimentación Artificial de Arena.

En las últimas décadas del siglo XX comenzó a generalizarse la aplicación de la Alimentación Artificial de Arena, con preferencia a las tradicionales obras rígidas de defensa costera.

Juanes (1996), refiere 3 importantes ejemplos al respecto:

- En la República de Georgia, en el Mar Negro, el fracaso de varias obras de protección de playas mediante la construcción de espigones y diques hasta 1981, llevó a la sustitución de estos y a la ejecución de proyectos de Alimentación Artificial de Arena, que entre 1983 y 1987 beneficiaron 47.5 km de costas, con el vertido de 9,224,600 m³ de arena y gravas (Kiknadze, et al. 1990).
- En España, entre 1983 y 1988, fueron ejecutadas más de 300 actuaciones en las costas, destinándose el 70% del presupuesto a proyectos de rehabilitación de playas mediante la Alimentación Artificial de Arena (MOPU, 1988).

- En Estados Unidos, hacia 1988 ya se reportaban 60 playas de la costa Atlántica, 35 de la costa del Golfo y 30 de la costa del Pacífico, que habían sido, o eran beneficiadas periódicamente, por la aplicación de la Alimentación Artificial de Arena. Se estimaba entonces que estos trabajos habían superado el orden de los 300 millones de m³ de arena vertida para la recuperación de más de 600 km de costa (Leonard et al., 1990).

En este último caso, el ejemplo de Miami, en la Florida, constituye un referente notable. El campo de espigones que allí existió hasta la década de los setenta del pasado siglo, debió ser demolido, dando paso al vertimiento de más de 10 millones de m³ de arena entre 1977 y 1982. La aplicación de esta técnica en Miami ha continuado, de hecho, en mayo de 2022 se inició un nuevo proyecto para el vertido de unos 600,000 m³ de arena en 3,500 m de playa.

En Estados Unidos la Alimentación Artificial de Arena se ha convertido en casi el único procedimiento de defensa de costas en la actualidad, luego de años de aplicación de soluciones duras que lejos de recuperar las playas, provocó la intensificación de los procesos erosivos, con costosísimos proyectos para eliminar las estructuras rígidas colocadas en cientos de kilómetros de costas.

En la mayoría de los países europeos se han usado dichas técnicas con profusión y con notables éxitos que han sido debidamente reconocidos.

En el área del Caribe, Cuba ha sido pionera en su aplicación para la recuperación de sus playas, destacando en particular el ejemplo de Varadero, que ha sido objeto de vertimientos de arena por más de 3.5 millones de m³ entre 1987 y 2020, destacando el proyecto ejecutado en el verano de 1998, por 1,087,000 m³ de arena a lo largo de 12 km de la playa.

Las experiencias de Varadero llevaron, localmente, a la implementación de una Estrategia de Manejo Integrado Costero, que ha incluido además, la demolición de más de un centenar estructuras ocupantes de la duna que contribuían a la erosión de la playa, la retirada de las casuarinas existentes en la zona costera, la reconformación y reforestación de varios kilómetros de dunas, y la construcción de pasarelas rústicas de acceso a la playa para garantizar la preservación de las dunas y su vegetación; entre otras acciones.

Asimismo, el programa de inversiones para la recuperación de la playa de Varadero, fue una de las bases para la concepción del Programa Nacional de Inversiones para la Recuperación de Playas en Cuba, integrado posteriormente al Plan del Estado Cubano para el Enfrentamiento al

Cambio Climático (Tarea Vida). Sumando este programa y las experiencias iniciales, se han vertido más de 5 millones de m³ de arena en varias de las principales playas turísticas del país, recurriendo ocasionalmente al uso de estructuras rígidas de defensa costera, en casos puntuales donde las investigaciones han señalado su necesidad.

En la playa de Cancún, en México, destaca el vertimiento de más de 5.2 millones de m³ de arena entre 2009 y 2010, en un proyecto ejecutado para recuperar la playa de los efectos del paso del poderoso Huracán Wilma en 2005. Hacia 2021 fuentes locales señalaban la existencia de otros cuatro proyectos, a la espera de contar con financiamiento para iniciar su ejecución, por casi 7 millones de m³ de arena a verter en su conjunto, para la recuperación de las playas de Cancún, del Carmen, otras de la Riviera Maya y la isla de Cozumel.

Juanes et al., (2012) reportan la ejecución de cuatro proyectos en 2006, por 1,300,000 m³ de arena, en las playas Long Beach, Dorada, Cabarete y Juan Dolio, en República Dominicana.

Como se ha descrito, la Alimentación Artificial de Arena, como técnica de avanzada para la recuperación y/o mantenimiento de las playas, ha tenido resultados satisfactorios a nivel mundial, debido a sus innegables bondades y ventajas sobre otras alternativas ingenieras, en lo que respecta a la conservación de las condiciones naturales de las playas.

Consiste básicamente en aportar nuevos volúmenes de arena a la playa, desde una zona de préstamo cercana, que permita devolver al sistema en un corto periodo de tiempo el sedimento perdido por el efecto de la erosión. Además, permite crear y/o recuperar espacios destinados para uso lúdico o relacionado con la pesca, así como proveer al perfil de playa los volúmenes de arena y el espacio necesario para su funcionamiento dinámico, sirviendo además como defensa costera.

Dentro de sus ventajas más notables está la velocidad con que se restaura el perfil y la no introducción de nuevas estructuras en la zona costera, siendo esta una solución amigable y en armonía con el medio ambiente, además de ser estéticamente superior a la creación de estructuras rígidas, tales como espigones, rompeolas o malecones. Es de señalar que, su implementación no compromete la aplicación de otras medidas en el futuro de ser necesarias, al no modificarse la morfología base del sector costero ni introducir elementos costosos y difíciles de eliminar.

Dentro de los elementos de mayor importancia en este tipo de proyectos, se destacan la determinación de los parámetros de diseño de la playa a conformar y la identificación y caracterización de la zona de préstamo, de donde serán extraídos los volúmenes de aportación necesarios para satisfacer los requerimientos del diseño.

Se puede afirmar que la aplicación de la alimentación artificial de arena para la recuperación y protección de la playa de Bonasse, constituye una medida ingeniera viable, debido a la existencia de depósitos de arenas marinas con condiciones adecuadas como zona de préstamo, a una distancia aceptable para su transportación, elementos que serán tratados en lo sucesivo.

VI.2.1. Zona de préstamo

Para la concepción de proyectos de este tipo, es prioritario la identificación y caracterización de las zonas de préstamo de arena, capaces de satisfacer la demanda de las playas, con la calidad y volúmenes necesarios, minimizando los impactos ambientales y garantizando su uso sostenible y la capacidad de auto-recuperación en el tiempo.

Para cumplir este objetivo se llevó a cabo un programa de trabajo encaminado a la exploración de la plataforma submarina alrededor de la Península de Los Cedros, partiendo del análisis de las características morfológicas observadas en la carta náutica disponible. Así como, la realización de levantamientos batimétricos frente a la playa y en la posible zona de préstamo (Figura 27).

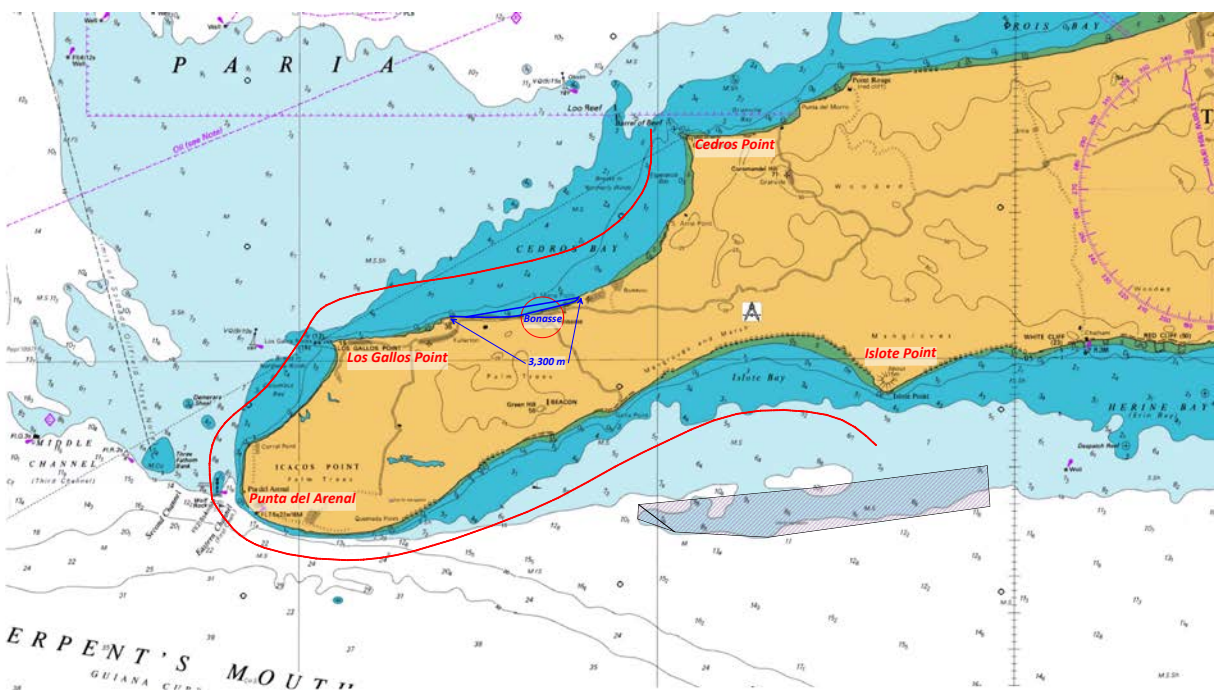


Figura 27. Conjunto de tareas concebidas en el programa de trabajo para la exploración de la plataforma submarina alrededor de la Península de Los Cedros.

A partir de los recorridos de reconocimiento iniciales, la ejecución de las primeras estaciones de buceo autónomo y las entrevistas con pobladores y pescadores, se acotaron tres áreas para investigar potenciales zonas de préstamo de arena (Figura 28).



Figura 28. Áreas investigadas durante la búsqueda de la zona de préstamo de arena alrededor de la Península de Los Cedros.

Durante los trabajos de exploración, por cuestiones de seguridad marítima y por la cercanía a la playa, se priorizaron las investigaciones en la pendiente submarina del Golfo de Paria, entre Cedros Point e Icacos Point, un frente costero de 15 km de longitud, que abarcó únicamente las Áreas I y II.

Como resultado de este trabajo se ejecutaron 20 estaciones de muestreo sedimentológico, quedando demostrado que las presumibles potenciales áreas de préstamo de arena ubicadas en el Golfo de Paria (Áreas I y II), están compuestas por sedimentos fangosos, altamente arcillosos, los cuales probablemente son el resultado del arrastre por las corrientes de flujo de los sedimentos expulsados por el río Orinoco desde el continente y depuestos en el golfo (Fotos 55 y 56). Las Áreas I y II fueron desestimadas.



Fotos 55 y 56. Muestras de sedimentos fangosos del fondo marino del Golfo de Paria.

Atendiendo a que estos trabajos arrojaron resultados negativos para el propósito del proyecto, fue necesaria la localización de una zona de préstamo fuera del Golfo de Paria. Por la interpretación de la carta náutica disponible, información geofísica de archivo y el esquema general de circulación de las aguas alrededor de la isla de Trinidad, específicamente hacia el Sur de Islote Bay, se localizó una potencial zona, la cual denominamos Área III (Figura 28).

Debido a que el Área III se encuentra en una zona peligrosa para la navegación debido a la piratería y el tráfico de drogas, fue necesario la colaboración de la Guardia Costera.

A raíz de una comunicación de la Dra. Rahanna Juman (Directora del IMA), se celebró una reunión con funcionarios de la Guardia Costera. Se les informó de las actividades que el equipo de trabajo estaría llevando a cabo en Bonasse y la zona costera circundante (Fotos 57 y 58).



Fotos 57 y 58. Reunión de información y colaboración entre especialistas de GAMMA e IMA con la Guardia Costera de Bonasse.

Se acordó la participación de dos buzos de la Guardia Costera, para acompañar al equipo en los trabajos de buceo, en funciones de seguridad y protección, ya que se pretendía explorar un área que es sensible desde el punto de vista de la seguridad por su ubicación geográfica.

Con la colaboración del Servicio de Guardacostas de Bonasse (Fotos 59 y 60), en funciones de apoyo a la seguridad marítima, con una embarcación con tripulación armada y buzos de apoyo, se realizaron las estaciones de buceo y colecta de muestras de arena en el Área III prevista, que fueron previamente acordadas con el personal del Servicio de Guardacostas y del IMA.



Fotos 59 y 60. Apoyo de embarcaciones de la guardia costera durante los trabajos de prospección geológica y levantamiento batimétrico en el Área III.

En las estaciones de buceo realizadas (Fotos 61 y 62), se encontró arena de buena calidad. Las perforaciones ejecutadas arrojaron un espesor de la capa de arena medida de 1.65 m. En todas las perforaciones, la perforadora manual penetró con facilidad y rapidez, por lo que, se estima un espesor de arena superior a los 2.00 m.



Fotos 61 y 62. Ejecución de estaciones de buceo autónomo para colecta de muestras de sedimentos y realización de perforaciones del lecho marino.

Debido a la nula visibilidad por la turbidez del agua y las fuertes velocidades de las corrientes marinas, fue necesario la ejecución de la colecta de muestras con la utilización de la jaiba y el winche, lo cual permitió incrementar la densidad del muestreo sedimentológico. En total se ejecutaron 21 estaciones con toma de muestras de sedimentos en 19 de ellas (Fotos 63 y 64).



Fotos 63 y 64. Colecta de muestras de sedimentos con el empleo de jibia y winche.

Los trabajos se llevaron a cabo en estaciones preestablecidas, de manera que se cubrió un área lo suficientemente grande como para que hubiera volúmenes de arena suficientes para satisfacer las necesidades del proyecto de rehabilitación de la playa (Figura 29).

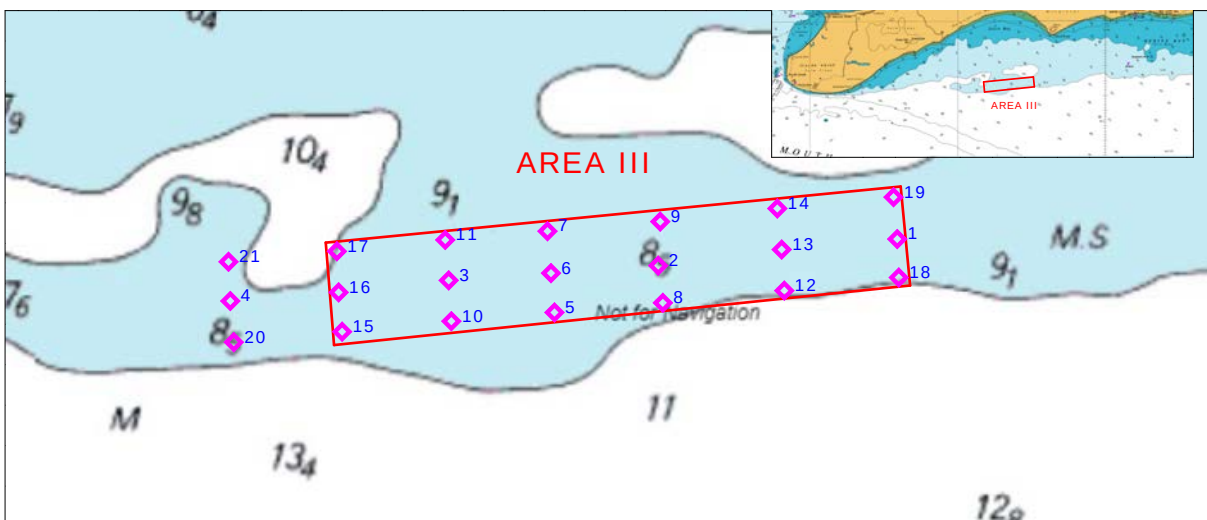


Figura 29. Estaciones de muestreo ejecutadas en el Área III.

Con la realización de las estaciones de buceo, las perforaciones y la colecta de muestras de arena en el Area III, se pudo delimitar una superficie de 1.43 km², con un volumen estimado de **2,356,195.00 m³** de arena, reserva suficiente para satisfacer las necesidades del presente proyecto y futuros que se desarrollen en la región. En la Tabla 18 se presentan las coordenadas de los vértices del polígono que delimita la Zona de Préstamo investigada al Sur de Islote Bay.

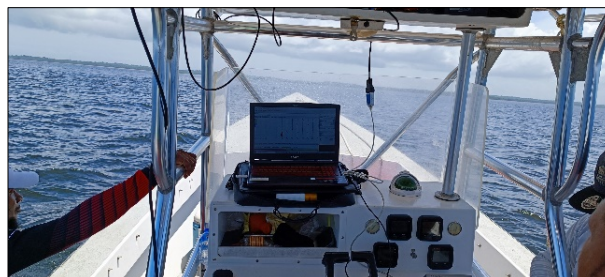
Tabla 18. Coordenadas de los vértices de la Zona de Préstamo al Sur de Islote Bay.

(Bloque identificado medido)

Vértice	Coordenadas Geográficas (WGS-84)		Coordenadas UTM (WGS-84, Zona 20N)	
	Longitud	Latitud	Este	Norte
A	-61.81810195	10.04845750	629520.165	1111003.240
B	-61.79217170	10.05087264	632361.183	1111280.666
C	-61.79176311	10.04644675	632407.767	1110791.384
D	-61.81774498	10.04387885	629561.112	1110497.046

Debido a los problemas de seguridad marítima y las malas condiciones meteorológicas que se presentaron durante el periodo de estos trabajos, no se pudo extender ni densificar las labores de prospección en el Área III, por lo que previo a la ejecución del proyecto, será necesario realizar una campaña de campo con el objetivo de comprobar y actualizar los datos recopilados, acción esta que normalmente siempre se recomienda realizar antes de un dragado.

Una vez concluida la colecta de muestras de arena, se realizó el levantamiento batimétrico de la posible zona de préstamo, a escala 1/15000, 22 líneas de sondeo de 500 m de longitud, con una secuencia de sondeo de 150 m, cubriendo un área de 2 km² (Fotos 65 y 66).



Fotos 65 y 66. Ejecución del levantamiento batimétrico de la zona de préstamo de arena a escala 1/15000.

La distribución de las profundidades dentro de la Zona de Préstamo muestra un promedio de 10.03 m, con valores máximos de 12.03 m y valores mínimos de 9.15 m. (Plano 2)

El área de la Zona de Préstamo constituye un sumidero natural de 2,870 m de longitud por 500 m de ancho medio, que se extiende entre isobatas de 10 m formando una pequeña depresión, condiciones morfológicas idóneas, para que sean depositados los sedimentos acarreados por el oleaje y las corrientes litorales. La Zona de Préstamo se encuentra al Sur de Islote Bay, a 4 km de Islote Point, ideal para los trabajos de dragado y transportación.

Para la caracterización de los sedimentos, en la Zona de Préstamo fueron colectadas 19 muestras de arena.

Desde el punto de vista textural, el análisis granulométrico muestra que el 73.7 % de las muestras son arenas finas, distribuidas en torno al umbral superior de dicha clasificación, y el 36.3 % son arenas medias, distribuidas en torno al umbral inferior de dicha clasificación, lo cual se corresponde con el resultado de la muestra tipo, de diámetro medio 0.216 mm, que clasifica como arena fina. (Tabla 19, Figura 30, Anexo 2, Plano 3)

Tabla 19. Resultados del procesamiento granulométrico de la muestra tipo de la Zona de Préstamo.

Rango de Tamices								M		Desv. Estand (Ø)	Clasificación Wentworth
>4	4-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.125	0.125-0.062	< 0.062	(mm)	(Ø)		
2.839	3.642	4.276	5.868	17.386	59.610	6.148	0.219	0.216	1.929	1.139	Arena fina

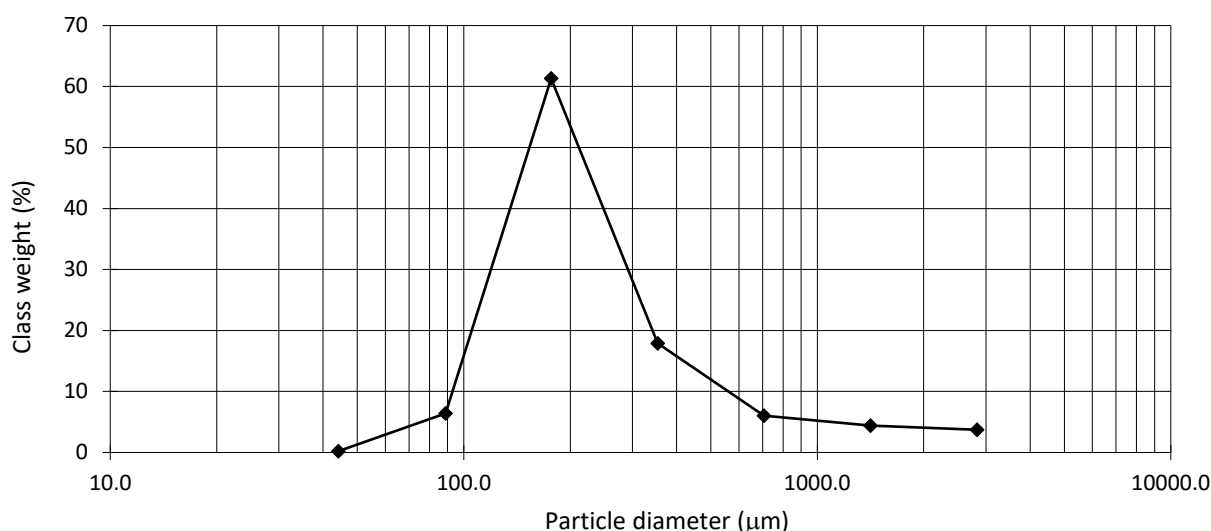


Figura 30. Distribución granulométrica de la muestra tipo de la zona de préstamo.

VI.2.2. Idoneidad de la arena a emplear

La caracterización sedimentológica, tanto de la zona a beneficiar como de la zona de préstamo, constituye uno de los elementos esenciales en los proyectos de rehabilitación de playa, donde se aplica la alimentación artificial de arena. Ella permite establecer la composición granulométrica y la génesis de la arena, cuyos resultados posibilitan la delimitación de las áreas de la plataforma submarina con mejores posibilidades para su empleo en los trabajos de extracción.

En el Anexo 2 se presentan los resultados granulométricos, realizados a las muestras de arena de la playa y de la zona de préstamo, resultados que se resumen en la Tabla 20.

Tabla 20. Granulometría de las muestras tipo de la playa y la zona de préstamo.

Muestra tipo playa				Muestra tipo zona de préstamo			
M (mm)	M (ϕ)	Desv. Stand (ϕ)	Clasif.	M (mm)	M (ϕ)	Desv. Stand (ϕ)	Clasif.
0.170	2.556	0.545	Arena Fina	0.216	1.929	1.139	Arena Fina

Analizando los valores dados en la Tabla 20 se puede concluir, que tanto en la muestra tipo de la playa como en la zona de préstamo, los valores de diámetro medio (M) clasifican como arena fina, siendo ligeramente superior en la zona de préstamo donde $M = 0.216$ mm, mientras que en la playa $M = 0.170$ mm.

Este incremento del diámetro medio de la arena de la zona de préstamo respecto al de la playa, resulta apropiado para lograr una mayor estabilidad de los granos de arena a la hora de realizar el vertimiento en los trabajos de alimentación artificial arena, de acuerdo a las recomendaciones del Shore Protection Manual (1984).

Precisamente esta estabilidad de la arena, desde el punto de vista ingenieril, es un elemento determinante al evaluar la idoneidad de la arena, y por consiguiente en la elección de la zona de préstamo.

Los resultados de las investigaciones geológicas en la zona de préstamo, así como la similitud existente, en los resultados del análisis granulométrico entre las arenas de la playa y el préstamo, permiten afirmar que la zona de préstamo ubicada al Sur de Islote Bay, garantiza totalmente los requerimientos del proyecto, en términos de volumen e idoneidad de la arena.

Al ejecutar un vertimiento, una parte del material se pierde durante la colocación de la arena y posteriormente en el proceso de reacomodo, ello sucede, en lo fundamental, debido al lavado de la arena y a las diferencias granulométricas, entre la arena de la playa (nativa) y la arena de la zona de préstamo (relleno).

Para compensar estas pérdidas de arena, se hace necesario ajustar los volúmenes de arena a verter, utilizando un coeficiente denominado factor de sobre-relleno R_A , propuesto por James (1975), adoptado por el Shore Protection Manual (1984), Automated Coastal Engineering System (ACES, 1992) y por el Coastal Engineering Manual (2002).

James (1975) determina gráficamente el coeficiente R_A mediante un ábaco, considerando que R_A es el valor por el cual debe ser multiplicado el volumen de relleno del proyecto. Esta metodología se encuentra automatizada en el software ACES, recogido dentro de la interfaz gráfica Coastal Engineering Design & Analysis System 4.0 (CEDAS).

El cálculo del R_A se realizó mediante el uso del software Automated Coastal Engineering System (ACES, 1992), obteniéndose los resultados que se presentan en la Figura 31.

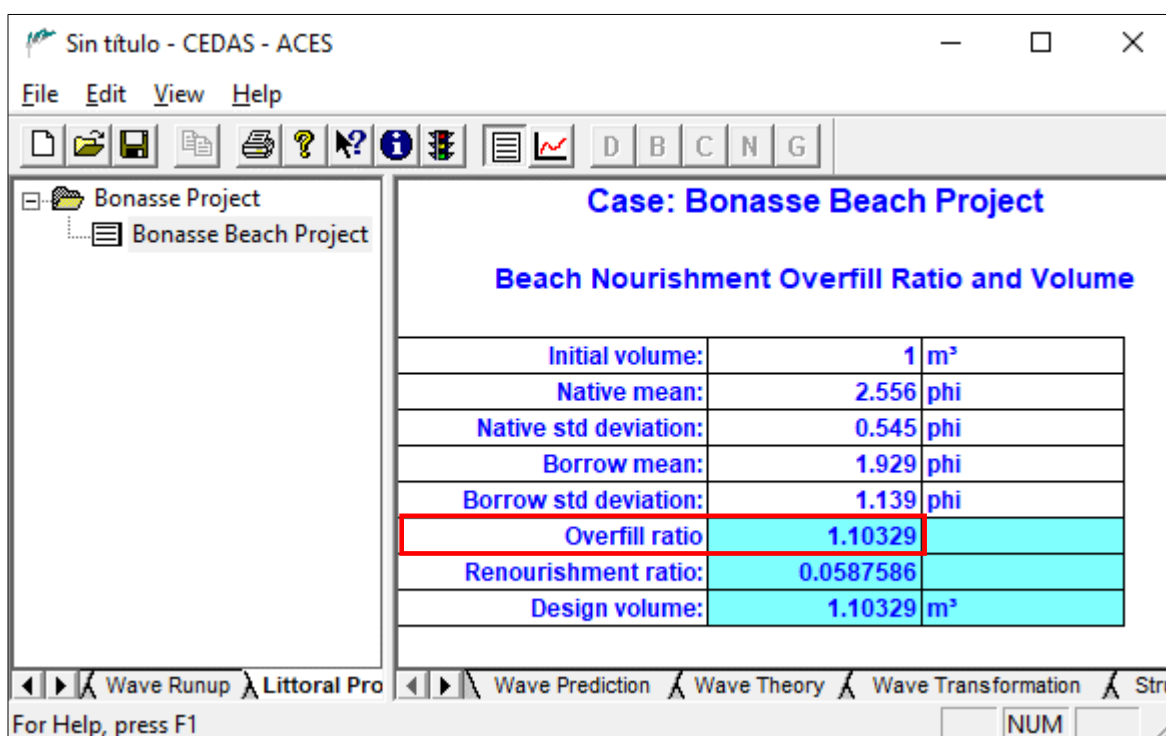


Figura 31. Interfaz gráfica del software CEDAS-ACES. Cálculo del factor de sobre-relleno para la zona de préstamo.

Este coeficiente $R_A=1.1$, deberá ser multiplicado por el volumen de relleno calculado para el proyecto, lo que significará un ajuste a este volumen por diferencias en la granulometría entre la arena nativa y la de relleno.

VI.2.3. Cálculo del volumen de arena

El tramo a beneficiar con la Alimentación Artificial de Arena comprenderá toda la playa, 3,300 m de longitud, cuyos límites se muestran en la Tabla 21 y en la Figura 5 del capítulo IV.

Tabla 21. Coordenadas de los límites de la zona de vertimientos.

Límite	Coordenadas Geográficas (WGS-84)		Coordenadas UTM (WGS-84, Zona 20N)	
	Longitud	Latitud	Este	Norte
Oeste	-61.88084320	10.09273338	622626.990	1115875.344
Este	-61.85156327	10.09671308	625834.072	1116326.569

Referente al cálculo del volumen de relleno, la experiencia internacional demuestra que se utilizan diversos criterios para su estimación, aunque existe coincidencia en que la densidad de los vertimientos no debe ser inferior a los 60 m³ por metro lineal de playa. (Juanes y col., 1996)

Para el diseño de cualquier playa por lo general, se recurre a alguna formulación, que permita determinar el perfil de equilibrio a partir de unas condiciones de oleaje y de un sedimento dado. Reconociendo como perfil de equilibrio, al perfil medio alrededor del cual se producen de manera centrada, las distintas variaciones estacionales o temporales. Se trata de curvas algebraicas suaves con uno o varios tramos y generalmente fáciles de manejar y calcular.

Existen varios modelos del perfil de equilibrio, que permiten evaluar el volumen de arena requerido para garantizar un incremento en el ancho de la playa. Muchos de estos modelos se basan en el propuesto por Dean (1977, 1991).

Dean (1991) desarrolló un método, que es utilizado para determinar el volumen de arena que se requiere en los trabajos de vertimientos para lograr un ancho de playa seca deseado.

El perfil de equilibrio de las playas es un concepto fundamental en el diseño de un vertimiento de arena. Una de las formulaciones del perfil de equilibrio más conocida y aplicada, es la propuesta por Bruun (1954) y Dean (1977; 1991):

$$h(y) = A \times y^{2/3} \quad (6)$$

Donde:

$h(y)$ = profundidad a una distancia "y"

y = distancia horizontal desde la línea de costa

A = parámetro adimensional relacionado con las características del sedimento

Dean (1987) demostró que el parámetro A se relaciona con la velocidad de caída de las partículas (w) por la expresión:

$$A = 0.067 \times w^{0.44} \quad (7)$$

La velocidad de caída puede ser relacionada con el diámetro del sedimento usando la formulación de Hallermeier (1981a). Para el caso de playas con diámetros de sedimentos en un rango de 0.15 mm a 0.85 mm, esta se reduce a la siguiente relación:

$$w = 14 \times D^{1.1} \quad (8)$$

Donde:

D = diámetro medio de la arena expresado en mm

w = velocidad de caída de las partículas expresada en cm/s

El parámetro A puede ser expresado como:

$$A = 0.21 \times D^{0.48} \quad (9)$$

La mayoría de los trabajos de ingeniería de playas se concentra en la parte emergida de la playa, es decir la playa seca. Sin embargo, cuando se realiza una alimentación artificial, la arena inyectada se distribuye a lo largo de todo el perfil dentro de la zona de rompientes hasta una profundidad que se conoce como profundidad de cierre del perfil activo (h^*), obtenida por Hallermeier (1981b) y modificada más tarde por Birkemeier (1985).

$$h^* = 1.75 \times H_{S12} - 57.9 \times \left(\frac{H_{S12}^2}{g \times T_s^2} \right) \quad (10)$$

Donde:

H_{S12} = Altura de ola significativa superada solo 12 horas al año.

T_s = Periodo significativo del oleaje asociado a H_{s12} .

Si el tamaño de la arena de relleno es similar al de la arena nativa, el perfil de playa post-relleno deberá ser igual al perfil pre-relleno, pero extendido hacia el mar, de manera “inversa” a la Regla de Bruun (Bruun, 1962), la cual básicamente expresa que, para un ascenso del nivel del mar dado, la línea de costa retrocederá uniformemente para mantener un perfil de equilibrio constante. (Figura 32)

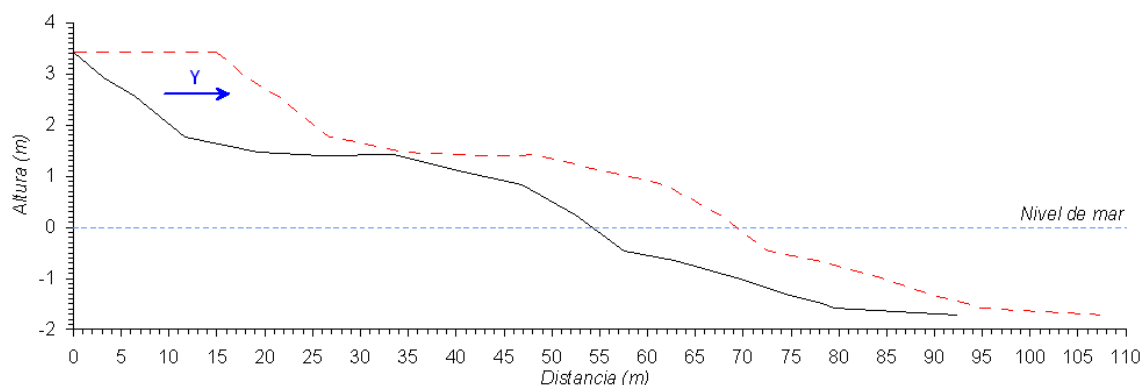


Figura 32. Desplazamiento off-shore del perfil activo como consecuencia de los rellenos.

Restaurar la playa es, por tanto, el proceso inverso donde el perfil será reconstruido hacia el mar. El Shore Protection Manual (1984) plantea que cuando la altura de la berma es B y la profundidad de cierre es h^* (Figura 33), para lograr una playa con un ancho Y se requerirá un volumen V de sedimentos por metro lineal de playa, según la expresión:

$$V = (B + h^*) \times Y \quad (11)$$

Para el caso de que el tamaño del grano de la arena de relleno, difiera del tamaño del grano nativo, el método de Dean (1991) permite determinar el volumen de sedimentos necesario para lograr un ancho de playa seca deseado.

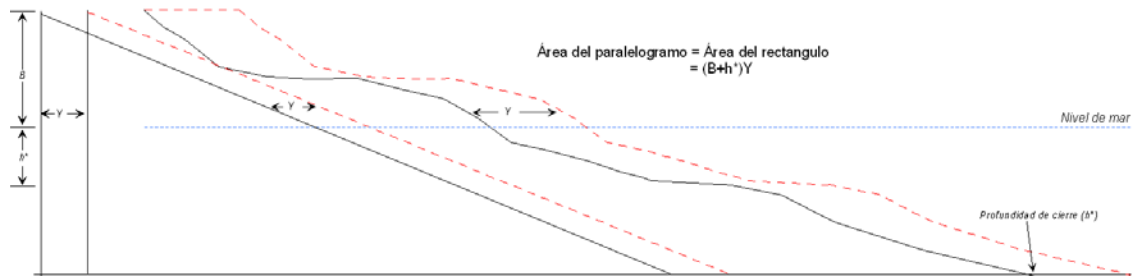


Figura 33. Volumen de arena por unidad de longitud de playa resultado del relleno de playa.

Este autor definió tres tipos básicos de perfiles de relleno. Dependiendo del parámetro A del material nativo (A_N) y del material de relleno (A_R), puede ocurrir que el relleno intercepte o no intercepte al perfil nativo antes de la profundidad de cierre, o que este sea sumergido.

Para determinar si un perfil de relleno se intercepta o no con el perfil nativo, Dean (1991) arriba a las siguientes desigualdades:

$$Y \left(\frac{A_N}{H} \right)^{3/2} + \left(\frac{A_N}{A_R} \right)^{3/2} < 1 \quad \text{El perfil se intercepta} \quad (12)$$

$$Y \left(\frac{A_N}{H} \right)^{3/2} + \left(\frac{A_N}{A_R} \right)^{3/2} > 1 \quad \text{El perfil no se intercepta} \quad (13)$$

Donde:

A_N = valor del parámetro de escala A de la arena nativa

A_R = valor del parámetro de escala A de la arena a introducir

H = profundidad de cierre del perfil activo

Y = ancho de playa que se desea alcanzar

Para el caso de perfiles que no se interceptan el volumen de sedimentos a depositar se determina por la expresión:

$$V = B \times Y + \frac{3}{5} H^{5/2} \left[\left[\frac{Y}{H^{3/2}} + \left(\frac{1}{A_R} \right)^{3/2} \right]^{5/3} A_N - \left(\frac{1}{A_R} \right)^{3/2} \right] \quad (14)$$

Donde:

V = volumen de sedimentos en metros cúbicos por metro lineal de playa

H = profundidad de cierre del perfil activo

B = altura de la berma

Y = ancho de playa que se desea alcanzar

A_N = valor del parámetro de escala A de la arena nativa

A_R = valor del parámetro de escala A de la arena a introducir

Para perfiles que se interceptan (cuando se cumple la desigualdad (7)), el volumen necesario para obtener un ancho de playa determinado está dado por:

$$V = B \times Y + \frac{\frac{3}{5} \times A_N \times Y^{5/3}}{\left[1 - \left(\frac{A_N}{A_R}\right)^{3/2}\right]^{2/3}} \quad (15)$$

Para aplicar la metodología propuesta por Dean (1991), es necesario definir la profundidad de cierre del perfil activo (h^*), por la expresión (5), por lo que hay que determinar los parámetros H_{S12} y T_S .

De los regímenes medios de las Figuras 17 y 18, es posible determinar la altura de ola significativa y el periodo de pico, superados solo 12 horas al año, los cual corresponden a la probabilidad acumulada de 0.99863, por tanto, $H_{S12} = 2.50$ m y $T_S = 15$ s, con estos valores y aplicando la expresión (5) se obtiene que $h^* = 4.21$ m.

De (12) y (13) se concluye que el perfil de relleno intercepta al perfil nativo antes de la profundidad de cierre.

Aplicando las expresiones correspondientes, es posible determinar el volumen necesario para obtener una playa seca de 30 m de ancho, con una altura de berma de 1.75 m que garantice mantener emergida la post-playa en momentos de pleamar, cuyo calculo manual arrojó un volumen de 105.8 m³/m. Estas formulaciones quedan automatizadas en el Sistema de Modelado Costero (SMC).

En la Figura 34 se muestra la ventana de cálculo del Módulo "Tutor de Ingeniería de Costas" del SMC, en la que se recogen los parámetros de entrada y los resultados, donde se destaca el volumen de relleno que coincide con el calculado manualmente (105.13 m³/m) y el avance de la línea de vertido, lo que significa que para lograr 30 m de ancho de playa seca después de

alcanzado el equilibrio, el vertimiento debe extenderse en su parte emergida hasta 46 m (Figura 35).

El volumen calculado expresa la densidad del vertimiento de arena, es decir, el volumen por unidad de playa lineal, el cual debe ser multiplicado por el factor de sobre-relleno R_A para compensar las pérdidas por las diferencias granulométricas entre la arena introducida y la nativa. Como la longitud de la playa a regenerar es de 3,300 m, el volumen total del vertimiento es de 381,150 m³,

The screenshot shows the 'Tutor de Ingeniería de Costas' software interface. The left sidebar contains a tree view with categories: DINÁMICAS, PROCESOS LITORALES, OBRAS, and IMPACTO AMBIENTAL. Under PROCESOS LITORALES, the following items are listed: 1. Propiedades de los sedimentos, 2. Transporte de sedimentos, 3. Perfil de playas (selected), 3.1 Perfil de equilibrio, 3.2 Regeneración de playas, 4. Forma en planta, 5. Estados morfodinámicos, and 6. Procesos litorales en estuarios. The main window is divided into three panels: Entradas, Caso de ejecución, and Resultados.

Entradas:

- Tipo de ejecución:
 - ☒ Calcular volumen de relleno: Avance línea de costa: 30, Volumen de relleno: []
 - ☐ Calcular avance de la línea de costa: []
- Características de los sedimentos:
 - Diámetro material nativo: 0.170
 - Diámetro material de relleno: 0.216
 - Pendiente natural arena: 0.1
 - Profundidad de corte: 4.21
 - Cota de la berna: 1.75
 - Factor K ($A=K \cdot W^{0.44}$): 0.5

Caso de ejecución:

- ☒ Perfil completo
- ☐ Perfil con laja: Profundidad de la laja: []
- ☐ Perfil con muro: Prof. a pie de muro: []
- ☐ Perfil con laja y muro: Profundidad de la laja: [], Prof. a pie de muro: []

Resultados:

- Volumen de relleno: 105.13
- Avance línea vertido: 46.19
- Distancia muro-origen: []
- Coefficientes de Dean:
 - Coef. A material nativo: 0.09
 - Coef. A material de relleno: 0.10
- Gráfico de perfiles: []

Figura 34. Cálculo de la densidad del relleno utilizando el Tutor de Ingeniería Costera (TIC) del Sistema de Modelado Costero (SMC).

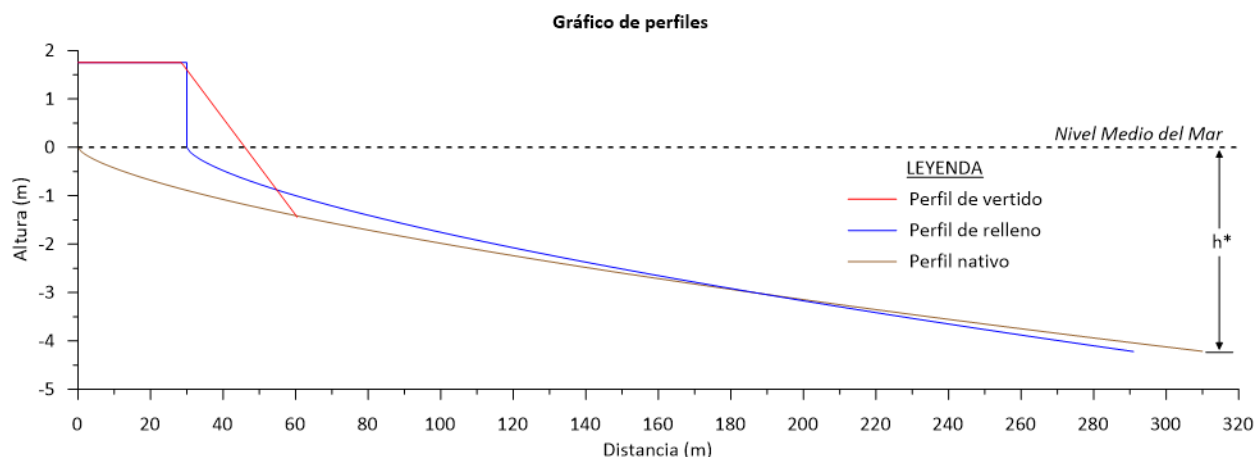


Figura 35. Representación de los perfiles de equilibrio (nativo y relleno) y perfil de vertido.

En el Plano 4, se muestran los perfiles de diseño, los cuales se han dibujado tomando como base los perfiles de playa medidos durante los trabajos de campo, considerando además que estos son representativos de los tramos de playa donde se encuentran ubicados. Con la selección de estos perfiles se garantiza, tanto las labores de Control de Autor como del Monitoreo ulterior.

VI.2.5. Restauración del sistema dunar de la playa

Desde el punto de vista funcional, las dunas representan las reservas de arena de las playas, es decir, las zonas donde durante los episodios extremos, como huracanes y bajas extratropicales, el mar toma la arena que necesita para que el perfil de playa se acomode a las condiciones más duras del oleaje incidente, de esta forma potencia las barras submarinas y aleja la rompiente del oleaje, disipando su energía lejos de la orilla.

El papel de las dunas litorales adquiere mayor importancia, ante los desafíos que impone los efectos del cambio climático, pues por un lado nos enfrenta a una subida del nivel medio del mar, y por otro, a una mayor frecuencia de ocurrencia de los eventos meteorológicos extremos.

El objetivo de recuperación de la duna de la playa de Bonasse, es restituir las características funcionales y estéticas de la duna como una alternativa viable, económicamente, para contrarrestar la erosión costera.

Sin embargo, como ya se ha descrito, la playa de Bonasse tiene una serie de particularidades que obliga a realizar un análisis sectorizado para reconstruir y potenciar las dunas, las cuales en lo fundamental se resumen a continuación:

- No posee barras submarinas a lo largo de su extensión, indicador geomorfológico que denota un pobre o nulo transporte de sedimentos “on shore – off shore”, por tanto, no existe intercambio entre las dunas y las barras.
- En momentos de tormentas cuando las dunas son atacadas por el oleaje, los sedimentos erodados, son puestos en suspensión y transportados de Este a Oeste por las corrientes litorales, tal como muestran los resultados de las modelaciones que aparecen recogidas en el Anexo 3.
- El 25 % de la playa (600 m en Bonasse y 200 m en Fullerton) tiene las dunas ocupadas por inmuebles que impedirán potenciar los volúmenes de arena. (Caso A) (Figura 36)
- En el 42 % de la playa (1,400 m del Sector 2) las dunas han sido erosionadas, a tal punto que algunos lugares la vegetación que normalmente ocupa la duna y post-duna, se encuentra actualmente en áreas de post-playas, y en ocasiones en pleamar es alcanzada por las olas. (Caso B) (Figura 36)
- Solo en el 33 % de la playa (1,100 m) existe posibilidad de potenciar los volúmenes de arena de las dunas. (Caso C) (Figura 36)

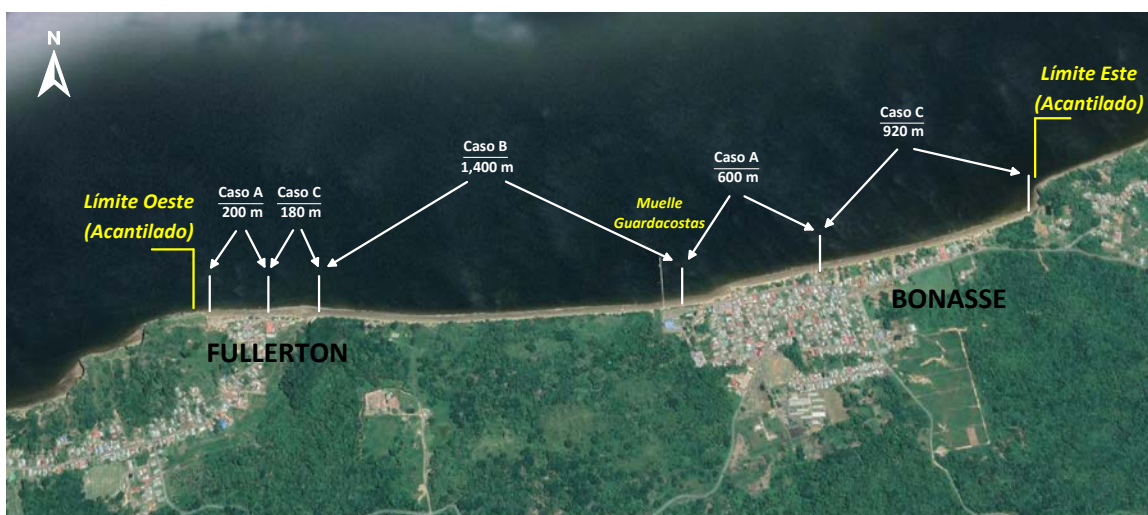


Figura 36. Zonación de las dunas para la aplicación de acciones durante el vertimiento de arena.

Por tal motivo:

- En los Casos A y B, los volúmenes de arena serán depositados, de tal manera que, la berma y post-playa tengan una cota de coronación de 1.75 m, lo cual garantizará una playa seca que nunca será inundada por el mar en pleamar. Los volúmenes de arena serán

apoyados hacia tierra contra la actual duna (Plano 4). De manera operativa, en la etapa de reacomodo mecánico de los volúmenes de arena (perfilado de la playa), se nivelará la actual duna en la medida que la vegetación e inmuebles lo permitan.

- En el Caso C, de igual forma, los volúmenes de arena serán depositados, de tal manera que, la berma y post-playa tengan una cota de coronación de 1.75 m, lo cual garantizará una playa seca que nunca será inundada por el mar en pleamar. Hacia la actual duna se acarrearán suficientes volúmenes de arena para conformar un cordón dunar de 15 m de ancho, con una cota de coronación de 2.50 m, y una densidad de 15 m³/m, equivalentes a 16,500 m³ adicionales al volumen de arena calculado en el epígrafe VI.2.4., (Plano 4).

De lo anterior, **el volumen de arena necesario para la rehabilitación y protección de la playa de Bonasse es de 397,650 m³ de arena.**

Una vez reconformada la duna en los tramos correspondientes, su estabilización ante el transporte eólico, se logrará mediante la siembra de especies de las dunas costeras que cumplan tres requisitos fundamentales: que sean fijadoras de sedimento, que tengan la capacidad de sobrevivir al enterramiento por la arena y también de regenerarse naturalmente después de un suceso de tormenta.

Las especies que se seleccionarán para estabilizar las dunas reconstruidas contribuirán también, a devolver las condiciones ecológicas mínimas para la gradual recuperación de la diversidad florística del área. Con ello se garantizará, un aumento sustancial a mediano plazo en la capacidad de auto-recuperación de la vegetación ante eventos meteorológicos severos u otro tipo de afectaciones.

La estrategia de restauración de la vegetación de las dunas tiene en cuenta la zonación natural en las especies de plantas que refleja los distintos niveles de salinidad del sustrato que ellas toleran, donde las plantas herbáceas son las que toleran los más altos niveles de aerosol salino.

Específicamente en la playa de Bonasse, en los tramos que serán reconformadas las dunas, la restauración dunar estará circunscrita a su cara frontal y su cara posterior.

A los efectos prácticos, la cara frontal de la duna comprende su pendiente frontal desde la base hasta la cresta donde cambia la dirección de la pendiente. Se divide en dos partes: una franja de 2 m en la misma base (pie de la duna al mar) y el plano inclinado de la cara frontal hasta la cima.

Por su parte, la cara posterior comprende el plano de la pendiente posterior de la duna desde la cresta de cambio de la pendiente hasta el pie trasero de la duna.

Las especies a emplear en los diferentes sectores de la duna se relacionan en la Tabla 22 y en las Fotos 67, 68 y 69 se muestran imágenes de estas especies. En vistas a que las áreas a revegetar no son muy extensas, en esta primera fase inmediatamente después de los vertimientos, se propone solo un tipo de planta para cada zona de la duna.

Tabla 22. Especies de plantas por sectores a emplear en la rehabilitación de la duna.

Zona de la duna	Especie de planta
Pie de la duna al mar	Hierba de vidrio (<i>Sesuvium portulacastrum</i>)
Cara frontal de la duna	Gramma de playa (<i>Panicum amarum</i>)
Cara posterior de la duna	Boniato de costa (<i>Ipomoea pes-caprae</i>)



Foto 67. Vegetación herbácea, Hierba de Vidrio (*Sesuvium portulacastrum*).



Foto 68. Vegetación herbácea, Grama de Playa (*Panicum amarum*).



Foto 69. Vegetación rastrera, Boniato de Costa (*Ipomoea pes-caprae*).

VI.2.6. Volúmenes de siembra por zonas

Pie de la duna al mar, 2 m de ancho (2,200 m²)

Hierba de vidrio (*Sesuvium portulacastrum*)

Densidad de siembra: 25 pl/m²

Total de Hierba de vidrio: 55,000 plantas

Cara frontal de la duna, 7 m de ancho (7,700 m²)

Grama de playa (*Panicum amarum*)

Densidad de siembra de 18 pl/m²

Total de Grama de playa: 138,600 plantas

Cara posterior de la duna, 6 m de ancho (6,600 m²)

Boniato de costa (*Ipomoea pes-caprae*)

Densidad de siembra: 15 pl/m²

Total de Boniato de costa: 99,000 plantas

Estos volúmenes de plantas deberán estar disponibles en viveros, por lo que, dentro de la estrategia a corto y mediano plazo deberá estar considerado.

Para las densidades de siembra por metro cuadrado de duna, se tomaron las experiencias de los trabajos realizados por el Instituto de Ciencias del Mar y el Instituto de Ecología y Sistemática de Cuba, en la recuperación de las dunas de las Playas del Este de La Habana.

VI.2.7. Conformación de barreras de contención y captación de arena

Los sistemas de captación de arenas son estructuras que, consiguen formar acumulaciones gracias a la intercepción de la arena que el viento transporta, al reducir su velocidad por la fricción que ejercen sobre el suelo. Estos sistemas son utilizados para detener el transporte de arena hacia la parte posterior de la duna, ayudar a rellenar brechas en las dunas y crear cordones completamente nuevos.

Los captadores de arena sustituyen así la función que, de forma natural, ejerce la vegetación en la construcción de cordones dunares costeros, en aquellos sitios donde la vegetación tiene baja densidad o está ausente.

Para las dunas a rehabilitar en la playa de Bonasse, se recomienda utilizar captadores de apoyo, los cuales se utilizan en zonas donde el cordón dunar no está totalmente degradado y se instalan entre la vegetación natural o la nueva revegetada. Su principal objetivo es: la protección de la vegetación frente a la erosión eólica y la deposición de arena mientras las plantas alcanzan su

tamaño adulto, asumiendo posteriormente éstas la función de estabilización y fijación de las zonas de arena móvil.

La ubicación de los captadores sobre el terreno depende del objetivo perseguido y de la dinámica sedimentaria natural del sistema. En el caso de la duna a rehabilitar en los tramos señalados, los captadores se deberán colocar próximos a la cima de la duna, en su pendiente al mar, de tal manera, que la cota de los captadores sea superior a la cota de la duna, a medida que la duna crezca a punto de sobrepasarlos, estos sistemas se re-colocan avanzando hacia el mar permitiendo así aumentar la envergadura de la duna. Una vez estabilizada la vegetación se evaluará su permanencia.

Los captadores de arena son empalizadas, las cuales podrán ser construidas utilizando tablas de madera (tablestacas) u otros materiales, como mallas sintéticas (Foto 70). En cuanto a las dimensiones, los captadores deberán tener una altura mínima de 1.20 m, debiendo ser enterrados 1/3 de los mismos. Si se utilizan tablestacas de madera, los tablones verticales deberán estar separados unos 25 cm entre sí (Figura 37).



Foto 70. Barreras de contención y captación de arena implementados en playa El Paso, Cayo Guillermo, Cuba.

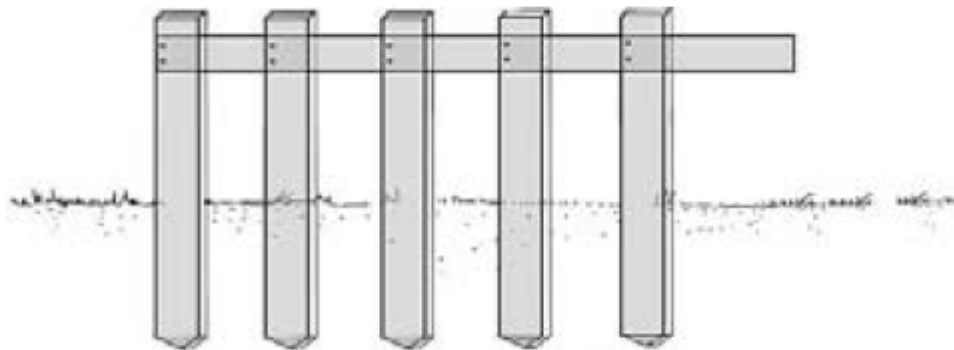


Figura 37. Esquema de la estructura de los captadores de tablestacas.

VII. EFECTIVIDAD ESPERADA DEL PROYECTO

Al concluir un vertimiento de arena, el material depositado en la playa queda sometido a la acción del oleaje, las corrientes inducidas por este y el viento. Como resultado de la acción de estos agentes, se establece un movimiento de las arenas, siguiendo un esquema morfodinámico de funcionamiento, que provoca el reacomodo natural de los sedimentos quedando en una posición llamada de equilibrio.

El mayor interés al evaluar la efectividad de un proyecto de este tipo, es conocer la durabilidad o vida útil del mismo. Comúnmente esta valoración se hace sobre la base de cuantificar, en términos de retroceso de la línea de costa y/o pérdidas de volumen de arena, las afectaciones que pueden sufrir las dunas y la post-playa frente a eventos erosivos extremos.

Para el caso de la playa Bonasse, bajo las condiciones medias anuales no se producen grandes variaciones del perfil de playa, debido a la baja energía del oleaje que puede alcanzar la playa. Sin embargo, las condiciones extremas provocadas por tormentas, son las responsables de las máximas afectaciones registradas, dejando su huella en la post-playa, las dunas e inmuebles, como lo ocurrido con el huracán Iván en 2004, cuando según los pobladores, parte de la arena de la playa fue movida hacia la calle principal, alcanzando zonas elevadas de hasta más de 3 m de altura.

Si bien son las tormentas las responsables directas de los momentos de mayor erosión en la playa, hay que señalar, que la frecuencia de ocurrencia de este tipo de eventos es baja, por lo que, una vez aplicada la solución propuesta, es de esperar que el ritmo de pérdida de la arena depositada mantenga valores bajos.

El mayor reto del actual proyecto es, por tanto, lograr la estabilidad de las arenas depositadas artificialmente en el mediano y largo plazo, para mantener una playa con condiciones estéticas y funcionales adecuadas frente a los desafíos del cambio climático y la elevación del nivel medio del mar, lo cual, de acuerdo a la tasa de retroceso de la línea de costa de -0.62 m/año descrita en el capítulo IV y asumiendo que esta tasa se mantenga en el tiempo, se puede estimar que para que se pierda el 60 % del ancho de playa deberán transcurrir al menos 30 años, siempre que no se produzcan huracanes u otros eventos hidrometeorológicos extremos que aceleren el proceso de pérdida de arena.

Con los vertimientos de arena, de manera instantánea se logrará una playa emergida de 46 m. Sin embargo, la playa comenzará a movilizar arena de su parte emergida hacia la pendiente submarina, hasta que la línea de costa adopte su posición de equilibrio, logrando un ancho de la post-playa de unos 30 m desde la base de la duna.

Es importante destacar que, esta reducción del ancho de playa, no debe entenderse como pérdidas de arena de la playa, en cualquier caso, debe ser interpretado como el reacomodo natural de la arena a lo largo del perfil, donde parte de las arenas de la parte emergida se movilizan hacia la parte sumergida.

Se recomienda que al concluir los trabajos de vertimientos de arena se establezca un monitoreo periódico del comportamiento de la playa, con el fin de identificar sectores críticos y planificar acciones de mitigación preventivas.

VIII. FORMA DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS Y TIEMPO ESTIMADO

VIII.1. Forma de ejecución

La ejecución de la obra deberá transitar por cinco etapas, las cuales garantizarán el éxito del trabajo:

- (1) Preparación de la tubería de conexión y descarga de la draga
- (2) Acondicionamiento de la playa y preparación de los trabajos
- (3) Vertimiento de arena
- (4) Conformación del perfil de diseño
- (5) Estabilización de la duna conformada

(1) Preparación de la tubería de conexión y descarga de la draga

Para la ejecución del proyecto se concibe el empleo de una draga de succión en marcha para la extracción de la arena en la zona de préstamo, su transporte hasta la zona de vertimiento y su bombeo hasta la playa (Foto 71).



Foto 71. Ejemplo de draga de succión en marcha con características idóneas para la ejecución del proyecto. (Draga Mario Oliva Pérez, Empresa Constructora de Obras Marítimas, Cuba)

Una de las acciones principales durante la movilización para el inicio de los trabajos de alimentación artificial de arena, es la preparación de la tubería que conectará con la draga y por donde serán descargados los sedimentos hacia la playa. Para ello, se debe seleccionar un sector lo más próximo posible a la playa con espacio suficiente para armar la tubería.

Se recomienda que la tubería sea flotante, toda vez que el lecho frente a la playa de Bonasse está constituido por lodos, y al emplazar la tubería para la descarga esta puede quedar atrapada dentro de ellos, resultando un problema realizar los cambios de posición.

Una vez empalmada la tubería, de acuerdo a la longitud necesaria desde la orilla hasta los puntos de acoples en la isobata de 7 m, esta es lanzada al mar y se traslada navegando hasta la zona de actuaciones, donde se fija uno de sus extremos en el punto de acople de la draga en el mar, mientras el otro extremo se lleva a tierra firme, fijándose al fondo mediante anclas y pesos muertos.

Teniendo en cuenta que se necesita espacio suficiente para el acopio de tuberías, los trabajos de unión de los tramos de tubos, además de la posibilidad de acceder hasta la misma zona litoral, la configuración del fondo frente a la playa que, permita el acercamiento de remolcadores hasta las cercanías de la línea de costa, se propone que esta área sea el Sector 2, entre el muelle de Guardacostas y el poblado de Fullerton, tramo este que reúne las características anteriores, también se puede considerar virgen con 1,300 m de longitud (Figura 38).



Figura 38. Esquema de ubicación de la zona de preparación de la tubería de descarga.

(2) Acondicionamiento de la playa y preparación de los trabajos

En esta etapa se deben acometer una serie de acciones para facilitar la ejecución de los trabajos, las que consistirán en la eliminación de todos los obstáculos en el área de la playa, que impidan el libre movimiento de equipos pesados y la correcta redistribución del material durante el bombeo y posterior reacomodo de la arena.

En la actualidad la playa solo es explotada en un pequeño sector para uso lúdico, pero de muy baja intensidad, el mayor uso es para el varado/atraque de pequeñas embarcaciones (botes) y también se circunscribe a pequeños sectores, por lo que, al momento de la ejecución de los trabajos, deberán ser retirados de manera temporal.

Las autoridades de Bonasse, deberán asegurar la comunicación a los propietarios de embarcaciones para la retirada y resguardo de sus embarcaciones y los avíos de pesca que puedan estar en la playa. Asimismo, deberán informar a los pobladores de los trabajos que se ejecutarán y tomar las medidas de seguridad pertinentes, para evitar el acceso a las áreas de trabajo y la ocurrencia de posibles accidentes.

Por otra parte, se solicitarán los permisos de vialidad y tránsito, para el acceso del equipamiento a la zona de arme de las tuberías, así como los movimientos internos por los viales principales y secundarios que dan acceso a la playa.

También se realizarán las puntualizaciones necesarias para el resto de las facilidades de apoyo, como son: acceso a puerto, disponibilidad de combustibles, alimentación, equipamiento, fuerza de trabajo, entre otras, que quedarán definidas posterior a las negociaciones con el ejecutor. No obstante, se prevé que el puerto de aprovisionamiento de agua y combustibles sea el puerto marítimo de Point Fortin, localizado a 24 km al Norte de Bonasse.

(3) Vertimiento de arena

La principal problemática que plantea el proyecto, es la distancia de tiro que debe afrontar la draga de succión en marcha para bombear la arena desde las distintas posiciones de acople hasta la playa. Como se observa en los Planos 1 y 5, la isobata de 7 m se encuentra a una distancia máxima de la orilla de 3,200 m hasta la orilla, por lo que la draga a emplear deberá ser capaz de superar esta distancia de bombeo.

Por las características de la playa y su batimetría, así como por la distancia a la zona de préstamo, se deberá emplear una draga de succión en marcha capaz de navegar en profundidades reducidas entre 7 y 8 m, una capacidad de cántara entre 2,000 y 5,000 m³,

potencia para impulsar la mezcla de agua/arena hasta una distancia máxima de 3,500 m, así como tubería suficiente para alcanzar dicha distancia (Plano 5).

Los trabajos de vertimiento se iniciarán por el límite Este de la playa, avanzando en dirección Oeste hacia el poblado de Fullerton. Se prevé la colocación de dos puntos de acople, uno para cada sector de playa limitados por el muelle de Guardacostas (Plano 5).

La playa quedará conformada en su pendiente submarina y post-playa con una densidad media de 105 m³/m y una densidad media para los sectores de dunas de 120 m³/m, de acuerdo a los perfiles de diseño que aparecen en el Plano 4.

En el Plano 5 y la Tabla 23, se presenta la ubicación de los puntos de acople de la draga.

Tabla 23. Coordenadas de los puntos de acople de la draga.

Punto	Coordenadas Geográficas (WGS-84)		Coordenadas UTM (WGS-84, Zona 20N)	
	Longitud	Latitud	Este	Norte
1	-61.87329255	10.11725762	623445.064	1118590.186
2	-61.88352932	10.11245323	622325.181	1118055.039

Todo el equipamiento a utilizar para el movimiento de las tuberías, el acarreo de la arena vertida y la conformación de los perfiles de diseño, deberá acceder a través de los accesos ubicados en ambos extremos de la playa (Plano 5).

La arena será extraída mientras la draga se mantiene navegando dentro de los límites de la zona de préstamo. Una vez posicionada dentro de dichos límites, la draga despliega el brazo de succión hasta hacer contacto con el fondo y comienza el dragado mientras se desplaza a velocidades reducidas, entre 2 y 4 nudos (Figura 39).



Figura 39. Representación de draga de succión en marcha en operación de extracción de arena con brazo desplegado.

Los oficiales al mando de la draga, de conjunto con el representante del inversionista y el proyectista, deben seleccionar las rutas de dragado que garanticen una explotación controlada del yacimiento.

El dragado se realizará siempre al interior de la Zona de Préstamo delimitada por las coordenadas que se muestran en la Tabla 18, representadas en el Plano 2. Se dragará en líneas rectas, siguiendo los rumbos 85° - 265°, paralelo a las isobatas, en la dirección longitudinal de la zona de préstamo.

Extraído el sedimento del fondo del mar es acumulado en la cántara, y una vez cargada, la draga se trasladará hasta los puntos de acople de la draga con la tubería de descarga, siguiendo las rutas sugeridas en el Plano 5. La Tabla 23 muestra las coordenadas de los puntos de acople de la draga, y distancia máxima a la zona de vertido (Plano 5).

El ciclo de dragado y bombeo termina cuando la draga se conecta a la tubería de descarga mediante la cual la arena será impulsada por procesos hidráulicos hasta la playa para la conformación del perfil final con el apoyo de medios mecánicos, de acuerdo al diseño (Figura 40).

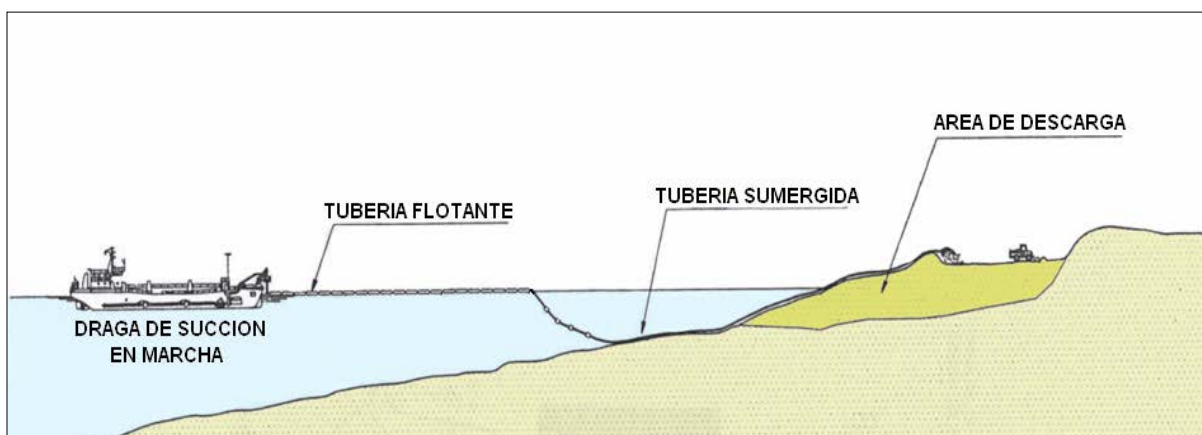


Figura 40. Representación de la draga de succión en marcha conectada a la tubería de descarga a través de la cual bombea una mezcla de agua y arena hasta la playa a regenerar, donde los medios mecánicos conforman el perfil.

Para el cálculo del volumen extraído, la cántara de la draga cuenta con puntos de medición mediante los cuales se obtiene el aforo y el volumen según tabla ofrecida por el fabricante y certificada por instituciones competentes. A pesar de la confianza que ofrece la certificación emitida, antes del inicio de los trabajos se realiza una verificación con la cántara vacía participando el capitán y el representante del inversionista.

Los trabajos de dragado con este tipo de equipamiento se pueden considerar como una serie de ciclos continuos de dragados sencillos. Cada ciclo consiste en diferentes fases ejecutadas sucesivamente. Las diferentes fases que comprende un ciclo de dragado se muestran en la Figura 41.

Nótese que el diagrama de la Figura 41 muestra las fases tanto para la descarga por tuberías como por abertura de la cántara. En el caso del presente proyecto solo se realizará la descarga por tuberías directamente hasta la playa.

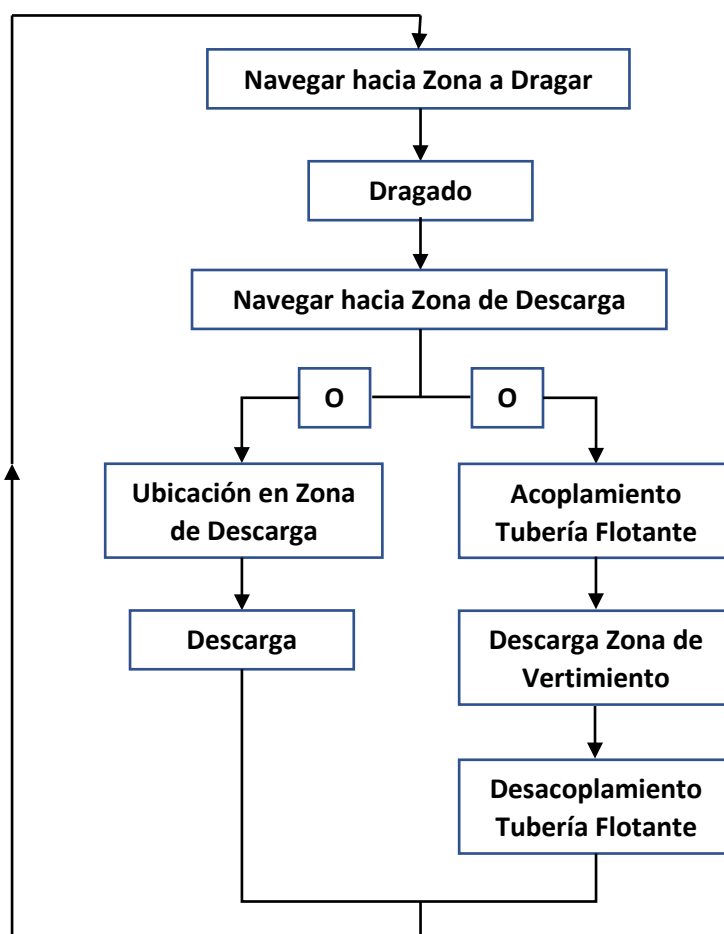


Figura 41. Fases del ciclo de dragado.

La longitud de cada avance de un punto de vertido al siguiente, se calculará en función del volumen medido en la cántara de la draga en cada ciclo, de modo que se conserve la densidad de vertido de diseño en el sector en cuestión.

Antes de cada vertido, los medios mecánicos en tierra posicionarán la tubería en el punto correspondiente, elevándola de 2 m a 3 m sobre el nivel del terreno (Foto 72). La construcción o no, de diques de contención de la arena entorno al punto de vertido, contribuye al manejo de las densidades y debe valorarse en cada caso por los representantes del ejecutor y el proyectista en el terreno.



Foto 72. Retroexcavadora colocando el extremo de la tubería en el punto de vertido.

Una vez conectada la draga a la tubería de descarga, se inicia el bombeo de agua para limpiar la línea, y posteriormente, de la mezcla de arena y agua (Foto 73). Durante el vertido, los medios mecánicos permanecerán listos para operar en caso de requerirse su intervención para contribuir al drenaje del agua de la mezcla vertida, hacia el mar. Esto es particularmente necesario si se emplea una draga de mayor capacidad.



Foto 73. Vertido de la arena en la playa.

(4) Conformación del perfil de diseño

Esta etapa se refiere a los trabajos que se deberán ejecutar una vez depositada la arena en la playa, para cumplir con los parámetros de diseño establecidos en el proyecto.

Para la conformación de los perfiles de diseño con las densidades propuestas (Plano 4), resultará necesario realizar un intenso trabajo de acarreo de la arena, con el empleo de equipos pesados (buldócer, retro-excavadoras y/o cargadores frontales), el cual comienza desde el mismo instante en que inicia la descarga de la draga (Foto 74).



Foto 74. Nivelado y conformación del perfil de playa por medios mecánicos.

La forma de ejecutar esta labor de acarreo del material, debe ser supervisada por el Proyectista dentro del Control de Autor, pues la correcta ejecución de esta acción, garantizará minimizar las pérdidas de las fracciones finas de la arena por el propio lavado del material, recordando que la draga bombea una mezcla de agua/arena con una proporción 70/30, lo cual resulta decisivo para lograr que la densidad y volumen que realmente queden en la playa, sean lo más cercano a lo proyectado.

Una vez terminada cada descarga y cumplida la densidad por tramos de tubería, se conectan nuevos tramos de tuberías o se arrastra la misma, con lo que se va avanzando en la dirección del vertimiento, quedando atrás la playa recién beneficiada, pero que aún no cumple con la morfología del perfil proyectado.

En este punto, se va acondicionando la playa para recibir el nuevo viaje de la draga, mientras bajo supervisión del Proyectista, la playa recién rellenada es perfilada siguiendo los parámetros establecidos en los perfiles de diseño.

Una vez vaya quedando conformada la nueva playa, libre de los obstáculos propios de las tareas del vertimiento, el Ingeniero de Obra al frente de las labores de Control de Autor realiza la certificación de la playa.

En el Plano 6 se resumen las condiciones existentes en la playa y las medidas a implementar para su rehabilitación en el corto y mediano plazo.

VIII.2. Tiempo estimado

Asumiendo una capacidad de carga de la draga de succión en marcha de 2,500 m³ de arena y que la zona de préstamo se encuentra a una distancia media de la zona de vertimientos de 40 km (21.6 millas náuticas), se estima que la misma es capaz de realizar 4 viajes por día con un volumen medio diario de unos 10,000 m³.

Con este rendimiento promedio, para completar los 397,650 m³ que exige el proyecto y sumando 6 días para cambios y colocación de tuberías, el tiempo de ejecución estimado es de 45 días.

IX. COSTOS

El presupuesto que aparece en la siguiente Tabla ha sido elaborado sobre la base de la experiencia en obras similares realizadas en Cuba y en el área del Caribe, por lo que los cálculos son estimados, reflejando las partidas que comúnmente se tienen en cuenta en las hojas de costos elaboradas por las empresas ejecutoras, lo que permite tener un orden de magnitud del costo de la obra de Alimentación Artificial de Arena. Para obtener cálculos más precisos, es necesario realizar una licitación de estas obras.

Tabla 24. Costos estimados del proyecto de alimentación artificial de arena de Bonasse.

PARTIDA	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	VALOR
GASTOS DIRECTOS				
Dragado, vertimiento y conformación de perfiles de diseño	USD/m ³	\$7.50	397,650.00	\$2,982,375.00
Movilización y desmovilización de draga				\$1,500,000.00
SUB-TOTAL GASTOS DIRECTOS				\$3,482,375.00
GASTOS GENERALES				
Utilidades			5%	\$224,118.75
Gastos administrativos			3%	\$134,471.25
Seguros y fianzas			2%	\$89,647.50
Liquidación trabajadores			1.5%	\$67,235.63
Pensión y jubilación			1.5%	\$67,235.63
Supervisión y control de autor			5%	\$224,118.75
Imprevistos			1%	\$44,823.75
SUB-TOTAL GASTOS GENERALES				\$851,651.25
TOTAL GENERAL				\$5,334,026.25

La reducción de los costes de ejecución para la alimentación artificial de arena dependerá en cierta medida de la ubicación de la draga en relación con la zona de trabajo, lo que determinará

los costes de movilización y desmovilización, así como el coste del m³ de arena. En la tabla anterior, a pesar de realizar el cálculo con un precio de 7.50 USD/m³, según el valor global del servicio, en términos de coste por m³ de arena, el proyecto tendría un coste equivalente a 13.41 USD/m³ de arena, lo que se corresponde con la experiencia en la región.

Como parte de los preparativos para afrontar la ejecución de este tipo de proyecto, se desarrolla un proceso de licitación donde participan compañías internacionales de dragado que ofertan una propuesta de ejecución llave en mano, la cual incluye el dragado, transporte marítimo, descarga, acarreo y perfilado de la playa, así como la contratación en el país de mano de obra, combustibles, lubricantes, agua y alimentación, etc.

En el proceso de licitación intervendrán variables tales como el precio mundial del combustible, la ubicación geográfica de la draga que determina el precio de la movilización y desmovilización, el volumen de arena a verter, la demanda de otros proyectos en el área, etc., elementos estos que contribuyen a formar el precio unitario del m³ de arena y determinan el precio global del proyecto.

Inversiones Gamma SA está en condiciones de proporcionar asistencia técnica en el proceso de compra y licitación, y de prestar servicios de consultoría para el control del autor de las obras.

Para tener una referencia sobre los costos de ejecución, en la tabla a continuación relacionamos algunos proyectos ejecutados por compañías internacionales de dragado, tanto en Cuba como en la región del Caribe:

Playa	Volumen (m ³)	País	Año	Movilización (% del total)	Precio global /m ³
Varadero	1,087,000	Cuba	1998		\$ 4.59
4 Playas	1,300,000	Rep. Dominicana	2006		\$ 13.84
Cancún	2,700,000	México	2006		\$ 6.40
Cancún-Cozumel-Del Carmen	7,000,000	México	2009		\$ 9.43
Varadero-Holguín	834,500	Cuba	2012	33.65%	€ 9.79
El Paso-Flamenco	630,000	Cuba	2016	29.20%	€ 11.42
Dunas	150,000	Cuba	2017		€ 9.51
Larga	267,500	Cuba	2018		€ 9.38

\$ - USD

€ - EUR

X. PROGRAMA DE MONITOREO PROPUESTO

El objetivo del Programa de Monitoreo es desarrollar mediciones y estudios de campo que aseguren la actualización de la magnitud, extensión y tendencia del proceso de erosión en el frente costero de Bonasse. Sin embargo, cabe destacar que ya existe un Programa Nacional de Monitoreo, liderado y ejecutado por especialistas del IMA, y que apenas ahora se ha incorporado a la playa de Bonasse pero con un solo perfil de playa, es necesario que se adicionen más perfiles, los cuales deberían coincidir con los establecidos en este proyecto, con lo cual se podría además dar un seguimiento a la evolución de los volúmenes vertidos una vez se ejecute el presente proyecto.

En el caso particular de Bonasse, las tareas de monitoreo constituyen una extensión en el tiempo de las desarrolladas en este proyecto, aprovechando la línea base establecida.

Con los resultados del monitoreo se obtendrá la información necesaria para evaluar la eficacia de las medidas de recuperación y protección aplicadas, permitiendo la introducción de medidas de corrección o la toma de nuevas decisiones en los planes de gestión a medio y largo plazo.

Tareas del Programa de Monitoreo.

Tarea 1. Establecimiento de la metodología y el procedimiento para el desarrollo de los trabajos de campo y de gabinete.

Objetivo: Establecer la base material y el personal cualificado en Trinidad y Tobago para asegurar la ejecución de las tareas del Programa.

Descripción:

El protocolo de trabajo para el desarrollo de la red se elabora tomando como referencia el utilizado en el proyecto "Evaluación del impacto del cambio climático en las costas arenosas del Caribe: alternativas para su control y resiliencia" que desarrolla en la actualidad la Asociación de Estados del Caribe (AEC). Incluye acciones de formación y capacitación del personal.

Resultados: Protocolo de trabajo y personal formado para el desarrollo de la red de monitoreo.

Tarea 2. Nivelación topográfica del perfil de la playa.

Objetivo: Evaluación espacio-temporal de los cambios en la línea de costa y la morfología del perfil de la playa.

Descripción:

La nivelación topográfica del perfil de playa se repetirá en los puntos de la línea base establecida con mediciones al menos dos veces al año y después de la ocurrencia de eventos erosivos extremos. También se introducirán técnicas de monitoreo con el uso de imágenes de satélite de alta resolución.

Resultados: Informes anuales con registros topográficos de los cambios en la línea de costa y perfiles de las playas con cálculos de la tasa de erosión expresada en m/año y el volumen de material retirado de la costa.

Tarea 3. Muestreo sedimentológico.

Objetivo: Evaluación espacio-temporal de las variaciones en la composición del sedimento.

Descripción:

El muestreo sedimentológico se repetirá para conocer las variaciones en la granulometría y la composición mineralógica del material en las mismas estaciones establecidas en la línea base, al menos dos veces al año, y tras la ocurrencia de eventos erosivos extremos.

Resultados: Informes anuales con registros de los cambios espacio-temporales de la granulometría y la composición mineralógica del sedimento.

Tarea 4. Estudio meteorológico.

Objetivo: Evaluar las variaciones espacio-temporales de las características del viento y la presión atmosférica para una mejor comprensión e interpretación de los procesos hidrodinámicos y morfodinámicos

Descripción:

Mantener un control detallado de las variaciones horarias de la dirección y la velocidad del viento, mediante los registros de la Estación Meteorológica Automática de Chatam, así como el registro de la presión barométrica.

Resultados: Informe anual con los registros horarios de velocidad y dirección del viento, así como de la presión barométrica, que son útiles para aplicar las modelaciones matemáticas en la interpretación de los procesos hidrodinámicos y morfodinámicos.

En el marco de un proyecto de monitoreo de la evolución de la línea de costa de Bonasse, es indispensable establecer un mareógrafo de alta precisión, que debería incorporarse al Programa del Caribe para el estudio de la elevación del nivel del mar como respuesta al Cambio Climático. La información proporcionada por este mareógrafo también sería especialmente útil para los estudios sísmicos regionales.

En este Programa de Monitoreo, se han identificado las tareas que garantizan directamente la información requerida para evaluar la efectividad de las medidas que se ejecutarán, así como para disponer de información adecuada en caso de que se requieran otras medidas de protección.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que un programa más amplio, como se ha mencionado anteriormente, requiere de personal cualificado, equipos de laboratorio, equipos informáticos, embarcaciones, infraestructura adecuada y apoyo logístico, lo que requiere un presupuesto importante.

Por ahora, se ha propuesto algo racional que utiliza la base meteorológica ya instalada del Servicio Meteorológico de Trinidad y Tobago y aprovecha la red de estaciones de monitoreo del perfil de la playa establecida con este proyecto.

XI. EVALUACIÓN DE POSIBLES IMPACTOS AMBIENTALES

La valoración preliminar de los posibles impactos ambientales que generaría la solución propuesta a mediano plazo, la Alimentación Artificial de Arena, tomó en consideración los impactos, positivos y negativos, de tipo ambiental, sociocultural y económico, esperados para las fases de preparación, ejecución, funcionamiento y eventual abandono de la obra.

Además de los posibles impactos positivos y negativos, se consideran atenuantes y se recomienda la adopción de algunas medidas, para minimizar los impactos negativos previstos.

En las Tablas 25 y 26 resumen las valoraciones realizadas.

Tabla 25. Posibles impactos ambientales, atenuantes y medidas de mitigación

Fase	Impactos Positivos	Impactos Negativos	Elementos Atenuantes	Medidas de Mitigación
Preparación y Ejecución	Recuperación de las condiciones naturales de la playa. Recuperación o potenciación de las dunas costeras. Eliminación de estructuras rígidas destruidas que afectan la calidad ambiental de la playa. Revegetación de la duna. Eliminación de micro-vertederos	Puesta en suspensión de sedimentos finos durante el dragado. Emisión de gases como resultado de la combustión Riesgo de micro-derrames de petróleo, aceite, etc., debido al uso de maquinarias. Contaminación acústica.	Los impactos negativos se limitarán a la zona de dragado, siendo puntuales en el espacio y el tiempo. La zona de préstamo, y sus inmediaciones, tienen baja presencia de organismos marinos. Es de esperar la recuperación a corto y mediano plazo de las poblaciones afectadas en la zona de préstamo.	Los impactos negativos pueden reducirse al mínimo exigiendo el cumplimiento de las normas técnicas establecidas para los equipos a emplear. Incluir el monitoreo de la recuperación del préstamo, como parte de la estrategia de manejo de la playa.
Funcionamiento	Adecuado funcionamiento dinámico de la playa. Elevación de la capacidad de resiliencia de la playa ante el impacto de marejadas.	-	-	Implementar un Programa de Manejo Integrado de la playa de Bonasse, con énfasis en el monitoreo y ejecución y readecuación de estrategias a mediano y largo plazo.
Abandono	-	Gradual avance del proceso erosivo. Eventual retorno a condiciones similares a las existentes antes de la ejecución del proyecto.	Los impactos negativos previsibles se limitan sólo al deterioro de lo alcanzado con la ejecución del proyecto como resultado de la ausencia de manejo a mediano y largo plazo.	El Programa de Manejo debe ser trascendente en el tiempo y podría servir de modelo para su extensión a todas las costas y playas del país.

Tabla 26. Posibles impactos socio-económicos, atenuantes y medidas de mitigación

Fase	Impactos Positivos	Impactos Negativos	Elementos Atenuantes	Medidas de Mitigación
Preparación y Ejecución	Generación de empleos.	Mínimo riesgo para la salud de los trabajadores en el sitio, por ruido o emisión de gases. Riesgos para la seguridad de los trabajadores por el uso de maquinaria pesada.	-	Exigencia del cumplimiento de medidas y normas de protección adecuadas.
Operación	Prestaciones de la playa como obra de defensa costera, protegiendo construcciones y propiedades. Prestaciones de la playa como recurso natural para la recreación y el turismo Incremento del valor de propiedades en la zona de la playa Creación de ambiente favorables para el desarrollo de pequeños negocios de servicios turísticos, gastronómicos, etc.	Observación: El mejoramiento de las condiciones de la playa podría conducir a un uso intensivo y generar afectaciones a las dunas y a la vegetación, así como posibles focos de contaminación por desechos sólidos.	-	Implementar un Programa de Manejo Integrado de la playa de Bonasse, con énfasis también en la protección de las dunas y su vegetación, creación de accesos, divulgación, manejo de desechos, y distribución de los servicios. Evaluar opciones de recaudación de impuestos por la explotación de la playa, para hacer sostenible el programa de manejo.
Abandono	-	Gradual avance del proceso erosivo. Eventual pérdida de los valores añadidos a la playa. Incremento de la vulnerabilidad de la zona costera y las propiedades emplazadas en ella.	Los impactos negativos previsibles se limitan sólo al deterioro de lo alcanzado con la ejecución del proyecto como resultado de la ausencia de manejo a mediano y largo plazo.	El Programa de Manejo debe ser trascendente en el tiempo y podría servir de modelo para su extensión a todas las costas y playas del país.

La identificación de los impactos ambientales positivos y negativos esperados del proyecto permite recomendar su ejecución. No obstante, se consideró útil profundizar al respecto, y avanzar en una Evaluación Preliminar del Impacto Ambiental.

Para la evaluación y jerarquización de los impactos ambientales asociados al proceso de extracción, transporte y vertido del material resultante del dragado en la zona de la playa, se utilizó el método RIAM (Rapid Impact Assessment Matrix; DHI, Water & Environment, (2000), el cual prevé tres etapas técnicas secuenciales.

El método RIAM se compone de los siguientes pasos:

- Identificación de impactos.
- Clasificación por componentes Físico-Química, Biológico-Ecológica, Social-Cultural, o Económico-Operacional.
- Valoración con base en base criterios de Alcance, Magnitud, Permanencia, Reversibilidad y Acumulación.
- Ponderación del Impacto y Calificación por rangos.
- Construcción de Matriz RIAM y Evaluación de Impactos.

La valoración de los criterios se realiza de acuerdo a la escala que se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27. Criterios de evaluación del método RIAM.

Grupo	Criterio	Valor	Escala cualitativa
A	Importancia de la condición (A1)	4 = 3 = 2 = 1 = 0 =	De importancia Nacional / Interés Internacional De importancia Regional / Interés Nacional Importante para área exterior inmediata Importante sólo para la condición local Sin importancia
	Magnitud del cambio o efecto (A2)	3 = 2 = 1 = 0 = -1 = -2 = -3 =	Mayor beneficio positivo Mejora significativa Mejora Sin Cambios Cambio negativo Desmejora o Cambio Negativo Significativo Desmejora o Cambio Negativo Mayor
B	Permanencia (B1)	1 = 2 =	Sin Cambios / No aplica Temporal

Grupo	Criterio	Valor	Escala cualitativa
	Reversibilidad (B2)	3 =	Permanente
		1 =	Sin Cambios / No aplica
		2 =	Reversible
	Acumulación / Sinergia (B3)	3 =	Irreversible
		1 =	Sin Cambios / No aplica
		2 =	No acumulativo / Simple
		3 =	Acumulativo / Sinérgico

La ponderación de cada variable se realiza calculando el Puntaje (ES), como:

$$ES = (A_1 \times A_2) \times (B_1 + B_2 + B_3) \quad (16)$$

En tanto, la calificación por rangos se realiza en función de la escala que se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28: Rangos para jerarquizar los impactos evaluados.

Puntaje (ES)	Clase	Interpretación
72 a 108	+E	Cambio / Impactos positivos mayores
36 a 71	+D	Cambio / Impactos positivos significativos
19 a 35	+C	Cambio / Impactos positivos moderados
10 a 18	+B	Cambio / Impacto positivo
1 a 9	+A	Cambio / Impacto ligeramente positivo
0	N	Sin cambio o importancia
-1 a -9	-A	Cambio / Impacto ligeramente negativo
-10 a -18	-B	Cambio / Impacto negativo
-19 a -35	-C	Cambio / Impacto negativo moderado
-36 a -71	-D	Cambio / Impacto negativo significativo
-72 a -108	-E	Cambio / Impactos negativos mayores

Adicionalmente, es posible analizar los impactos ambientales por etapas, comenzando por los derivados de la incidencia de factores y procesos naturales en la situación actual, en caso de tomar la decisión de No Actuar, permitiendo la continuidad del proceso erosivo en la playa; y concluyendo por los impactos derivados del abandono o la no implementación de un programa de manejo que dé continuidad a las acciones necesarias para controlar los efectos de la erosión a mediano y largo plazo.

De este modo, se realizó el análisis de impactos ambientales para cuatro etapas:

- Situación actual (decisión de No Actuar).
- Ejecución (de acciones definidas para el corto y mediano plazo).
- Operación (explotación de la playa).
- Eventual abandono (abandono o no implementación de un programa de manejo de la playa, a mediano y largo plazo).

A partir del análisis resumido en las Tablas 25 y 26, se ajustó la lista de impactos a los criterios del método RIAM, para las distintas etapas y componentes (Tabla 29).

Las Tablas 30 a la 33 enuncian y ponderan los impactos evaluados, destacando la etapa a la que corresponden.

De este análisis se obtuvieron las matrices correspondientes a cada una de las cuatro etapas analizadas (Tablas 34 a la 37), así como sus salidas gráficas (Figuras 42 a la 45).

Durante la aplicación de la metodología RIAM, se pudieron identificar un total de 37 impactos ambientales. De ellos:

- Por componentes: Físico-Químico 12; Biológico-Ecológico 6; Socio-Cultural 10; y Económico-Operacional 9.
- Impactos negativos: 20. Sin embargo, 11 de ellos son propios de la condición actual, estando presentes mientras no se actúe; o tras la ejecución de las acciones propuestas a corto plazo, pudiendo expresarse nuevamente en el futuro 9 de ellos, ante la no implementación de un programa de manejo o su eventual abandono.
- Impactos positivos: 16. Es llamativa la concentración de impactos positivos en la etapa de Operación (Uso o explotación de la playa). Se trata de impactos que se logran mediante la Ejecución de las acciones propuestas a corto y mediano plazo y perduran a largo plazo requiriendo de un Programa de Manejo de garantice su preservación.

Tabla 29: Lista de impactos ambientales identificados para las distintas etapas y componentes. Se resaltan los impactos derivados de no actuar; así como de no implementar o abandonar el programa de manejo a largo plazo.

No.	Naturaleza del Impacto	Etapas	Acción	Actividad	Impacto Ambiental	Carácter	Valoración	Permanencia, Reversibilidad y Acumulación	Observación
1	FÍSICO - QUÍMICO	ACTUAL - ABANDONO	No Actuar - No implementar Manejo	Proceso Erosivo	Retroceso gradual de la línea de costa	Negativo	Moderado	Permanente, Reversible y Acumulativo	Sin Actuar, Permanente y Acumulativo. Reversible actuando.
2					Pérdida de capacidad de resiliencia de la playa	Negativo	Moderado		
3		EJECUCIÓN	Alimentación Artificial de Arena (AAA)	Dragado	Alteración del lecho marino en zona de préstamo	Neutro	Neutro	Temporal y Reversible	Sin efectos prácticos. Reversible naturalmente.
4					Aumento de la turbidez del agua en la zona de préstamo	Negativo	Bajo		
5				Todas las Tareas	Riesgo de micro-derrames de hidrocarburos	Negativo	Muy Bajo	Temporal, Reversible y No Acumulativo	Evitable con buenas prácticas tecnológicas.
6				Vertido	Aumento de la turbidez en el agua de la playa	Negativo	Muy bajo		Muy poco trascendente en el tiempo. Zona sin vida bentónica.
7				Todas las Tareas	Contaminación por emisión de gases de la combustión	Negativo	Muy Bajo		Efecto muy limitado.
8				Dragado	Contaminación por ruido	Negativo	Muy Bajo	Temporal y No Acumulativo	
9		EJECUCIÓN - OPERACIÓN	AAA y Acciones Complementarias (AC)	Vertido - Perfilado - Otras tareas	Recuperación de condiciones naturales de la playa	Positivo	Moderado	Temporal y Reversible	Reversible sin Programa de Manejo adecuado.
10					Elevación de capacidad de resiliencia de la playa	Positivo	Alto	Temporal, Reversible y No Acumulativo	
11		EJECUCIÓN - OPERACIÓN - ABANDONO	AC	Demolición	Eliminación de canales de drenajes de aguas negras	Positivo	Alto	Permanente e Irreversible	Irreversible específicamente en cuanto a las estructuras.
12					Eliminación de agentes erosivos antrópicos (estructuras)	Positivo	Alto	Permanente e Irreversible	Irreversible específicamente en cuanto a las estructuras.
13	BIOLÓGICO - ECOLÓGICO	ACTUAL - ABANDONO	No Actuar - No implementar Manejo	Colonización de Plantas Invasoras	Daños al ecosistema por colonización de plantas invasoras	Negativo	Bajo	Permanente, Reversible y Acumulativo	Sin Actuar, Permanente y Acumulativo. Reversible actuando.
14				Proceso Erosivo	Afectaciones a la vegetación por efecto de la erosión	Negativo	Bajo		

No.	Naturaleza del Impacto	Etapas	Acción	Actividad	Impacto Ambiental	Carácter	Valoración	Permanencia, Reversibilidad y Acumulación	Observación
15		EJECUCIÓN	AAA	Dragado - Vertido	Daños a la biodiversidad en la zona de préstamo	Negativo	Muy Bajo	Temporal, Reversible y No Acumulativo	Daño limitado al préstamo. Ecosistema resiliente.
16		EJECUCIÓN - OPERACIÓN	AC	Control de Plantas Invasoras	Eliminación de plantas invasoras sobre la duna	Positivo	Moderado	Temporal y Reversible	Reversible sin manejo a mediano y largo plazo.
17			AC	Reforestación de la Duna	Rehabilitación de la vegetación costera	Positivo	Moderado		
18			AAA y AC	Vertido - Perfilado - Otras tareas	Playa rehabilitada como barrera protectora del ecosistema	Positivo	Alto		
19	SOCIOLOGICO - CULTURAL	ACTUAL - ABANDONO	No Actuar - No implementar Manejo	Proceso Erosivo	Pérdida de valor de uso turístico y recreativo de la playa	Negativo	Muy Alto	Permanente, Reversible y Acumulativo	Sin Actuar, Permante y Acumulativo. Reversible actuando.
20					Daños a construcciones en la zona costera	Negativo	Bajo		
21					Pérdida de valores estéticos naturales de la playa	Negativo	Moderado		
22		EJECUCIÓN	AAA y Acciones Complementarias	Todas las Tareas	Generación de empleo durante la ejecución	Positivo	Muy Bajo	Temporal	Durante la ejecución
23					Riesgo para la salud de trabajadores por contaminantes	Negativo	Muy Bajo		
24					Riesgo de seguridad de trabajadores por uso de maquinaria	Negativo	Muy Bajo		
25		EJECUCIÓN - OPERACIÓN		Vertido - Perfilado - Otras tareas	Recuperación de valor de uso turístico y recreativo de la playa	Positivo	Alto	Temporal, Reversible y No Acumulativo	Reversible sin Programa de Manejo adecuado.
26					Playa como defensa costera para protección de construcciones	Positivo	Alto		
27					Mejoramiento estético-ambiental de la playa	Positivo	Alto		
28		OPERACIÓN	Uso y Manejo	Programa de Manejo	Generación de empleo durante el Manejo	Positivo	Muy Bajo	Temporal	Programa de Manejo
29	ECONÓMICO - OPERACIONAL	ACTUAL - ABANDONO	No Actuar - No implementar Manejo	Proceso Erosivo	Afectación al potencial turístico de la playa	Negativo	Muy Alto	Permanente, Reversible y Acumulativo	Sin Actuar, Permante y Acumulativo. Reversible actuando.
30					Pérdida de valores de propiedades en la zona de la playa	Negativo	Bajo		
31					Ambiente poco favorable para servicios afines al turismo y pesca	Negativo	Bajo		

No.	Naturaleza del Impacto	Etapas	Acción	Actividad	Impacto Ambiental	Carácter	Valoración	Permanencia, Reversibilidad y Acumulación	Observación
32					Incremento del costo de mantenimiento de infraestructura	Negativo	Moderado		
33		EJECUCIÓN	AAA y Acciones Complementarias	Inversión	Elevado costo de la inversión	Negativo	Alto	Permanente y Reversible	Elevada inversión inicial. Manejo sostenible por ingresos.
34		EJECUCIÓN - OPERACIÓN		Vertido - Perfilado - Otras tareas	Incremento en potencial turístico de la playa	Positivo	Alto	Temporal, Reversible y No Acumulativo	Reversible sin Programa de Manejo adecuado.
35					Revalorización de propiedades en la zona de la playa	Positivo	Moderado		
36					Creación de ambiente favorable para servicios afines al turismo	Positivo	Moderado		
37					Disminución de costos de mantenimiento de infraestructura	Positivo	Moderado		

A continuación se realiza un análisis por Etapas.

Situación Actual (Opción de No Actuar)

La opción de no actuar conlleva la continuidad y avance de la erosión en la playa, de modo que sólo puede esperarse la manifestación y agudización de impactos negativos en su mayoría moderados (Clase C), en correspondencia con la intensidad del proceso erosivo.

De Clase E se clasifican la pérdida de valor de uso turístico y recreativo en su componente social, y la afectación al potencial turístico de la playa y su uso en la actividad pesquera, en lo económico, ambos con impacto a nivel nacional, dado que se trata de una de las playas más usadas por la población, sobre todo en la región meridional de la isla de Trinidad.

Este análisis expresa claramente la necesidad de actuar e implementar la estrategia propuesta y acciones definidas a corto, mediano y largo plazo.

Tabla 30: Matriz de Impactos por Clase. Situación Actual (Opción de No Actuar).

Situación actual / No actuar											
Clase	-E	-D	-C	-B	-A	N	A	B	C	D	E
FQ	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
BE	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
SC	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
EO	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
Total	2	0	4	5	1	0	0	0	0	0	0

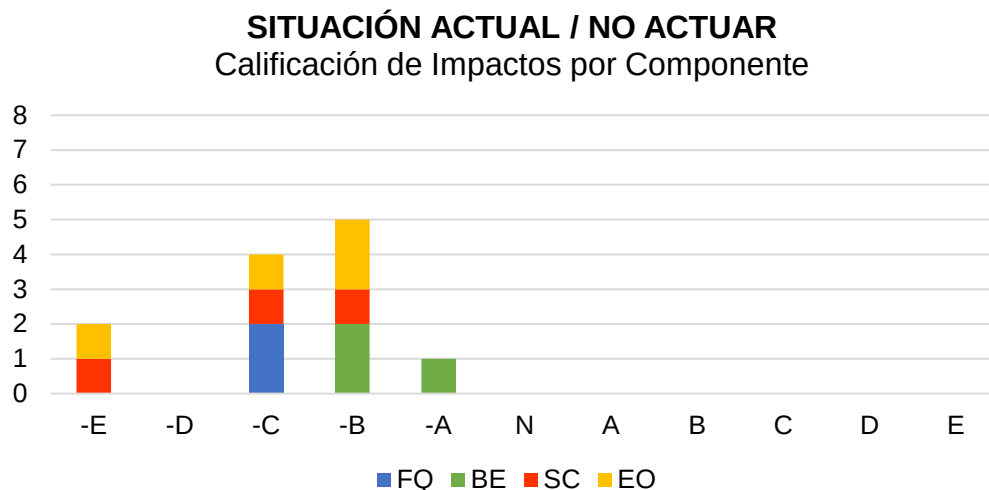


Figura 42: Salida gráfica de Matriz RIAM. Impactos por Clase. Situación Actual (Opción de No Actuar).

Etapas de Ejecución

Se trata de la Etapa con impactos previsible más repartidos. Sin embargo, los beneficios derivados de un mejoramiento de las condiciones morfológicas, estéticas y funcionales de la playa, aportan 13 impactos positivos de clase C (Moderado) y D (Alto), expresión de la búsqueda reversión del estado actual de la playa.

En contraposición los impactos negativos previsible de este tipo de acciones, clasifican en general como Bajos o Muy Bajos (Clases A y B), varios se deben a pequeños impactos evitables con buenas prácticas tecnológicas; salvo por el elevado costo de la inversión inicial, si bien la ejecución de obras de protección costera de otras tipologías, puede tener un costo mayor.

Tabla 31: Matriz de Impactos por Clase. Etapa de Ejecución.

Etapa de ejecución											
Clase	-E	-D	-C	-B	-A	N	A	B	C	D	E
FQ	0	0	0	1	4	1	0	0	1	3	0
BE	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
SC	0	0	0	0	2	0	1	0	0	3	0
EO	0	1	0	0	0	0	0	0	3	1	0
Total	0	1	0	1	6	1	1	1	5	8	0

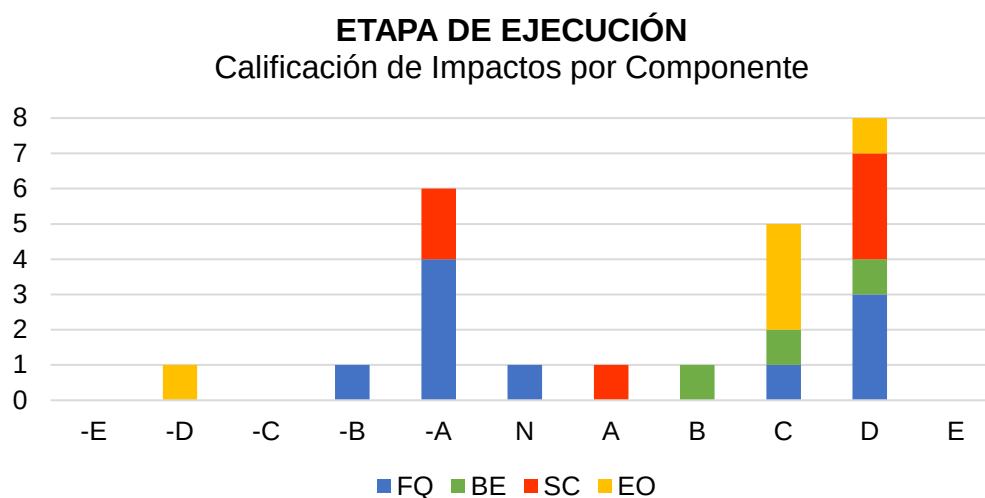


Figura 43: Salida gráfica de Matriz RIAM. Impactos por Clase. Etapa de Ejecución.

Etapas de Operación (Uso o Explotación)

Los objetivos que se lograrán a partir de la ejecución de la alimentación artificial de arena y otras acciones complementarias propuestas permitirán que, una vez concluida, los impactos previsibles que perdurarán en la playa, serán positivos en su totalidad.

No obstante, debe notarse que la mayoría son considerados reversibles, dependiendo su sostenibilidad en el tiempo de la implementación de un programa de manejo de la playa a mediano y largo plazo.

Tabla 32: Matriz de Impactos por Clase. Situación Operación (Uso de la playa).

Etapa de operación (Uso)											
Clase	-E	-D	-C	-B	-A	N	A	B	C	D	E
FQ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0
BE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
SC	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0
EO	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0
Total	0	0	0	0	0	0	1	0	4	8	0

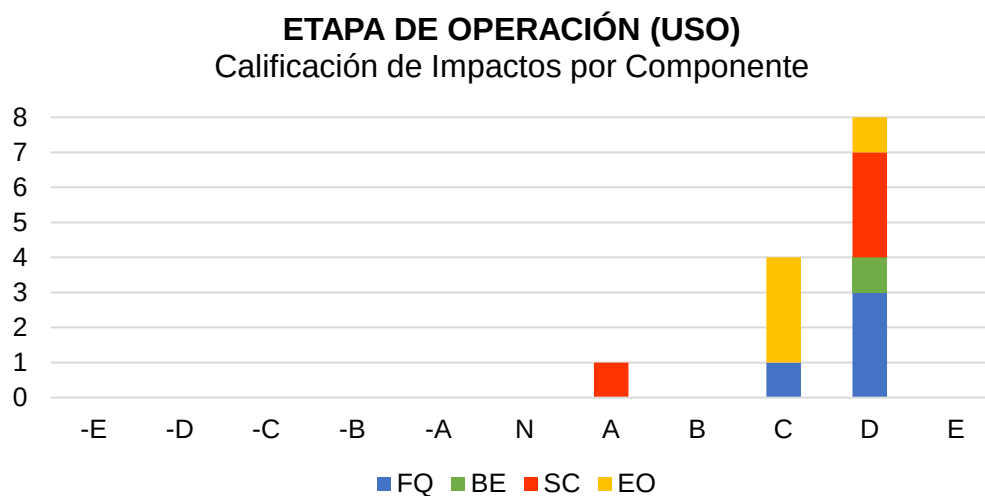


Figura 44: Salida gráfica de Matriz RIAM. Impactos por Clase. Etapa de Preparación (Uso de la playa).

Eventual Abandono (No implementación o Abandono de Programa de Manejo)

Una vez ejecutadas las acciones recomendadas, en caso de no darse continuidad a la estrategia de manejo de la playa a mediano y largo plazo, podría llegar a revertirse una vez más la situación de la playa, regresando a una condición muy similar a la actual, pudiendo luego continuar su deterioro.

Apenas permanecería el beneficio de las demoliciones de construcciones situadas en la zona costera, que se hayan ejecutado, tratándose de edificaciones que han devenido agentes erosivos para la playa. A este último impacto, para los efectos del proyecto, se le ha considerado permanente.

Tabla 33: Matriz de Impactos por Clase. Abandono (No implementación o abandono del Plan de Manejo de la Playa a mediano y largo plazo)

Abandono (sin plan de monitoreo)											
Clase	-E	-D	-C	-B	-A	N	A	B	C	D	E
FQ	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
BE	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
SC	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
EO	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
Total	2	0	4	4	1	0	0	0	0	0	0

ABANDONO (SIN PLAN DE MANEJO) Calificación de Impactos por Componente

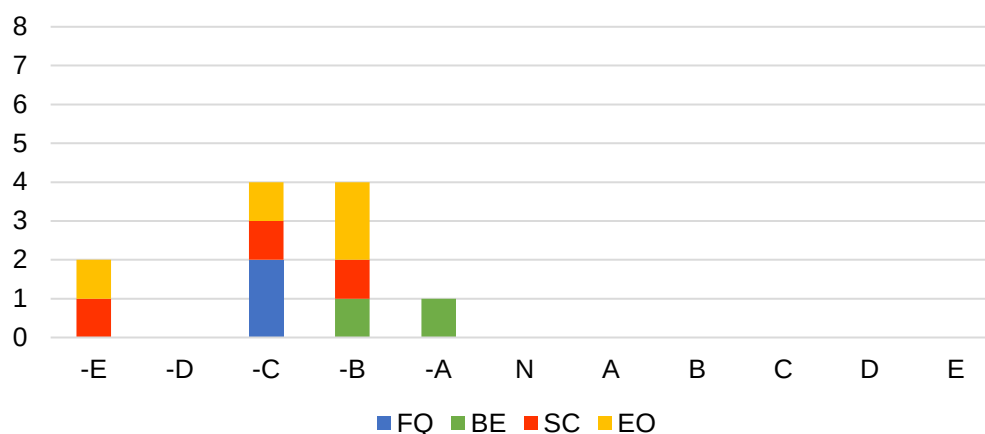


Figura 45: Salida gráfica de Matriz RIAM. Impactos por Clase. Eventual Abandono (No implementación o abandono del Plan de Manejo de la Playa a mediano y largo plazo).

Conclusiones a partir de la aplicación del Método RIAM

De la evaluación preliminar de impactos ambientales de las acciones propuestas para la rehabilitación de la playa de Bonasse se puede concluir que:

- Los beneficios del proyecto, en todas las componentes justifican avanzar en su ejecución y la implementación de una estrategia de manejo de la playa a corto, mediano y largo plazo.

- No actuar implicará mayores perjuicios para la playa debido a la continuidad del proceso erosivo y sus efectos.
- Tras la ejecución de las acciones previstas a corto y mediano plazo, no implementar un Programa de Manejo, transcurrido el período de efectividad previsto, devolverá la playa a una condición similar a la actual y continuará su deterioro, elevando cada vez más los perjuicios en todas las componentes, y en consecuencia, los costos de una eventual nueva intervención para su rehabilitación.

REFERENCES

- Aldeco, J., Montañó-Ley, Y. Aplicación de un método de integración numérica en el estudio del oleaje máximo generado por el huracán Oliva en las proximidades de Mazatlán, Sinaloa, México. Contribución 616 del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 1986.
- Ahrendt, K., 2001: Expected effects of climate change on Sylt Island; results from a multidisciplinary German project. *Climate Res.*, 18, 141-146.
- Army Coastal Engineering Research Center. Shore Protection Manual. Vol. 1 and 3. Corps of Engineers. Ed. USACERC. Department of the Navy. 1984.
- Asmath, H., Gooding, N. Coastline change detection of Trinidad and Tobago (1994 to 2014). 2020.
- Automated Coastal Engineering System Manual. (1992). Coastal Engineering Research Center. Department of the Army. Waterways Experiment Station, Corps of Engineers. Vicksburg, Mississippi.
- Blott, S.J. and Pye, K. (2001) Gradistat: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1237-1248.
- Birkemeier, W. A. 1985. Field data on seaward limit of profile change. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* 111(3): 598-602.
- Bruun, P. (1954). Coast Erosion and the Development of Beach Profiles. Beach Erosion Board Technical Memorandum No. 44, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Bruun, P. "Sea level rise as a cause of shore erosion". *Journal of the Waterway and Harbors Division* 1, 116-130. 1962.
- Chen, S., Steel, R.J., Dixon, J.F., Osman, A. Facies and architecture of a tide-dominated segment of the Late Pliocene Orinoco Delta (Morne L'Enfer Formation) SW Trinidad. *Marine and Petroleum Geology Journal* 57- Pag. 208-232. 2014.
- Coastal Engineering Manual. Part III. U. S. Army Corps of Engineers. Washington, DC. 2002.

- Darsan, J., Ramnath, S., Alexis, C. Coastal conservation project status of beaches and bays in Trinidad (2004 – 2008). 2012.
- Dean, R. G. "Equilibrium beach profiles: U. S. Atlantic and Gulf Coasts". Department of Civil Engineering. Ocean Engineering Report No. 12. University of Delaware. Newark. 1977.
- Dean, R. G. "Coastal sediment processes: Toward engineering solution". Proceedings, Specialty Conference on Coastal Sediments '87. American Society of Civil Engineers. 1-24. 1987.
- Dean, R. G. "Equilibrium beach profiles: characteristics and applications". Journal of Coastal Research 7 (1). 53-84. 1991.
- Hallermeier, R.J. (1981). A Profile Zonation for Seasonal Sand Beaches From Wave Climate. Coastal Engineering, 4, 253-277.
- Hassanali, K. Examining the Ocean and Coastal Governance. Framework in Trinidad and Tobago. Transitioning Towards Integrated Coastal Zone Management. 2013.
- IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jehu, A., Darsan, J., Asmath, H. Lessons learnt from the Grande Riviere River shifting event of 2012. 2013.
- Juanes J. L. La erosión en las playas de Cuba. Alternativas para su control. Doctoral Tesis, 1996.
- Leung Chee, C., Singh, A., Persad, R., Darsan, J. The Influence of Tidal Currents on Coastal Erosion in a Tropical Micro-Tidal Environment – the Case of Columbus Bay, Trinidad. Global Journal of Science Frontier Research: H Environment & Earth Science. 2014.
- Nicholls, R.J., P.P. Wong, V.R. Burkett, J.O. Codignotto, J.E. Hay, R.F. McLean, S. Ragoonaden and C.D. Woodroffe, 2007: Coastal systems and low-lying areas. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry,

- O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 315-356.
- Persad, R., Leung Chee, C., Jehu, A., Alexis, C. Final report. Horizontal and vertical control for IMA's benchmarks in Trinidad and Tobago, April 2014. 2017.
 - Report Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
 - Salcedo, R. y Barrios, W. Aspectos Fisiográficos del Golfo de Paria, estado Sucre. (Conocimiento del entorno ante Potenciales Efectos Ambientales de un Derrame Petrolero). 2020.
 - Simpson, R. H. The hurricane disaster potential scale. Weatherwise, Vol. 27, No. 169, pp. 169-186. (1974).
 - Soulsby, R. Dynamics of Marine Sands: A Manual for Practical Applications. Thomas Telford, London. 1997.
 - Subrath-Ali, C., Chadwick, A.J., Dialsingh, I., Sahai, A. Sea level variation from a remote river in the Gulf of Paria, Trinidad. Maritime Engineering Journal. 2013.
 - Third National Communication to the Republic of Trinidad and Tobago of the United Nations Framework Convention on Climate Change. 2021.
 - Van Rijn, L.C. Cross-shore modelling of graded sediments. Delft Hydraulics, Report Z2181, Delft. The Netherland. 1997.
 - Weber, J.C., Geirsson, H., Latchman, J.L., Shaw, K., La Femina, P., Wdowinski, S., Higgins, M., Churches, C., Norabuena, E. Tectonic inversion in the Caribbean-South American plate boundary: GPS geodesy, seismology, and tectonics of the Mw 6.7 22 April 1997 Tobago earthquake. 2015.
 - Wong, P. P. Coastal Protection Measures – Case of Small Island Developing States to Address Sea-level Rise. Asian Journal of Environment & Ecology. 6(3): 1-14, 2018; Article no. AJEE.41019. ISSN: 2456-690X.

Otros documentos consultados proporcionados por el IMA:

- Trinidad and Tobago Response to request for technical and logistics info: Beach rehabilitation at Bonasse Bay, Cedros, Trinidad submitted by the Institute of Marine Affairs (IMA), Trinidad and Tobago. September 29, 2020.
- Report - Constanza Ricaurte
 - o Anexo 2. Executive Beach Rehabilitation Project Bonasse
 - o Anexo 3. Letter commitment Executive Beach Rehabilitation Project, Bonasse, Cedros bay Trinidad
 - o Anexo 4a. Cedros bay - ACS -Beach profiles
 - o Anexo 4b. Cedros bay - beach width and beach volumes - ACS – consultant
 - o Anexo 4c. Coastline change detection - Cedros bay
 - o Anexo 4d. Columbus Bay Tech Report March 2014
 - o Anexo 4e. Memoria fotográfica de la visita de campo a Trinidad y Tobago

PLANOS Y ANEXOS

Lista de anexos

Anexo 1. Perfiles de playa.

Anexo 2. Resultados de los análisis granulométricos.

Anexo 3. Resultados de las modelaciones matemáticas.

Lista de planos

Plano 1. Batimetría de la playa.

Plano 2. Batimetría de la zona de préstamo.

Plano 3. Distribución granulométrica de las arenas de la zona de préstamo.

Plano 4. Perfiles de diseño para el relleno de arena.

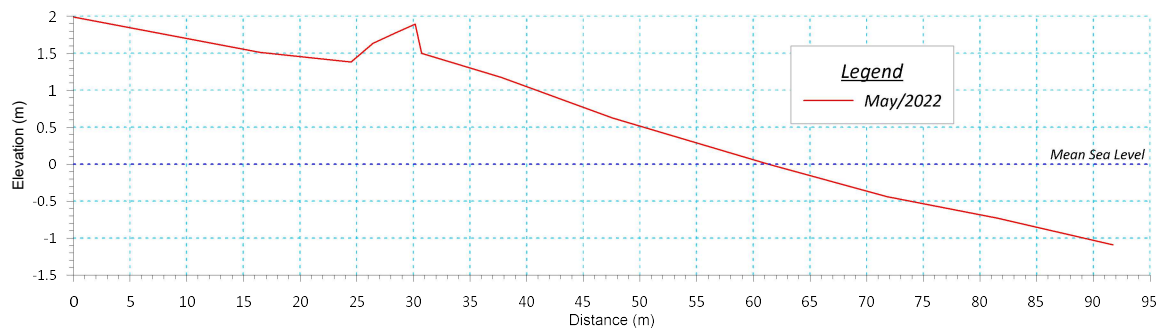
Plano 5. Ejecución de las obras.

Plano 6. Resumen de condiciones existentes en la playa y medidas a implementar para su rehabilitación.

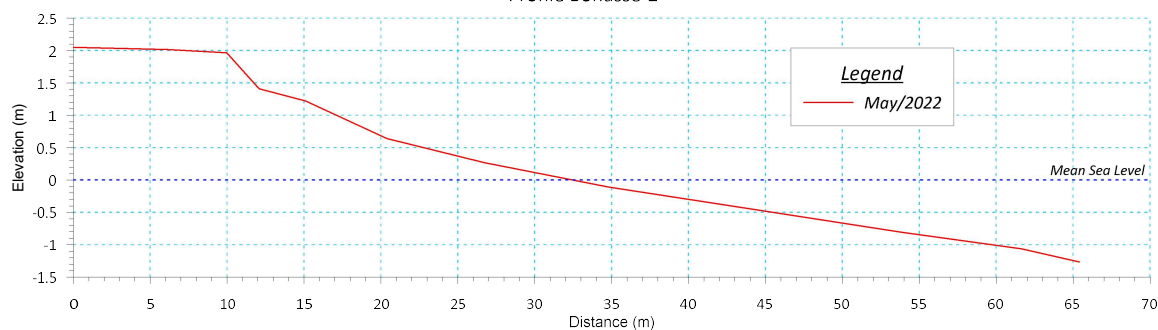
ANEXO 1

Perfiles de playa

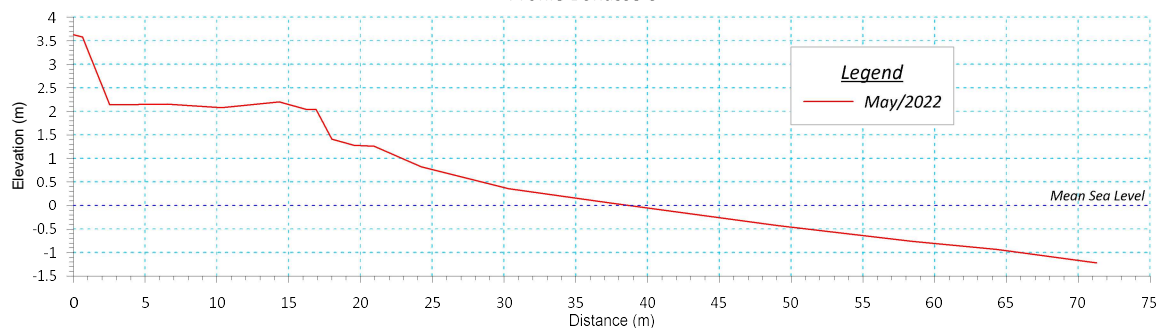
Profile Bonasse-1



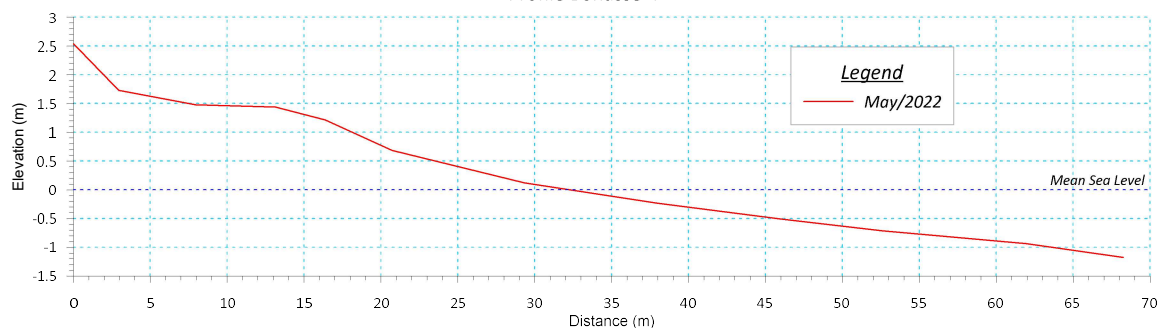
Profile Bonasse-2



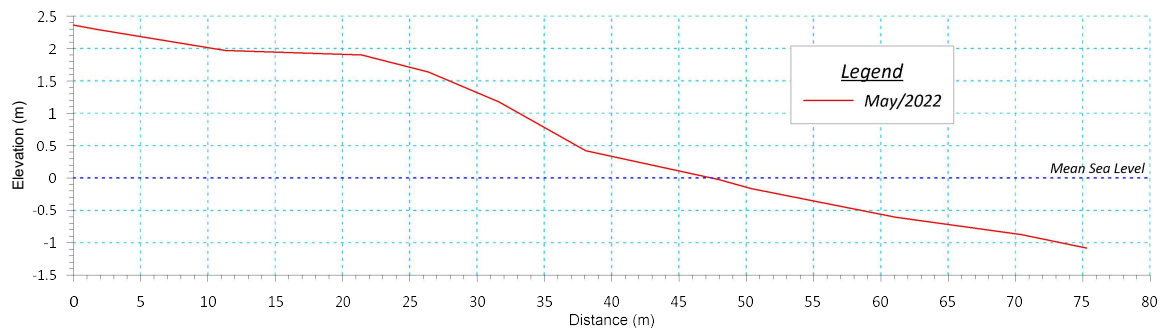
Profile Bonasse-3



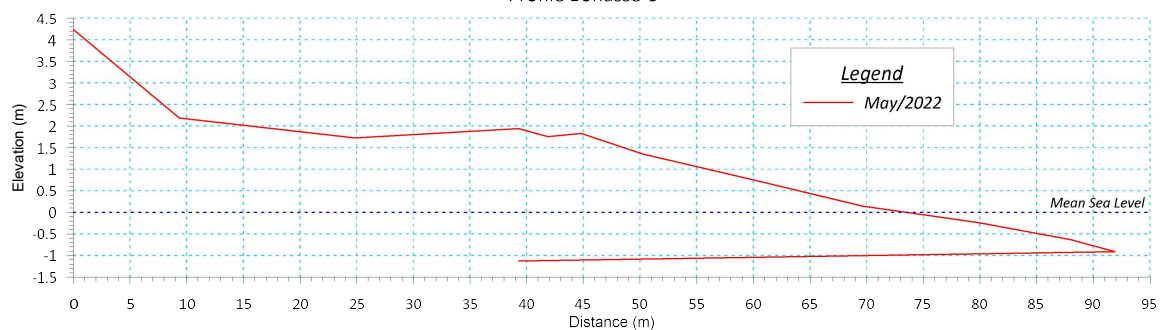
Profile Bonasse-4



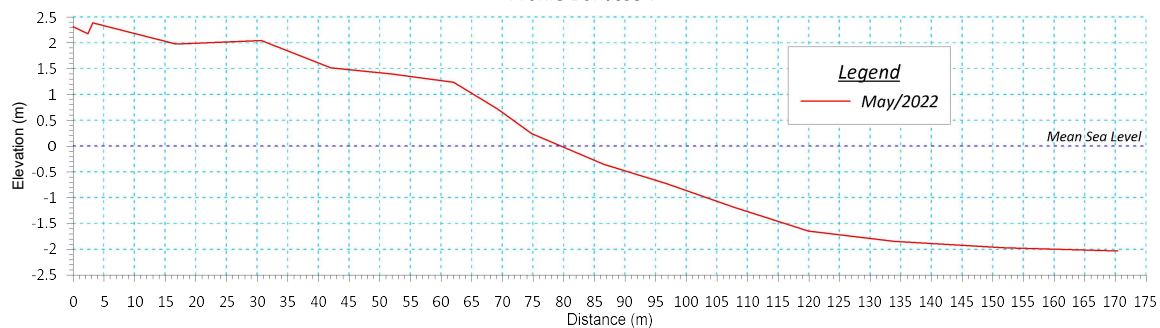
Profile Bonasse-5



Profile Bonasse-6



Profile Bonasse-7



ANEXO 2

Resultados de los análisis granulométricos

SIEVING ERROR: -0.1%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **Perfil-1**

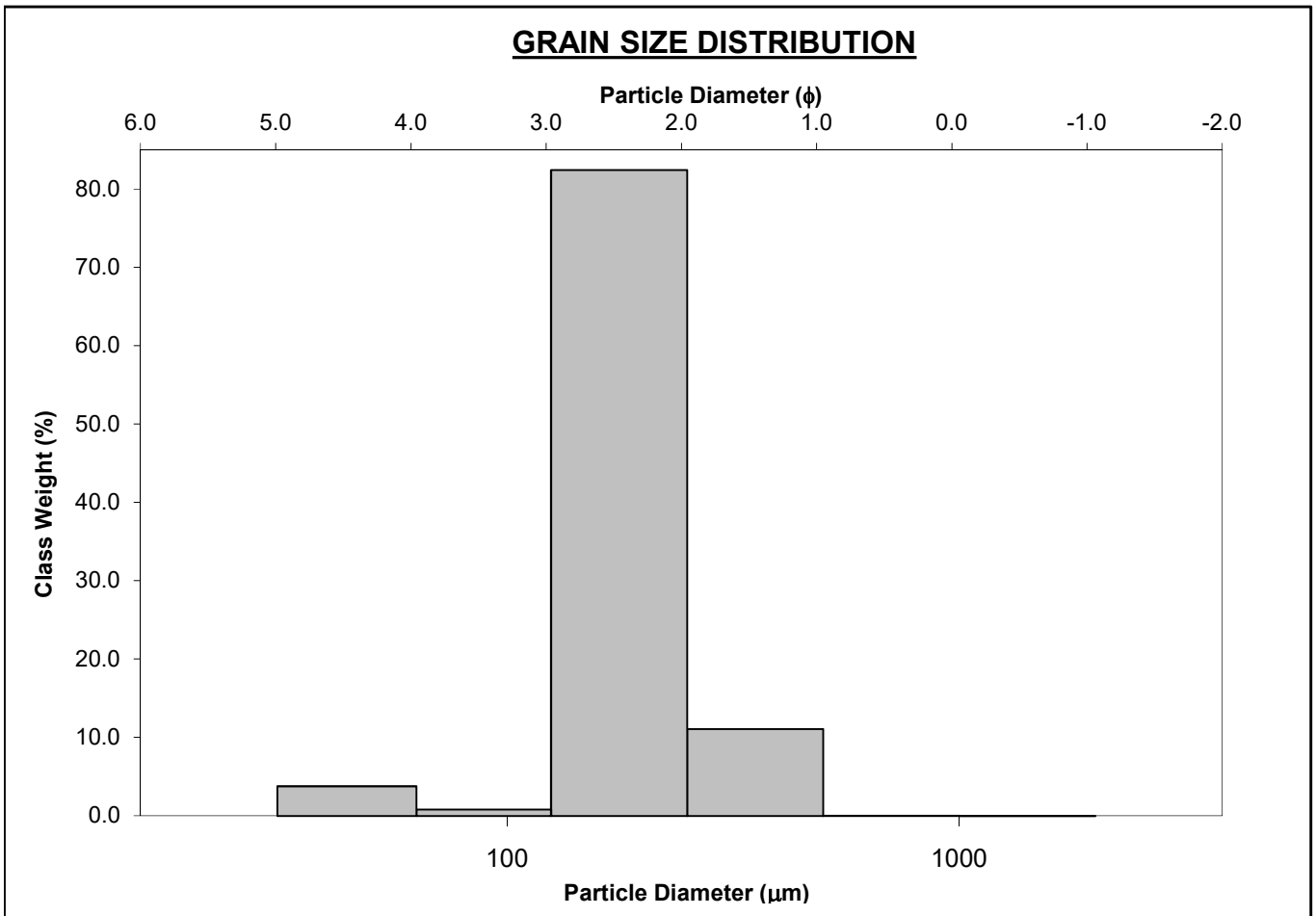
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Well Sorted

TEXTURAL GROUP: Sand

SEDIMENT NAME: Well Sorted Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.0%	COARSE SAND: 0.0%		
MODE 2:			SAND: 96.1%	MEDIUM SAND: 11.3%		
MODE 3:			MUD: 3.9%	FINE SAND: 83.9%		
D_{10} :	130.5	1.880		V FINE SAND: 0.9%		
MEDIAN or D_{50} :	181.6	2.461	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 3.9%		
D_{90} :	271.7	2.938	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D_{90} / D_{10}) :	2.082	1.563	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
$(D_{90} - D_{10})$:	141.2	1.058	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D_{75} / D_{25}) :	1.512	1.276	V FINE GRAVEL: 0.0%	V FINE SILT: 0.0%		
$(D_{75} - D_{25})$:	75.61	0.596	V COARSE SAND: 0.0%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	202.9	180.1	2.473	181.6	2.461	Fine Sand
SORTING (σ):	71.52	1.445	0.531	1.356	0.439	Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	2.716	-1.502	1.502	0.156	-0.156	Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	31.88	10.07	10.07	1.072	1.072	Mesokurtic



SIEVING ERROR: 0.1%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **Perfil-2**

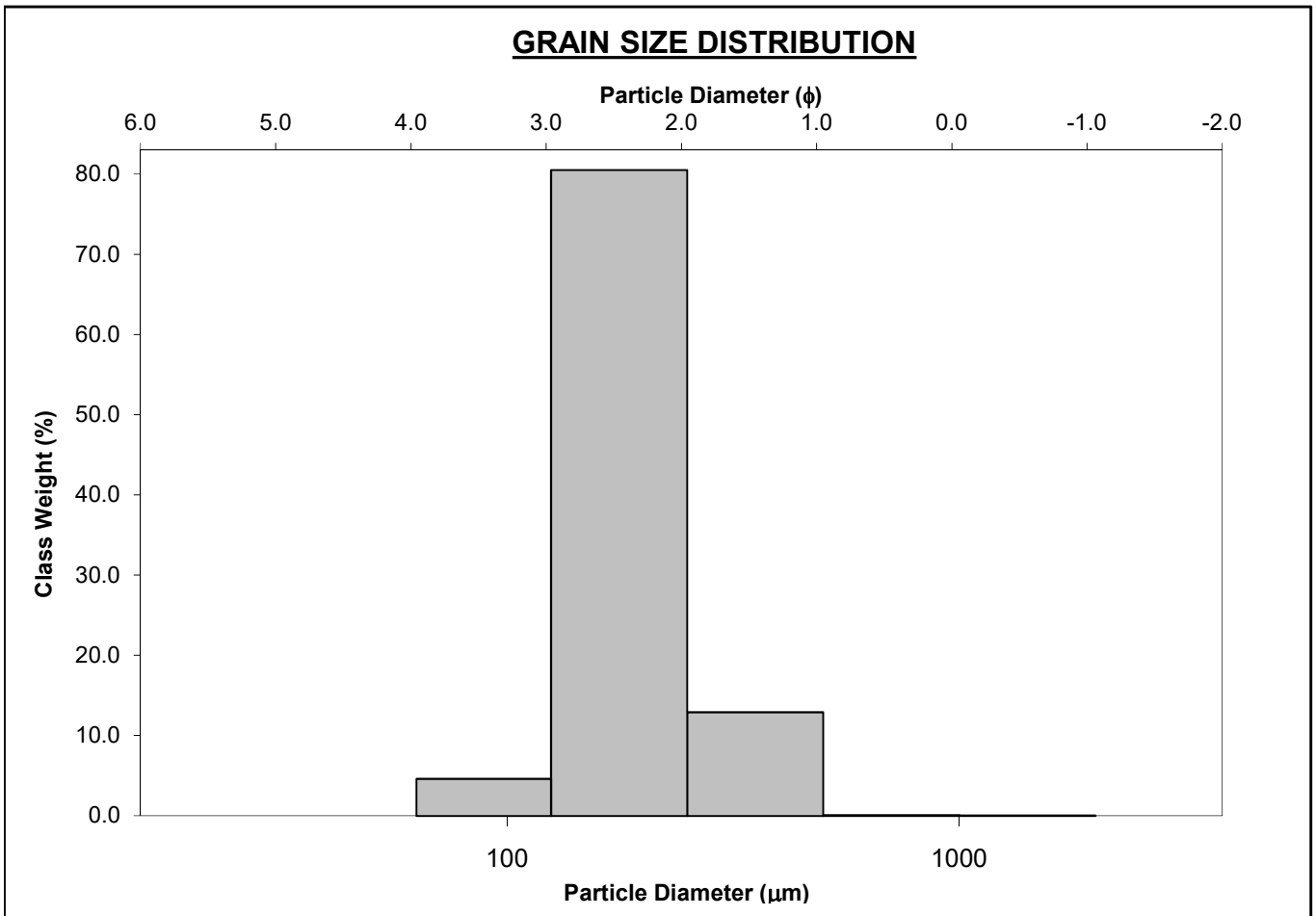
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Well Sorted

TEXTURAL GROUP: Sand

SEDIMENT NAME: Well Sorted Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.0%	COARSE SAND: 0.1%		
MODE 2:			SAND: 100.0%	MEDIUM SAND: 13.2%		
MODE 3:			MUD: 0.0%	FINE SAND: 82.0%		
D_{10} :	130.8	1.745		V FINE SAND: 4.7%		
MEDIAN or D_{50} :	183.4	2.447	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.0%		
D_{90} :	298.4	2.935	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D_{90} / D_{10}) :	2.282	1.682	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
$(D_{90} - D_{10})$:	167.6	1.190	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D_{75} / D_{25}) :	1.526	1.285	V FINE GRAVEL: 0.0%	V FINE SILT: 0.0%		
$(D_{75} - D_{25})$:	78.12	0.610	V COARSE SAND: 0.1%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	209.5	188.1	2.410	183.4	2.447	Fine Sand
SORTING (σ):	79.02	1.343	0.426	1.370	0.454	Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	4.794	0.856	-0.856	0.163	-0.163	Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	60.66	6.864	6.864	1.096	1.096	Mesokurtic



SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **Perfil-3**

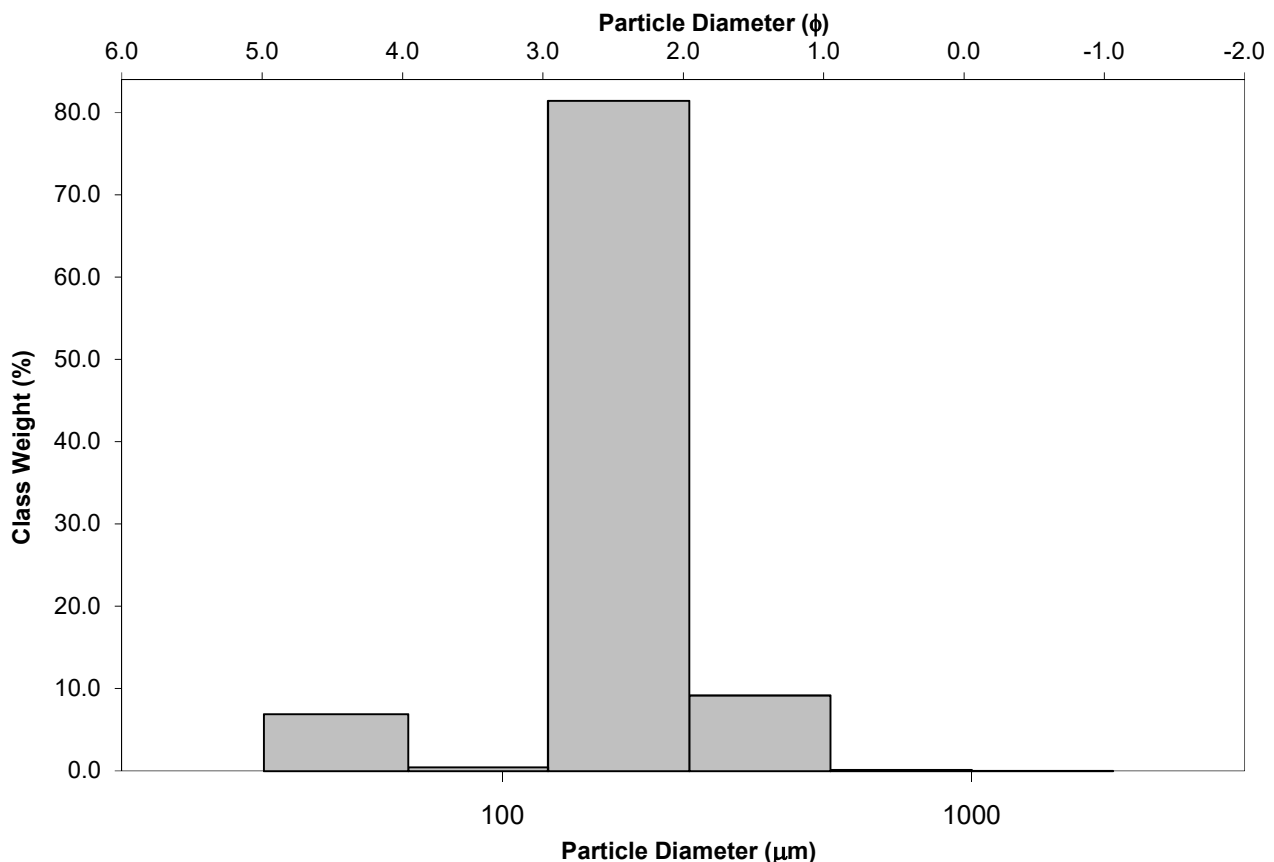
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Well Sorted

TEXTURAL GROUP: Sand

SEDIMENT NAME: Moderately Well Sorted Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.0%	COARSE SAND: 0.2%		
MODE 2:			SAND: 92.9%	MEDIUM SAND: 9.4%		
MODE 3:			MUD: 7.1%	FINE SAND: 82.8%		
D_{10} :	127.4	2.005		V FINE SAND: 0.6%		
MEDIAN or D_{50} :	178.2	2.489	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 7.1%		
D_{90} :	249.1	2.972	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.1%		
(D_{90} / D_{10}) :	1.954	1.482	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
$(D_{90} - D_{10})$:	121.6	0.967	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D_{75} / D_{25}) :	1.520	1.276	V FINE GRAVEL: 0.0%	V FINE SILT: 0.0%		
$(D_{75} - D_{25})$:	75.16	0.604	V COARSE SAND: 0.0%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	195.8	170.6	2.551	178.2	2.489	Fine Sand
SORTING (σ):	76.18	1.545	0.628	1.545	0.628	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	3.078	-1.640	1.640	-0.150	0.150	Fine Skewed
KURTOSIS (K):	39.25	7.850	7.850	1.892	1.892	Very Leptokurtic

GRAIN SIZE DISTRIBUTION

SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **Perfil-4**

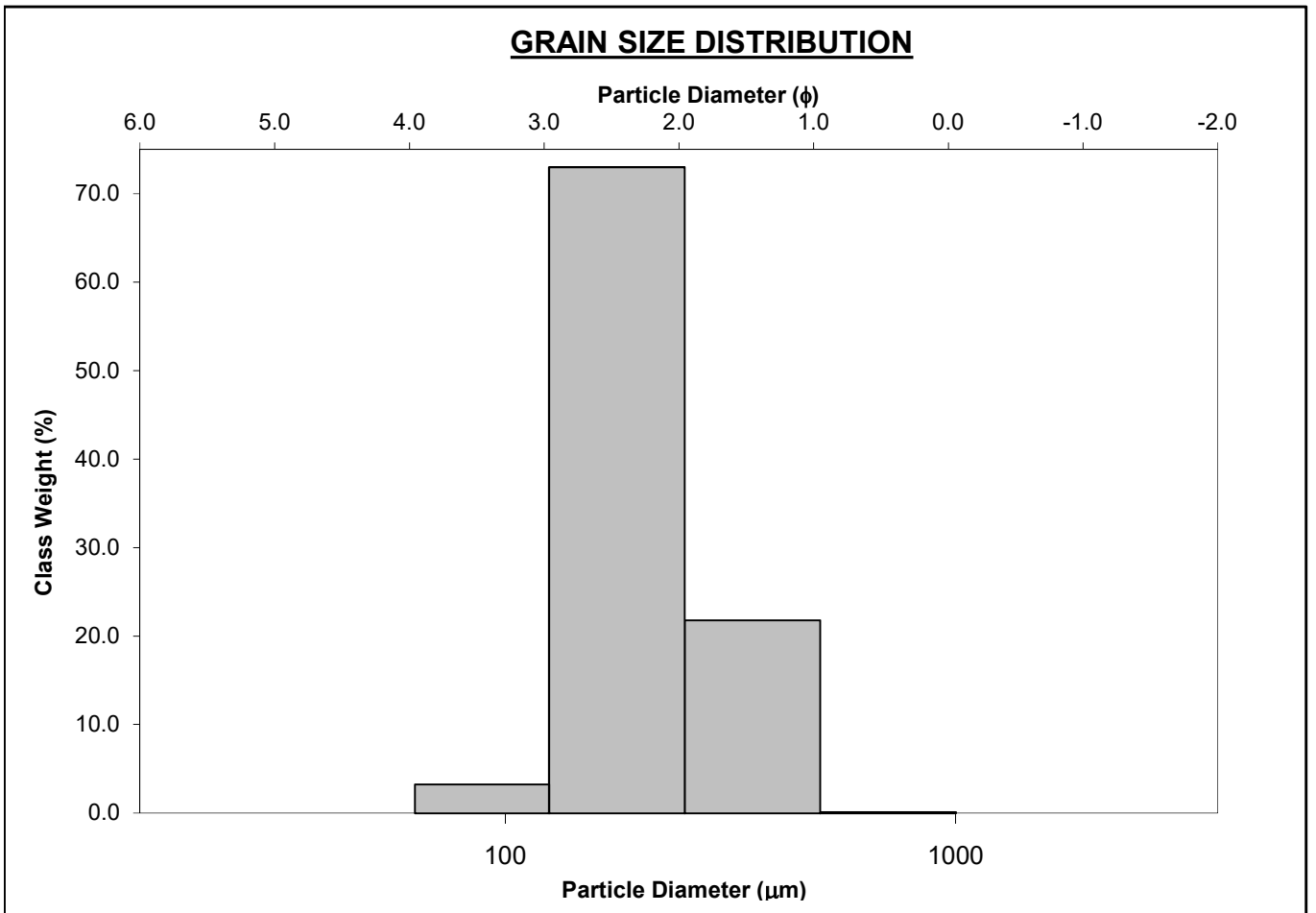
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Well Sorted

TEXTURAL GROUP: Sand

SEDIMENT NAME: Moderately Well Sorted Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.0%	COARSE SAND: 0.2%		
MODE 2:			SAND: 100.0%	MEDIUM SAND: 22.2%		
MODE 3:			MUD: 0.0%	FINE SAND: 74.3%		
D ₁₀ :	133.1	1.443		V FINE SAND: 3.3%		
MEDIAN or D ₅₀ :	193.2	2.372	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.0%		
D ₉₀ :	367.8	2.910	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	2.764	2.017	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	234.8	1.467	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	1.594	1.331	V FINE GRAVEL: 0.0%	V FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	90.91	0.673	V COARSE SAND: 0.0%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	227.0	202.0	2.307	202.4	2.305	Fine Sand
SORTING (σ):	83.93	1.388	0.473	1.460	0.546	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	1.395	0.622	-0.622	0.246	-0.246	Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	4.792	3.543	3.543	1.072	1.072	Mesokurtic



SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **Perfil-5**

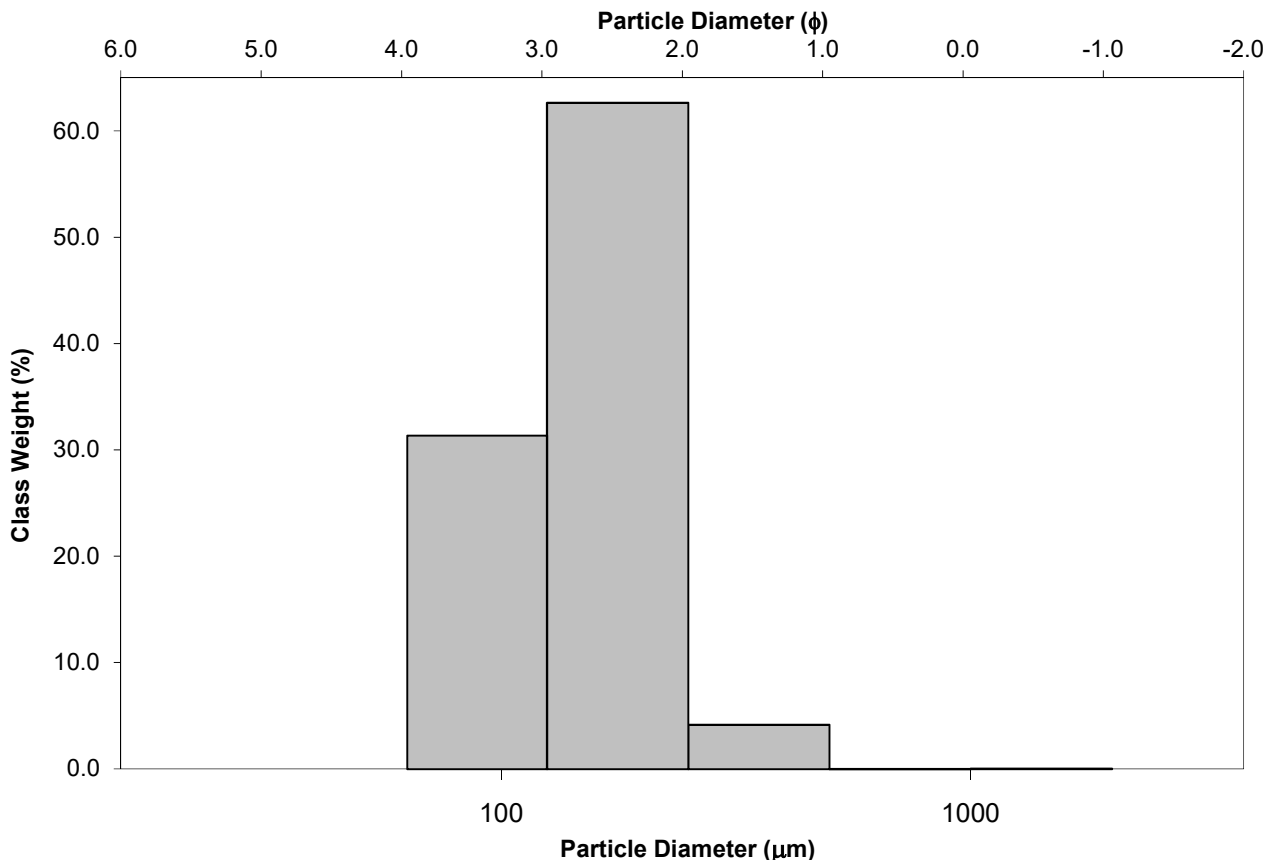
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Well Sorted

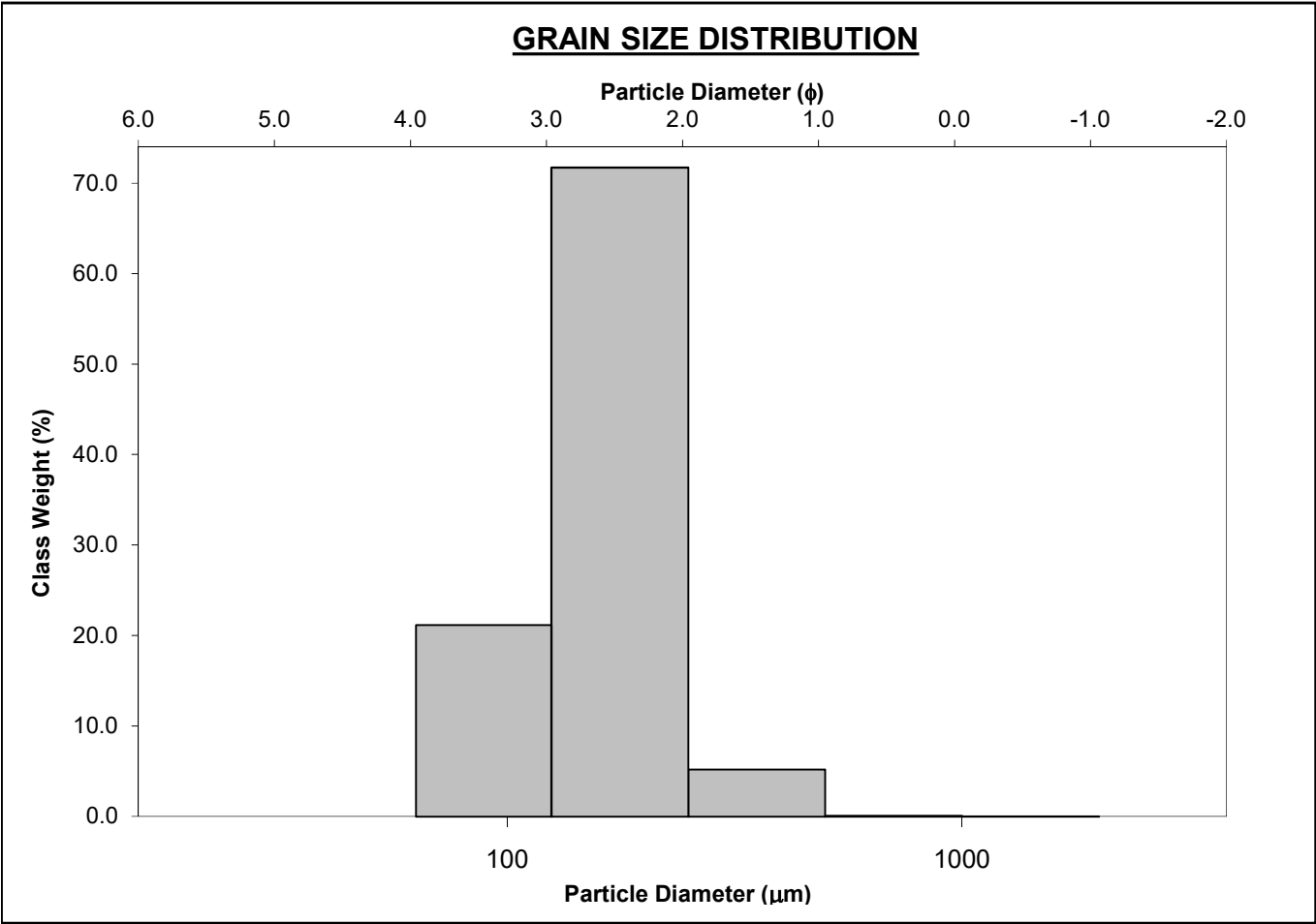
TEXTURAL GROUP: Sand

SEDIMENT NAME: Moderately Well Sorted Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.0%	COARSE SAND: 0.0%		
MODE 2:			SAND: 100.0%	MEDIUM SAND: 4.3%		
MODE 3:			MUD: 0.0%	FINE SAND: 64.0%		
D_{10} :	78.22	2.088		V FINE SAND: 31.7%		
MEDIAN or D_{50} :	152.5	2.713	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.0%		
D_{90} :	235.1	3.676	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D_{90} / D_{10}) :	3.006	1.760	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
$(D_{90} - D_{10})$:	156.9	1.588	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D_{75} / D_{25}) :	1.847	1.381	V FINE GRAVEL: 0.0%	V FINE SILT: 0.0%		
$(D_{75} - D_{25})$:	91.67	0.885	V COARSE SAND: 0.1%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	166.7	146.6	2.770	144.1	2.795	Fine Sand
SORTING (σ):	69.72	1.451	0.537	1.519	0.603	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	4.780	0.011	-0.011	-0.207	0.207	Fine Skewed
KURTOSIS (K):	78.49	3.249	3.249	0.844	0.844	Platykurtic

GRAIN SIZE DISTRIBUTION

SIEVING ERROR: 0.0%			<u>SAMPLE STATISTICS</u>			
SAMPLE IDENTITY: Perfil-6			ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022			
SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Well Sorted			TEXTURAL GROUP: Sand			
SEDIMENT NAME: Moderately Well Sorted Fine Sand						
	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.0%		COARSE SAND: 0.1%	
MODE 2:			SAND: 100.0%		MEDIUM SAND: 5.3%	
MODE 3:			MUD: 0.0%		FINE SAND: 73.2%	
D ₁₀ :	86.84	2.062			V FINE SAND: 21.3%	
MEDIAN or D ₅₀ :	164.0	2.608	V COARSE GRAVEL: 0.0%		V COARSE SILT: 0.0%	
D ₉₀ :	239.5	3.525	COARSE GRAVEL: 0.0%		COARSE SILT: 0.0%	
(D ₉₀ / D ₁₀):	2.758	1.710	MEDIUM GRAVEL: 0.0%		MEDIUM SILT: 0.0%	
(D ₉₀ - D ₁₀):	152.7	1.464	FINE GRAVEL: 0.0%		FINE SILT: 0.0%	
(D ₇₅ / D ₂₅):	1.606	1.301	V FINE GRAVEL: 0.0%		V FINE SILT: 0.0%	
(D ₇₅ - D ₂₅):	78.38	0.683	V COARSE SAND: 0.1%		CLAY: 0.0%	
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	178.7	158.7	2.656	157.5	2.667	Fine Sand
SORTING (σ):	69.39	1.413	0.498	1.470	0.556	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	4.786	-0.129	0.129	-0.202	0.202	Fine Skewed
KURTOSIS (K):	73.87	4.388	4.388	1.107	1.107	Mesokurtic



SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **Perfil-7**

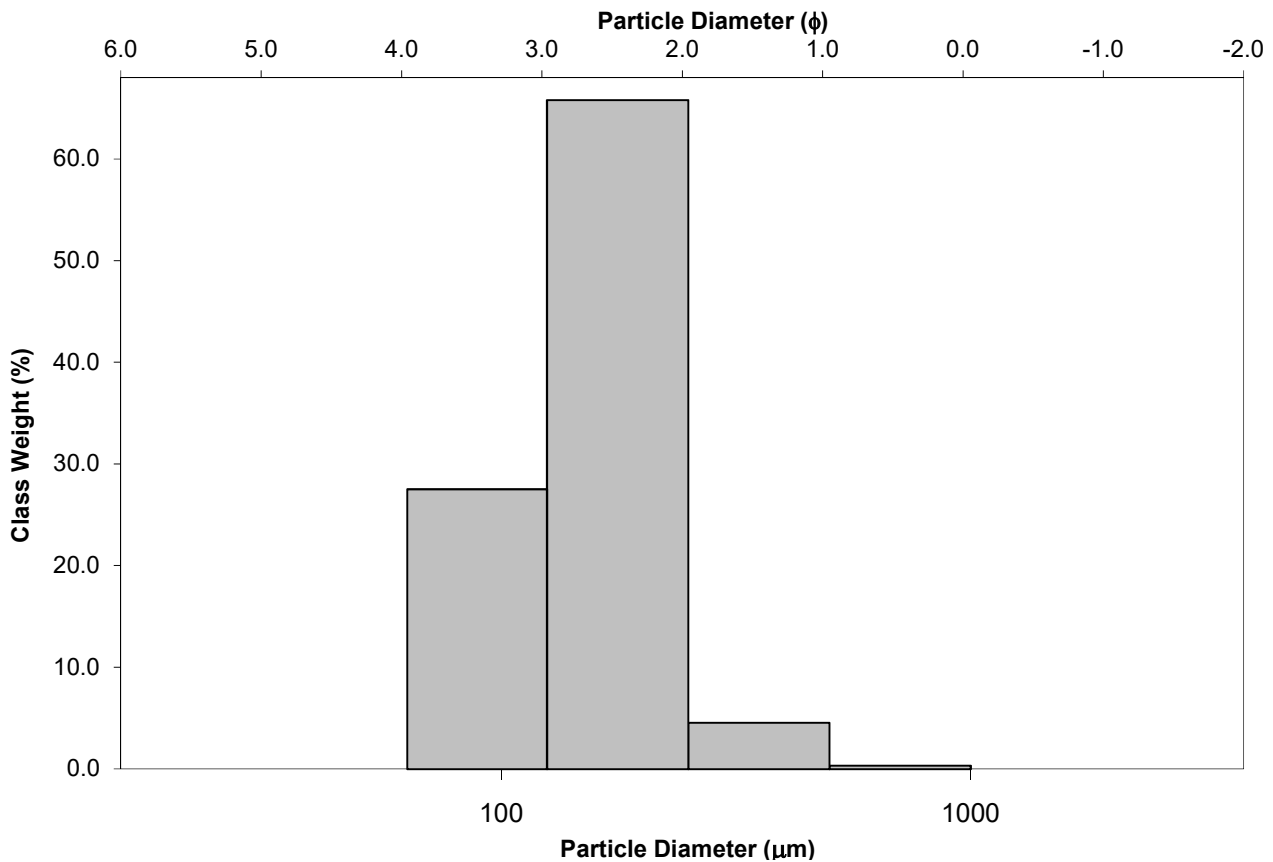
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Well Sorted

TEXTURAL GROUP: Sand

SEDIMENT NAME: Moderately Well Sorted Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.0%	COARSE SAND: 0.4%		
MODE 2:			SAND: 100.0%	MEDIUM SAND: 4.7%		
MODE 3:			MUD: 0.0%	FINE SAND: 67.2%		
D ₁₀ :	80.61	2.074		V FINE SAND: 27.8%		
MEDIAN or D ₅₀ :	157.2	2.669	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.0%		
D ₉₀ :	237.5	3.633	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	2.946	1.752	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	156.9	1.559	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	1.744	1.349	V FINE GRAVEL: 0.0%	V FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	86.76	0.802	V COARSE SAND: 0.0%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	172.3	151.5	2.722	148.6	2.751	Fine Sand
SORTING (σ):	70.74	1.449	0.535	1.504	0.589	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	2.734	0.034	-0.034	-0.225	0.225	Fine Skewed
KURTOSIS (K):	19.97	3.582	3.582	0.928	0.928	Mesokurtic

GRAIN SIZE DISTRIBUTION

SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **Tipo Playa**

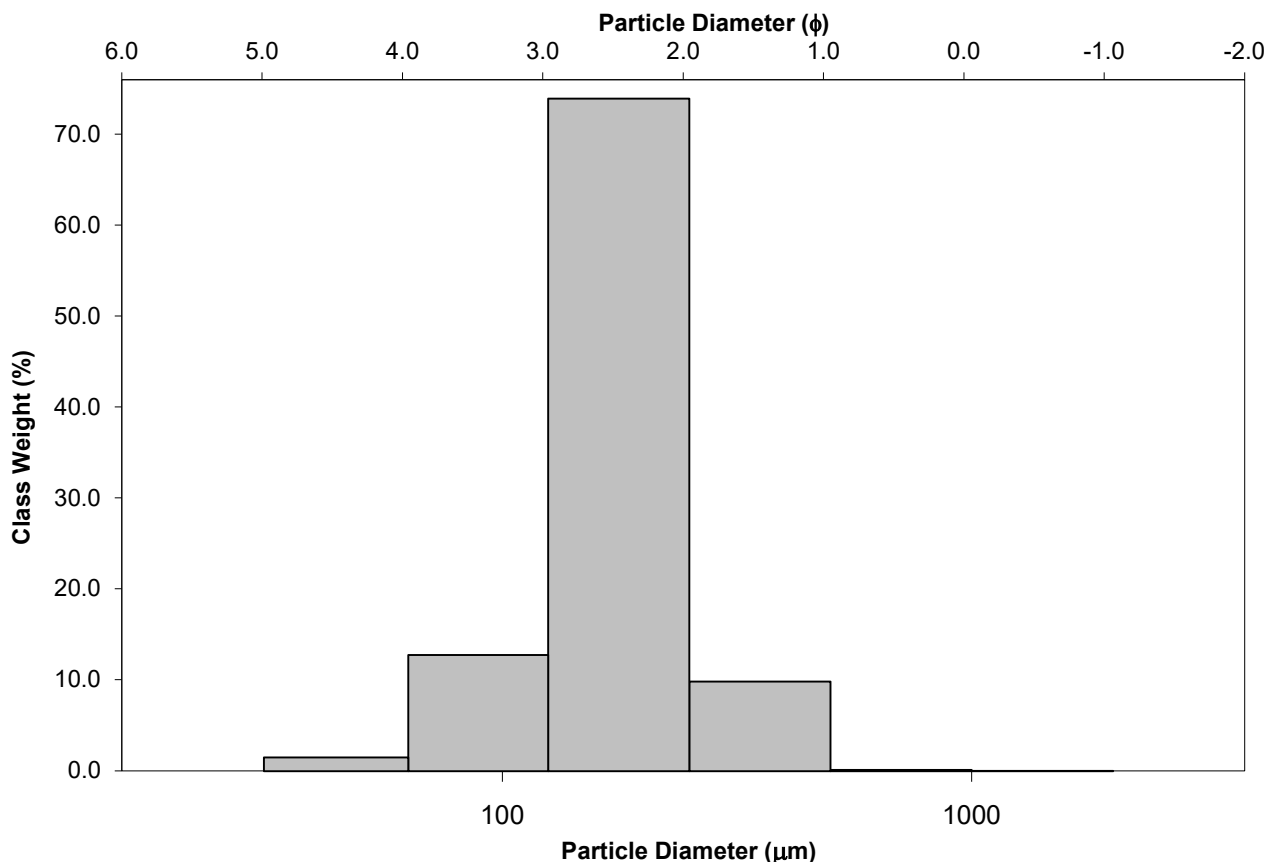
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Well Sorted

TEXTURAL GROUP: Sand

SEDIMENT NAME: Moderately Well Sorted Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.0%	COARSE SAND: 0.1%		
MODE 2:			SAND: 98.4%	MEDIUM SAND: 10.0%		
MODE 3:			MUD: 1.6%	FINE SAND: 75.3%		
D_{10} :	98.55	1.979		V FINE SAND: 12.9%		
MEDIAN or D_{50} :	173.4	2.528	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 1.6%		
D_{90} :	253.7	3.343	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D_{90} / D_{10}) :	2.574	1.689	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
$(D_{90} - D_{10})$:	155.1	1.364	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D_{75} / D_{25}) :	1.584	1.302	V FINE GRAVEL: 0.0%	V FINE SILT: 0.0%		
$(D_{75} - D_{25})$:	80.47	0.664	V COARSE SAND: 0.0%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	193.3	170.1	2.556	173.4	2.528	Fine Sand
SORTING (σ):	77.22	1.459	0.545	1.480	0.566	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	3.115	-0.518	0.518	-0.034	0.034	Symmetrical
KURTOSIS (K):	35.76	5.752	5.752	1.387	1.387	Leptokurtic

GRAIN SIZE DISTRIBUTION

SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **C1**

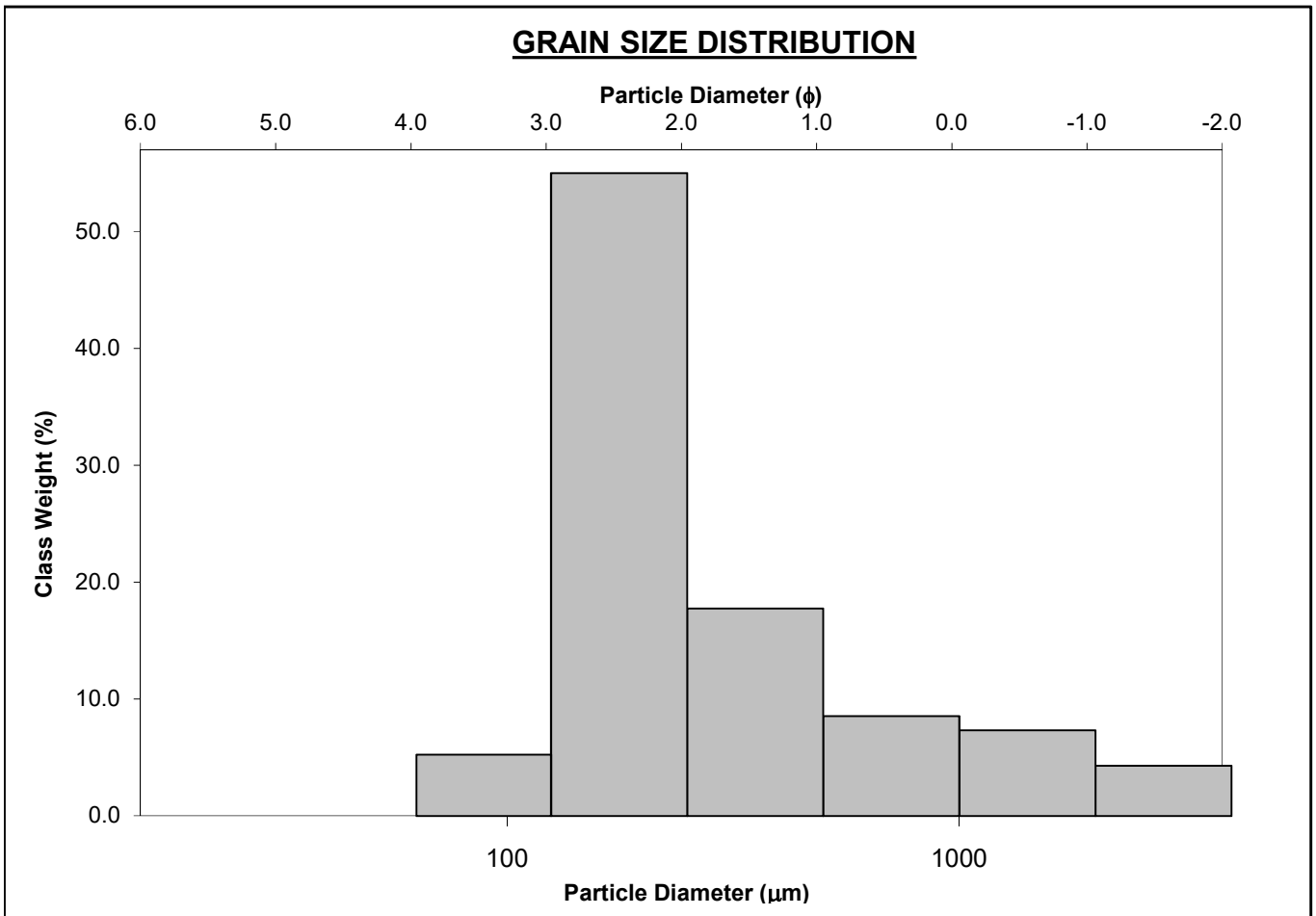
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Poorly Sorted

TEXTURAL GROUP: Gravelly Sand

SEDIMENT NAME: Very Fine Gravelly Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 6.2%	COARSE SAND: 8.5%		
MODE 2:			SAND: 93.8%	MEDIUM SAND: 17.7%		
MODE 3:			MUD: 0.0%	FINE SAND: 55.0%		
D_{10} :	132.8	-0.484		V FINE SAND: 5.2%		
MEDIAN or D_{50} :	219.9	2.185	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.0%		
D_{90} :	1399.0	2.913	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D_{90} / D_{10}) :	10.53	-6.013	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
$(D_{90} - D_{10})$:	1266.2	3.397	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D_{75} / D_{25}) :	2.782	2.268	V FINE GRAVEL: 6.2%	V FINE SILT: 0.0%		
$(D_{75} - D_{25})$:	285.9	1.476	V COARSE SAND: 7.3%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	477.5	257.9	1.763	295.6	1.758	Medium Sand
SORTING (σ):	645.4	3.118	1.223	2.435	1.284	Poorly Sorted
SKEWNESS (Sk):	2.794	-1.590	-1.168	0.557	-0.557	Very Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	10.53	12.23	3.501	1.200	1.200	Leptokurtic



SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **C2**

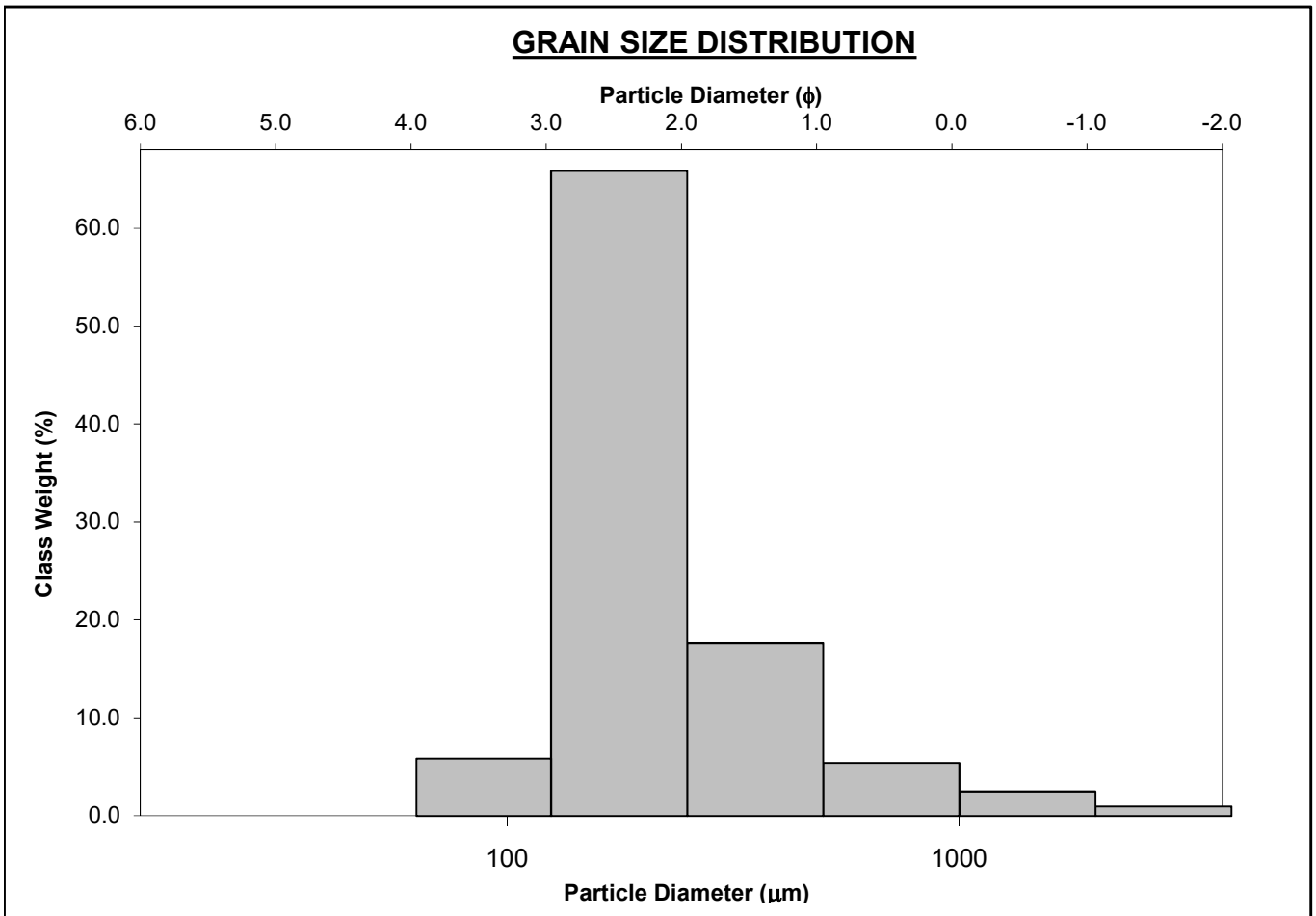
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Sorted

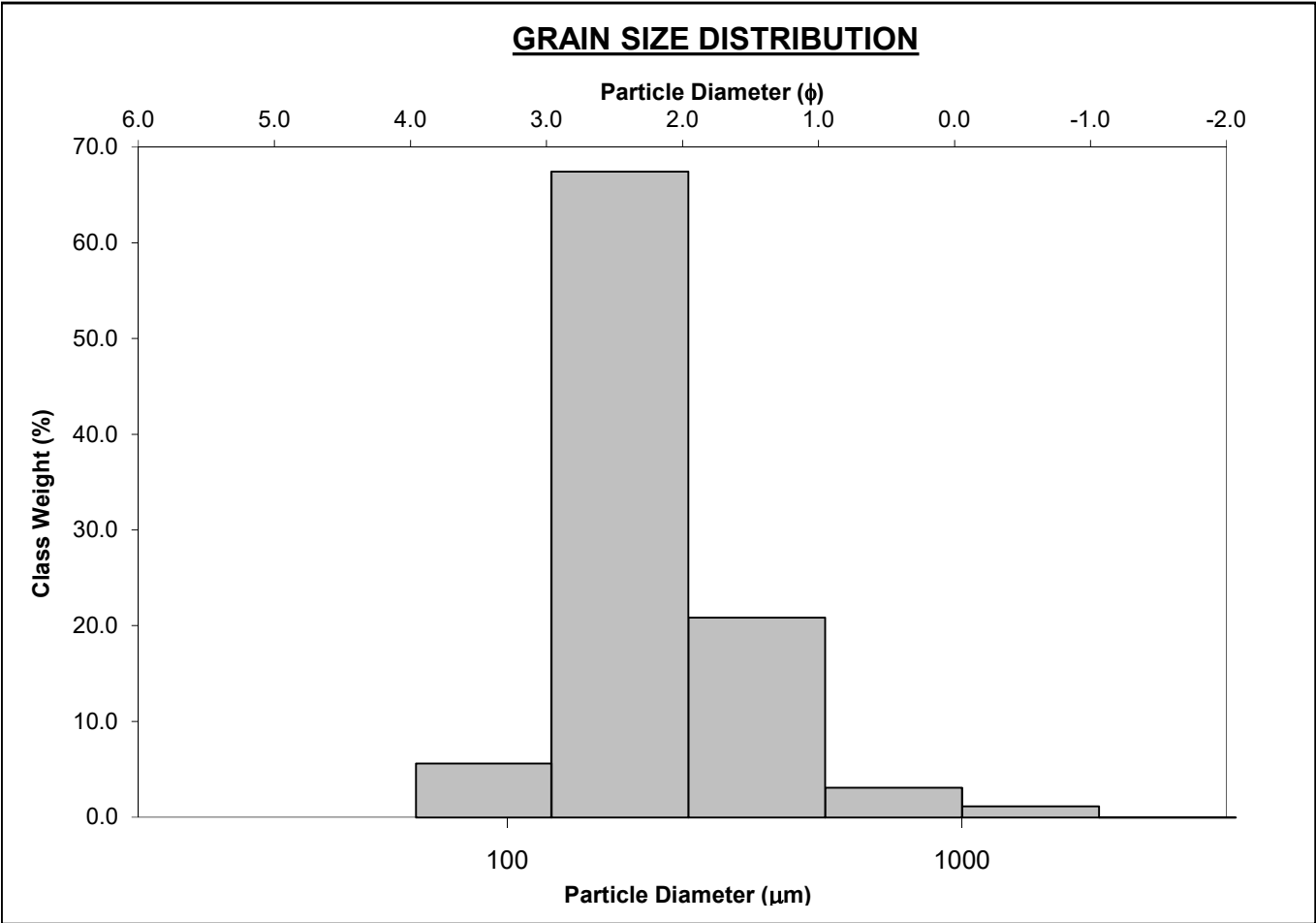
TEXTURAL GROUP: Slightly Gravelly Sand

SEDIMENT NAME: Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 1.4%	COARSE SAND: 5.5%		
MODE 2:			SAND: 98.6%	MEDIUM SAND: 17.9%		
MODE 3:			MUD: 0.0%	FINE SAND: 66.8%		
D_{10} :	130.5	1.033		V FINE SAND: 5.9%		
MEDIAN or D_{50} :	197.5	2.340	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.0%		
D_{90} :	488.7	2.938	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D_{90} / D_{10}) :	3.746	2.845	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
$(D_{90} - D_{10})$:	358.3	1.905	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D_{75} / D_{25}) :	1.793	1.450	V FINE GRAVEL: 1.4%	V FINE SILT: 0.0%		
$(D_{75} - D_{25})$:	120.8	0.842	V COARSE SAND: 2.5%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	307.2	220.6	2.144	219.8	2.186	Fine Sand
SORTING (σ):	363.8	1.961	0.861	1.761	0.817	Moderately Sorted
SKEWNESS (Sk):	4.982	-0.606	-1.731	0.382	-0.382	Very Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	32.84	19.13	6.751	1.435	1.435	Leptokurtic



SIEVING ERROR: 0.0%			<u>SAMPLE STATISTICS</u>			
SAMPLE IDENTITY: C3			ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022			
SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Well Sorted			TEXTURAL GROUP: Slightly Gravelly Sand			
SEDIMENT NAME: Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand						
	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.0%		COARSE SAND: 3.2%	
MODE 2:			SAND: 100.0%		MEDIUM SAND: 21.2%	
MODE 3:			MUD: 0.0%		FINE SAND: 68.7%	
D ₁₀ :	130.6	1.263			V FINE SAND: 5.7%	
MEDIAN or D ₅₀ :	195.5	2.355	V COARSE GRAVEL: 0.0%		V COARSE SILT: 0.0%	
D ₉₀ :	416.6	2.937	COARSE GRAVEL: 0.0%		COARSE SILT: 0.0%	
(D ₉₀ / D ₁₀):	3.191	2.325	MEDIUM GRAVEL: 0.0%		MEDIUM SILT: 0.0%	
(D ₉₀ - D ₁₀):	286.0	1.674	FINE GRAVEL: 0.0%		FINE SILT: 0.0%	
(D ₇₅ / D ₂₅):	1.681	1.381	V FINE GRAVEL: 0.0%		V FINE SILT: 0.0%	
(D ₇₅ - D ₂₅):	103.5	0.750	V COARSE SAND: 1.2%		CLAY: 0.0%	
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	255.8	210.7	2.244	210.2	2.250	Fine Sand
SORTING (σ):	186.2	1.598	0.664	1.561	0.643	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	4.418	0.811	-1.326	0.255	-0.255	Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	29.38	10.84	6.194	1.144	1.144	Leptokurtic



SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **C4**

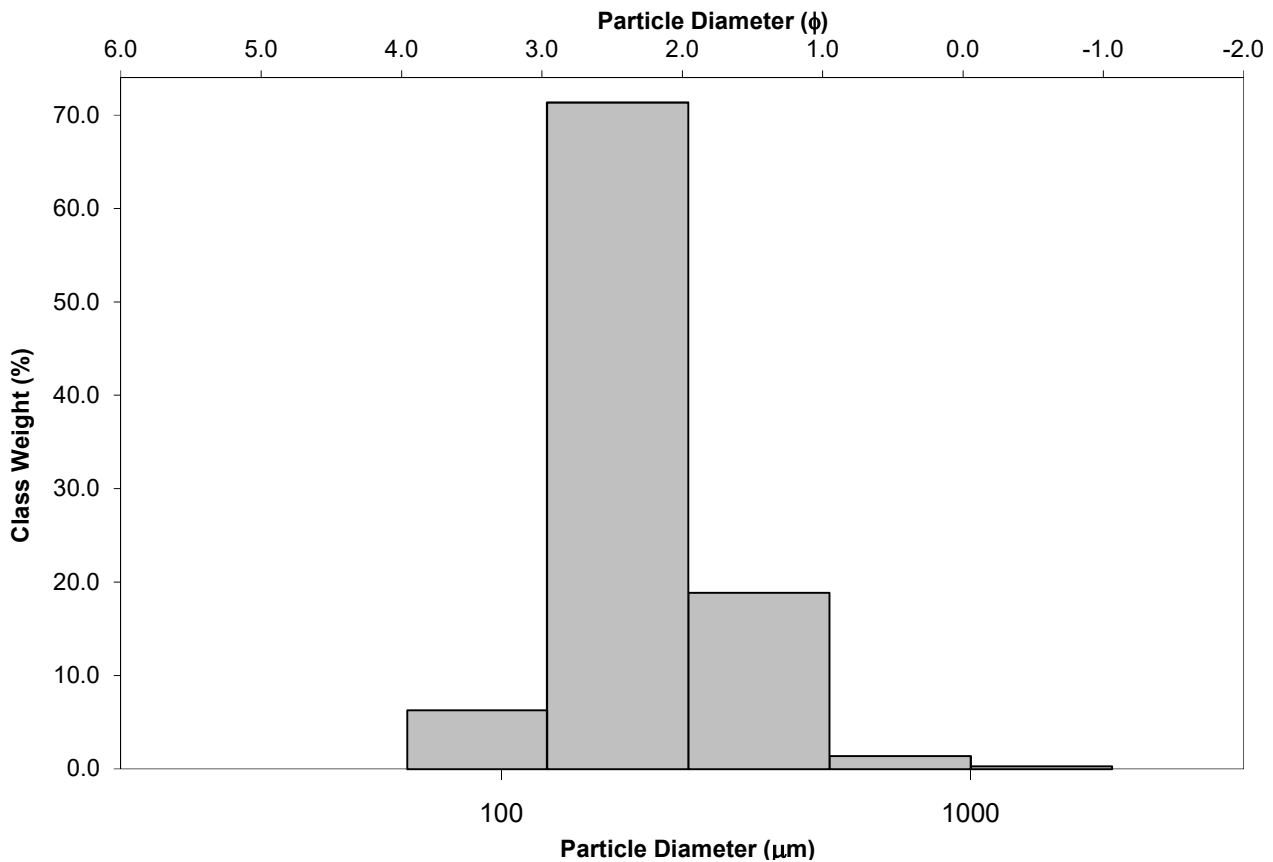
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Well Sorted

TEXTURAL GROUP: Sand

SEDIMENT NAME: Moderately Well Sorted Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.0%	COARSE SAND: 1.4%		
MODE 2:			SAND: 100.0%	MEDIUM SAND: 19.2%		
MODE 3:			MUD: 0.0%	FINE SAND: 72.7%		
D ₁₀ :	129.4	1.429		V FINE SAND: 6.3%		
MEDIAN or D ₅₀ :	189.6	2.399	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.0%		
D ₉₀ :	371.4	2.950	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	2.869	2.064	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	242.0	1.521	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	1.611	1.335	V FINE GRAVEL: 0.0%	V FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	91.27	0.688	V COARSE SAND: 0.3%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	229.8	198.5	2.333	198.1	2.336	Fine Sand
SORTING (σ):	124.1	1.473	0.559	1.506	0.591	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	4.568	0.956	-0.956	0.188	-0.188	Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	38.80	5.836	5.836	1.215	1.215	Leptokurtic

GRAIN SIZE DISTRIBUTION

SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **C5**

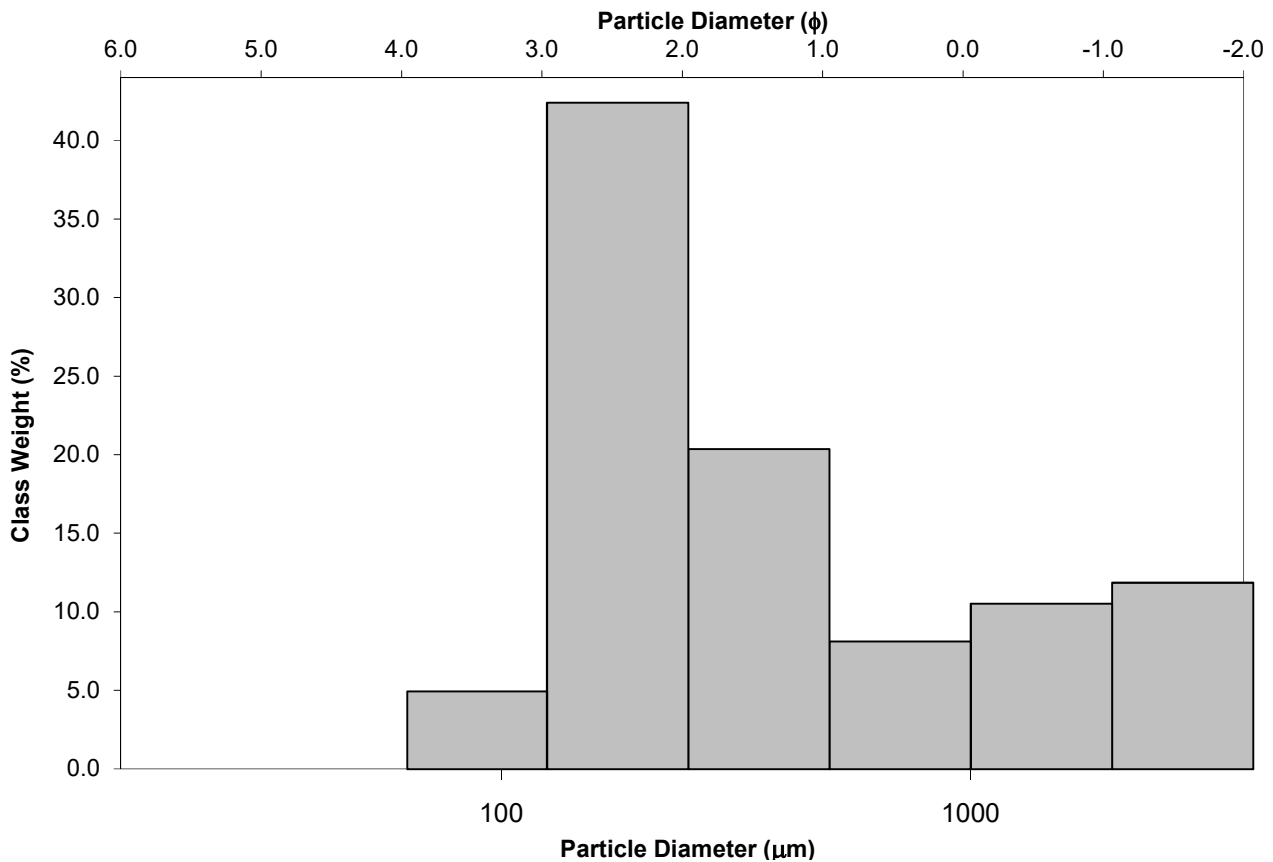
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Bimodal, Poorly Sorted

TEXTURAL GROUP: Gravelly Sand

SEDIMENT NAME: Very Fine Gravelly Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 24.8%	COARSE SAND: 7.1%		
MODE 2:	3000.0	-1.500	SAND: 75.2%	MEDIUM SAND: 17.7%		
MODE 3:			MUD: 0.0%	FINE SAND: 36.9%		
D ₁₀ :	139.2	-2.404		V FINE SAND: 4.3%		
MEDIAN or D ₅₀ :	352.7	1.504	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.0%		
D ₉₀ :	5291.9	2.845	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	38.01	-1.183	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	5152.7	5.248	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	10.69	-2.490	V FINE GRAVEL: 24.8%	V FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	1787.1	3.418	V COARSE SAND: 9.2%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	640.5	163.2	1.173	583.3	0.778	Coarse Sand
SORTING (σ):	896.9	10.00	1.458	3.226	1.690	Poorly Sorted
SKEWNESS (Sk):	1.848	-1.271	-0.405	0.338	-0.338	Very Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	5.097	3.797	1.919	0.440	0.440	Very Platykurtic

GRAIN SIZE DISTRIBUTION

SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **C6**

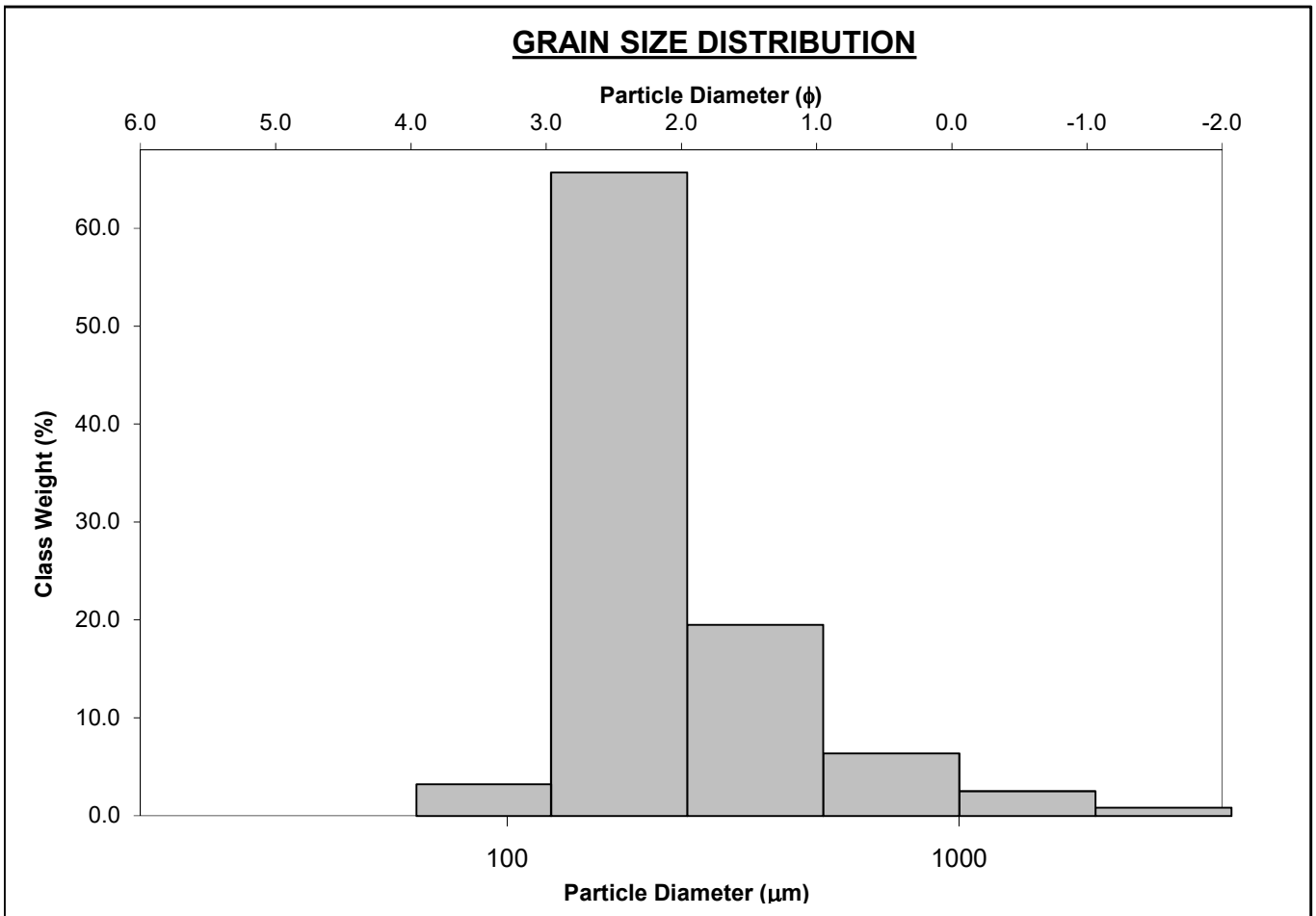
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Sorted

TEXTURAL GROUP: Slightly Gravelly Sand

SEDIMENT NAME: Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 1.0%	COARSE SAND: 6.5%		
MODE 2:			SAND: 99.0%	MEDIUM SAND: 19.9%		
MODE 3:			MUD: 0.0%	FINE SAND: 66.8%		
D ₁₀ :	134.1	0.994		V FINE SAND: 3.3%		
MEDIAN or D ₅₀ :	203.0	2.301	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.0%		
D ₉₀ :	502.2	2.899	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	3.746	2.918	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	368.2	1.905	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	1.894	1.526	V FINE GRAVEL: 1.0%	V FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	140.1	0.922	V COARSE SAND: 2.6%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	316.6	233.7	2.089	227.4	2.137	Fine Sand
SORTING (σ):	353.1	1.821	0.836	1.734	0.794	Moderately Sorted
SKEWNESS (Sk):	4.878	0.975	-1.751	0.418	-0.418	Very Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	32.50	11.48	6.559	1.222	1.222	Leptokurtic



SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **C7**

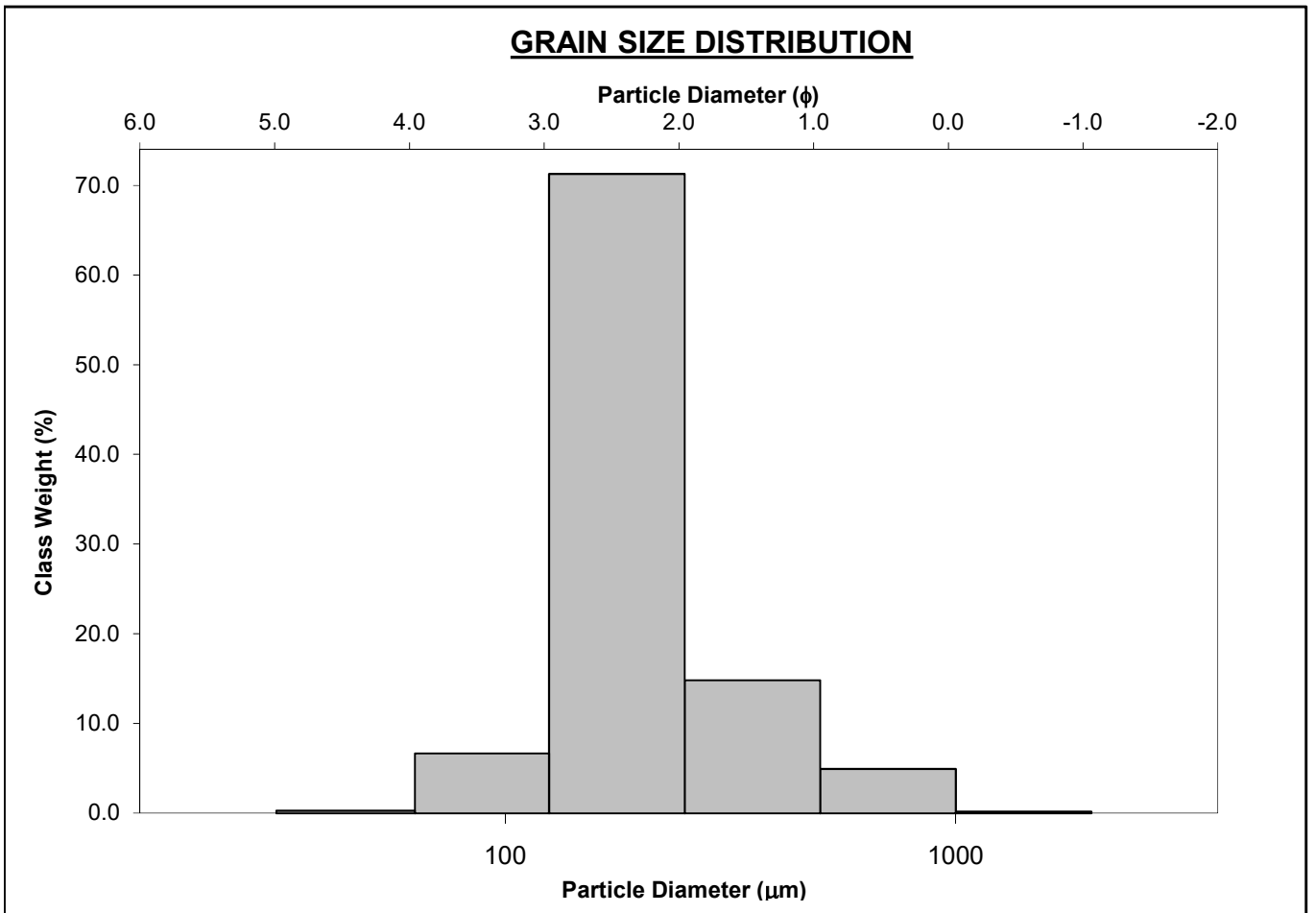
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Well Sorted

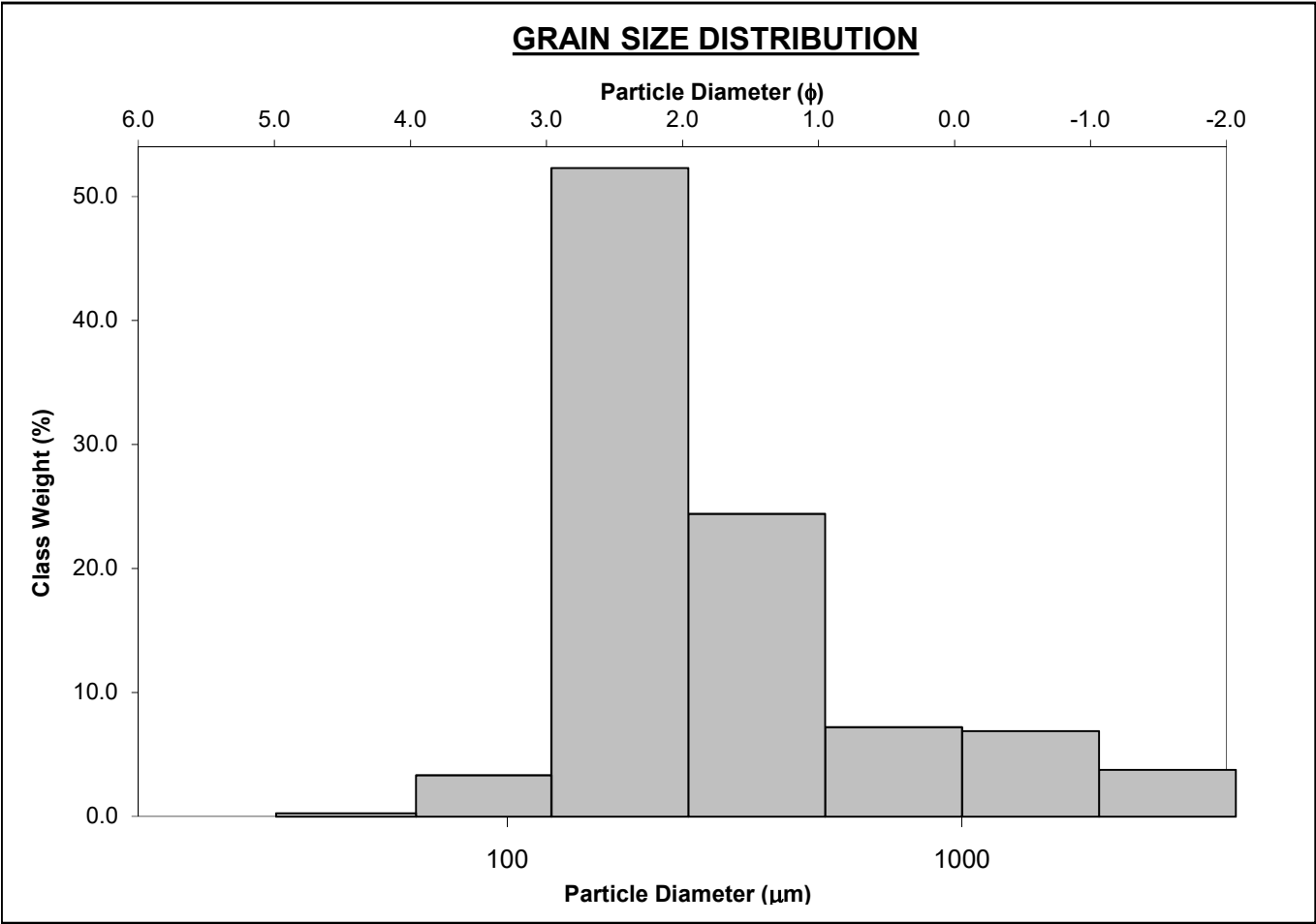
TEXTURAL GROUP: Sand

SEDIMENT NAME: Moderately Well Sorted Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.0%	COARSE SAND: 5.0%		
MODE 2:			SAND: 99.7%	MEDIUM SAND: 15.1%		
MODE 3:			MUD: 0.3%	FINE SAND: 72.6%		
D_{10} :	128.6	1.315		V FINE SAND: 6.7%		
MEDIAN or D_{50} :	188.4	2.408	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.3%		
D_{90} :	402.1	2.959	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D_{90} / D_{10}) :	3.127	2.251	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
$(D_{90} - D_{10})$:	273.5	1.645	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D_{75} / D_{25}) :	1.612	1.334	V FINE GRAVEL: 0.0%	V FINE SILT: 0.0%		
$(D_{75} - D_{25})$:	90.79	0.689	V COARSE SAND: 0.2%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	240.1	200.9	2.315	198.6	2.332	Fine Sand
SORTING (σ):	150.3	1.564	0.645	1.566	0.647	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	3.152	1.046	-1.046	0.218	-0.218	Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	16.68	5.447	5.447	1.398	1.398	Leptokurtic



SIEVING ERROR: 0.0%			<u>SAMPLE STATISTICS</u>			
SAMPLE IDENTITY: C8			ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022			
SAMPLE TYPE: Unimodal, Poorly Sorted			TEXTURAL GROUP: Slightly Gravelly Sand			
SEDIMENT NAME: Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand						
	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 4.7%		COARSE SAND: 7.3%	
MODE 2:			SAND: 95.0%		MEDIUM SAND: 24.6%	
MODE 3:			MUD: 0.3%		FINE SAND: 52.8%	
D ₁₀ :	135.9	-0.243			V FINE SAND: 3.3%	
MEDIAN or D ₅₀ :	229.9	2.121	V COARSE GRAVEL: 0.0%		V COARSE SILT: 0.3%	
D ₉₀ :	1183.6	2.879	COARSE GRAVEL: 0.0%		COARSE SILT: 0.0%	
(D ₉₀ / D ₁₀):	8.708	-11.840	MEDIUM GRAVEL: 0.0%		MEDIUM SILT: 0.0%	
(D ₉₀ - D ₁₀):	1047.7	3.122	FINE GRAVEL: 0.0%		FINE SILT: 0.0%	
(D ₇₅ / D ₂₅):	2.550	2.085	V FINE GRAVEL: 4.7%		V FINE SILT: 0.0%	
(D ₇₅ - D ₂₅):	256.5	1.350	V COARSE SAND: 7.0%		CLAY: 0.0%	
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	468.4	276.9	1.763	282.1	1.826	Medium Sand
SORTING (σ):	613.0	2.604	1.155	2.203	1.140	Poorly Sorted
SKEWNESS (Sk):	2.966	-1.002	-1.227	0.487	-0.487	Very Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	11.71	12.90	3.964	1.194	1.194	Leptokurtic



SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **C9**

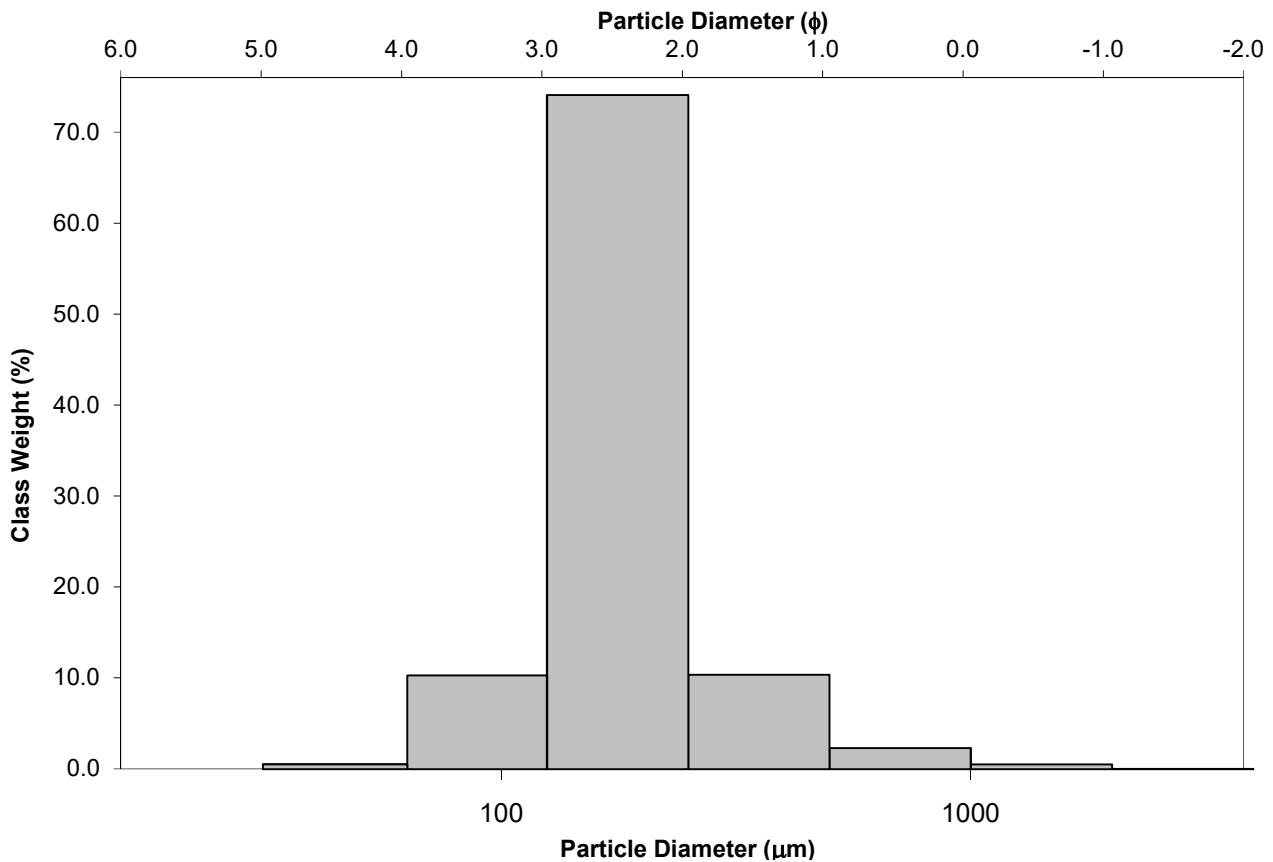
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Well Sorted

TEXTURAL GROUP: Slightly Gravelly Sand

SEDIMENT NAME: Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.1%	COARSE SAND: 2.4%		
MODE 2:			SAND: 99.3%	MEDIUM SAND: 10.6%		
MODE 3:			MUD: 0.6%	FINE SAND: 75.4%		
D ₁₀ :	117.4	1.655		V FINE SAND: 10.4%		
MEDIAN or D ₅₀ :	179.0	2.482	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.6%		
D ₉₀ :	317.5	3.090	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	2.703	1.867	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	200.0	1.435	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	1.583	1.308	V FINE GRAVEL: 0.1%	V FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	82.99	0.663	V COARSE SAND: 0.6%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	218.2	182.8	2.441	179.0	2.482	Fine Sand
SORTING (σ):	154.1	1.582	0.620	1.502	0.587	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	6.361	-0.640	-1.121	0.045	-0.045	Symmetrical
KURTOSIS (K):	69.19	23.64	8.033	1.473	1.473	Leptokurtic

GRAIN SIZE DISTRIBUTION

SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **C10**

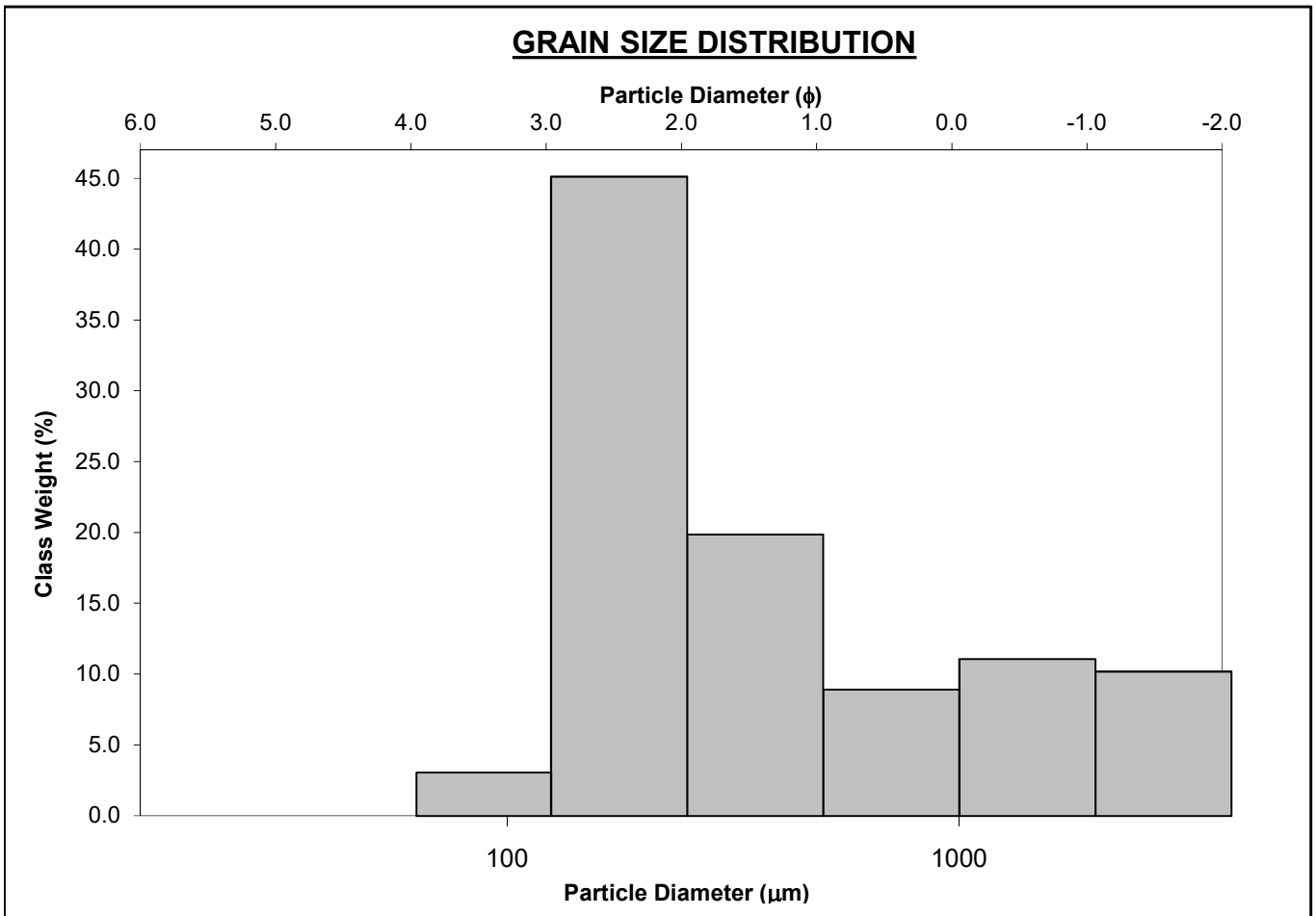
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Bimodal, Poorly Sorted

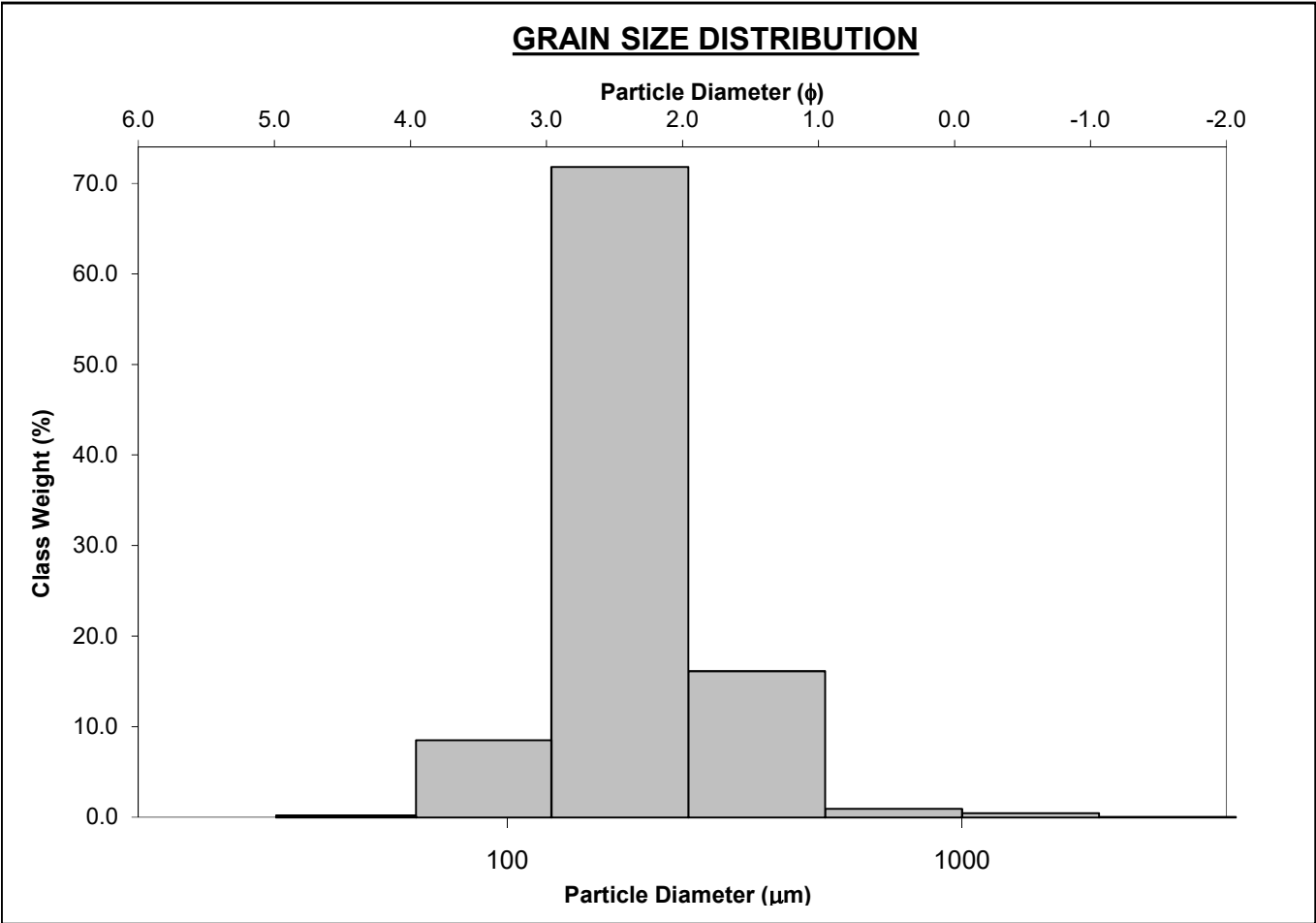
TEXTURAL GROUP: Gravelly Sand

SEDIMENT NAME: Very Fine Gravelly Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 16.6%	COARSE SAND: 8.5%		
MODE 2:	1500.0	-0.500	SAND: 83.4%	MEDIUM SAND: 18.8%		
MODE 3:			MUD: 0.0%	FINE SAND: 42.7%		
D ₁₀ :	140.3	-1.686		V FINE SAND: 2.9%		
MEDIAN or D ₅₀ :	293.9	1.767	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.0%		
D ₉₀ :	3216.9	2.833	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	22.93	-1.681	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	3076.6	4.519	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	6.426	-12.307	V FINE GRAVEL: 16.6%	V FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	971.1	2.684	V COARSE SAND: 10.5%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	664.0	251.8	1.296	456.4	1.132	Medium Sand
SORTING (σ):	868.3	5.987	1.425	3.040	1.604	Poorly Sorted
SKEWNESS (Sk):	1.858	-1.712	-0.643	0.484	-0.484	Very Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	5.221	6.768	2.133	0.670	0.670	Very Platykurtic



SIEVING ERROR: 0.0%			<u>SAMPLE STATISTICS</u>			
SAMPLE IDENTITY: C11			ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022			
SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Well Sorted			TEXTURAL GROUP: Slightly Gravelly Sand			
SEDIMENT NAME: Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand						
	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.1%		COARSE SAND: 1.0%	
MODE 2:			SAND: 99.7%		MEDIUM SAND: 16.5%	
MODE 3:			MUD: 0.2%		FINE SAND: 73.2%	
D ₁₀ :	126.4	1.514			V FINE SAND: 8.6%	
MEDIAN or D ₅₀ :	184.6	2.437	V COARSE GRAVEL: 0.0%		V COARSE SILT: 0.2%	
D ₉₀ :	350.2	2.984	COARSE GRAVEL: 0.0%		COARSE SILT: 0.0%	
(D ₉₀ / D ₁₀):	2.771	1.971	MEDIUM GRAVEL: 0.0%		MEDIUM SILT: 0.0%	
(D ₉₀ - D ₁₀):	223.8	1.470	FINE GRAVEL: 0.0%		FINE SILT: 0.0%	
(D ₇₅ / D ₂₅):	1.606	1.326	V FINE GRAVEL: 0.1%		V FINE SILT: 0.0%	
(D ₇₅ - D ₂₅):	88.27	0.683	V COARSE SAND: 0.5%		CLAY: 0.0%	
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	223.8	191.0	2.389	188.7	2.406	Fine Sand
SORTING (σ):	148.1	1.499	0.584	1.509	0.594	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	7.845	1.001	-1.001	0.096	-0.096	Symmetrical
KURTOSIS (K):	106.1	7.700	7.700	1.338	1.338	Leptokurtic



SIEVING ERROR: 0.1%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **C12**

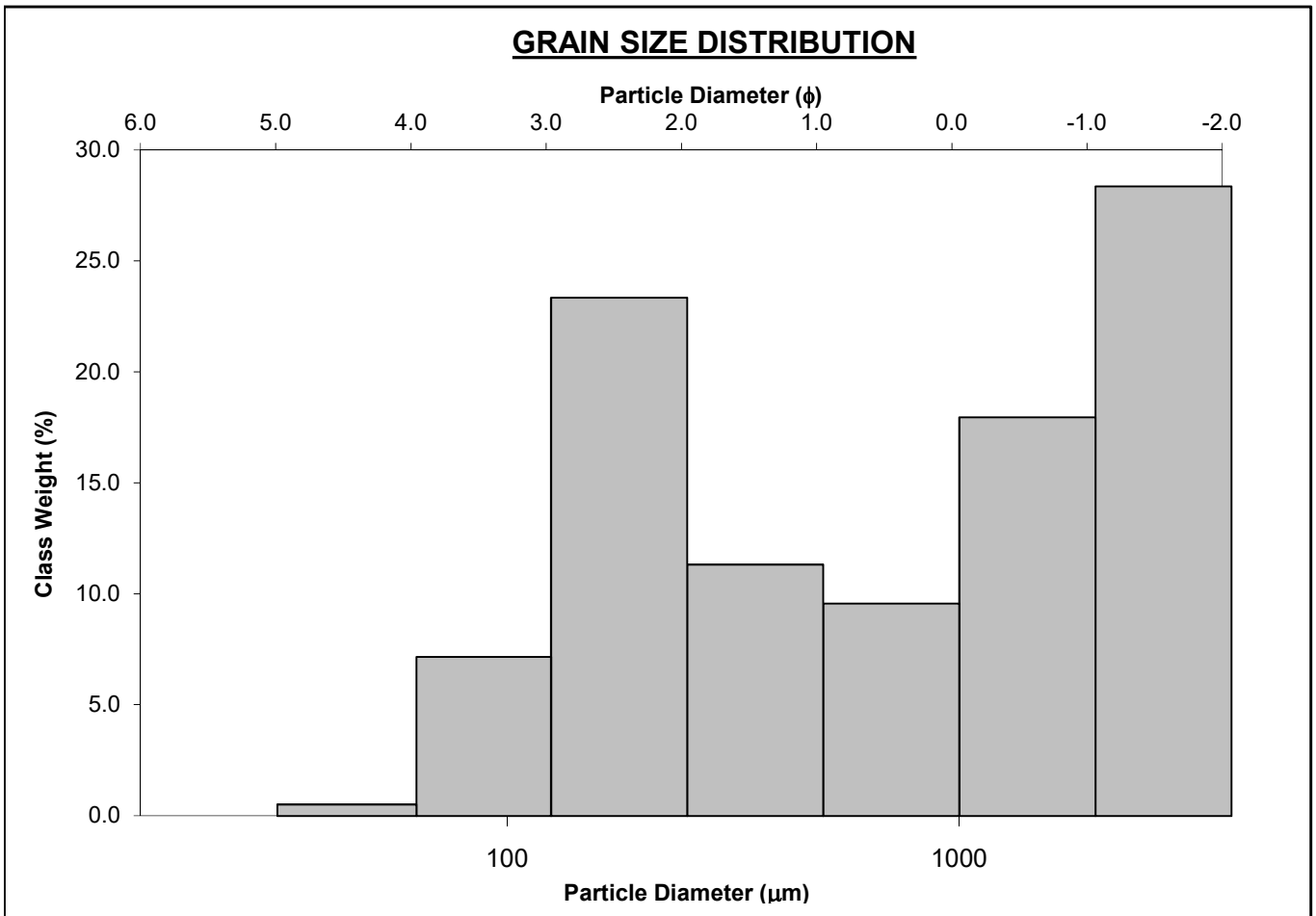
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Bimodal, Poorly Sorted

TEXTURAL GROUP: Sandy Gravel

SEDIMENT NAME: Sandy Very Fine Gravel

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	3000.0	-1.500	GRAVEL: 43.4%	COARSE SAND: 7.8%		
MODE 2:	187.5	2.500	SAND: 56.1%	MEDIUM SAND: 9.2%		
MODE 3:			MUD: 0.4%	FINE SAND: 18.9%		
D ₁₀ :	143.8	-2.714		V FINE SAND: 5.7%		
MEDIAN or D ₅₀ :	1463.0	-0.549	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.4%		
D ₉₀ :	6559.7	2.798	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	45.61	-1.031	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	6415.9	5.511	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	14.00	-1.112	V FINE GRAVEL: 43.4%	V FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	3239.7	3.807	V COARSE SAND: 14.5%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	1040.9	177.8	0.452	918.4	0.123	Coarse Sand
SORTING (σ):	1172.5	17.23	1.595	2.969	1.570	Poorly Sorted
SKEWNESS (Sk):	0.813	-0.957	0.439	-0.765	0.765	Very Fine Skewed
KURTOSIS (K):	2.011	2.495	2.004	0.397	0.397	Very Platykurtic



SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICS

SAMPLE IDENTITY: **C13**

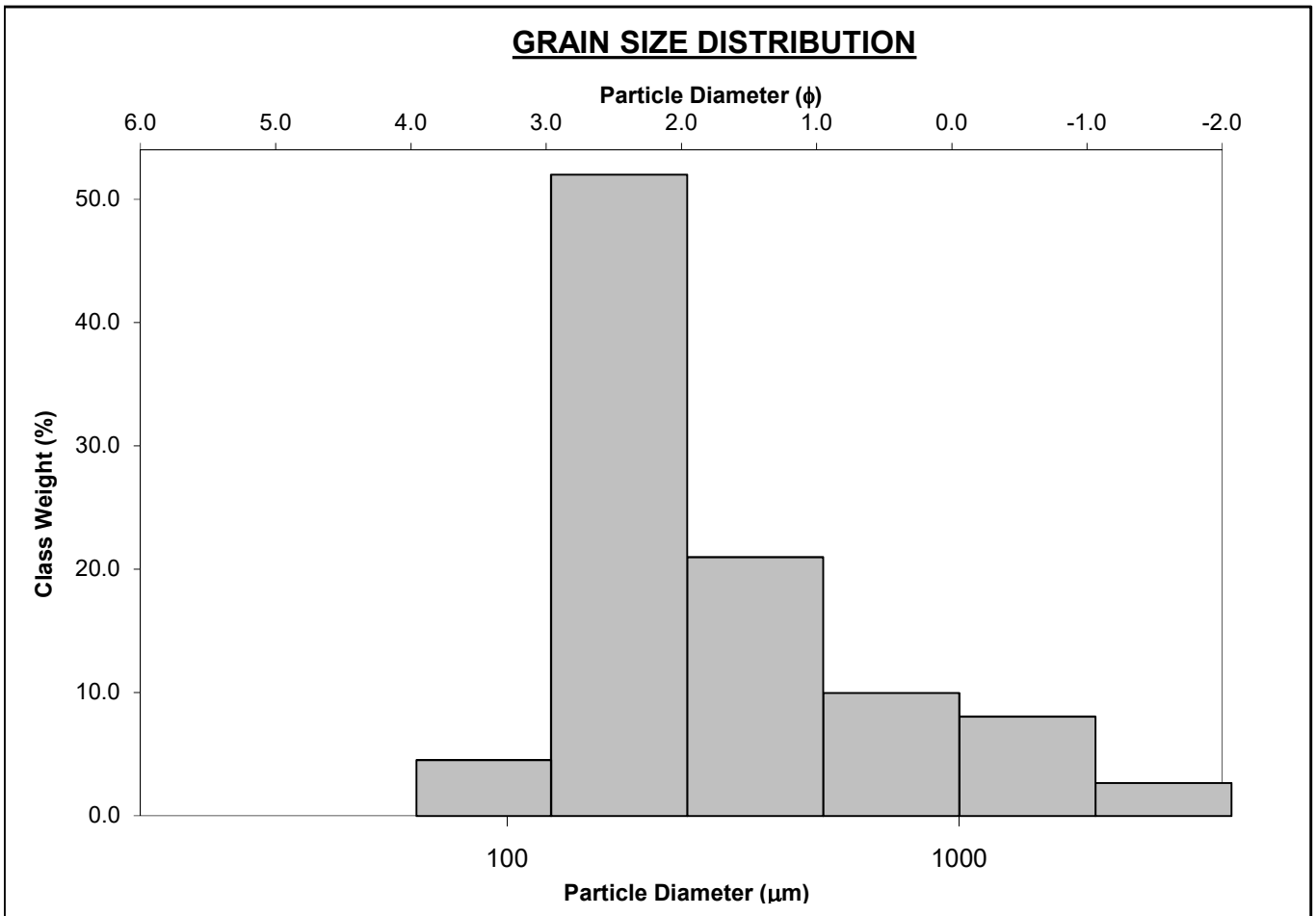
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Poorly Sorted

TEXTURAL GROUP: Slightly Gravelly Sand

SEDIMENT NAME: Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 3.2%	COARSE SAND: 10.1%		
MODE 2:			SAND: 96.8%	MEDIUM SAND: 21.3%		
MODE 3:			MUD: 0.0%	FINE SAND: 52.7%		
D ₁₀ :	134.3	-0.165		V FINE SAND: 4.6%		
MEDIAN or D ₅₀ :	227.2	2.138	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.0%		
D ₉₀ :	1121.4	2.897	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	8.350	-17.530	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	987.1	3.062	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	2.724	2.240	V FINE GRAVEL: 3.2%	V FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	282.0	1.446	V COARSE SAND: 8.2%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	463.1	285.3	1.765	288.5	1.793	Medium Sand
SORTING (σ):	566.1	2.408	1.150	2.222	1.152	Poorly Sorted
SKEWNESS (Sk):	2.891	-0.294	-1.110	0.496	-0.496	Very Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	11.96	10.16	3.499	1.068	1.068	Mesokurtic



SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **C14**

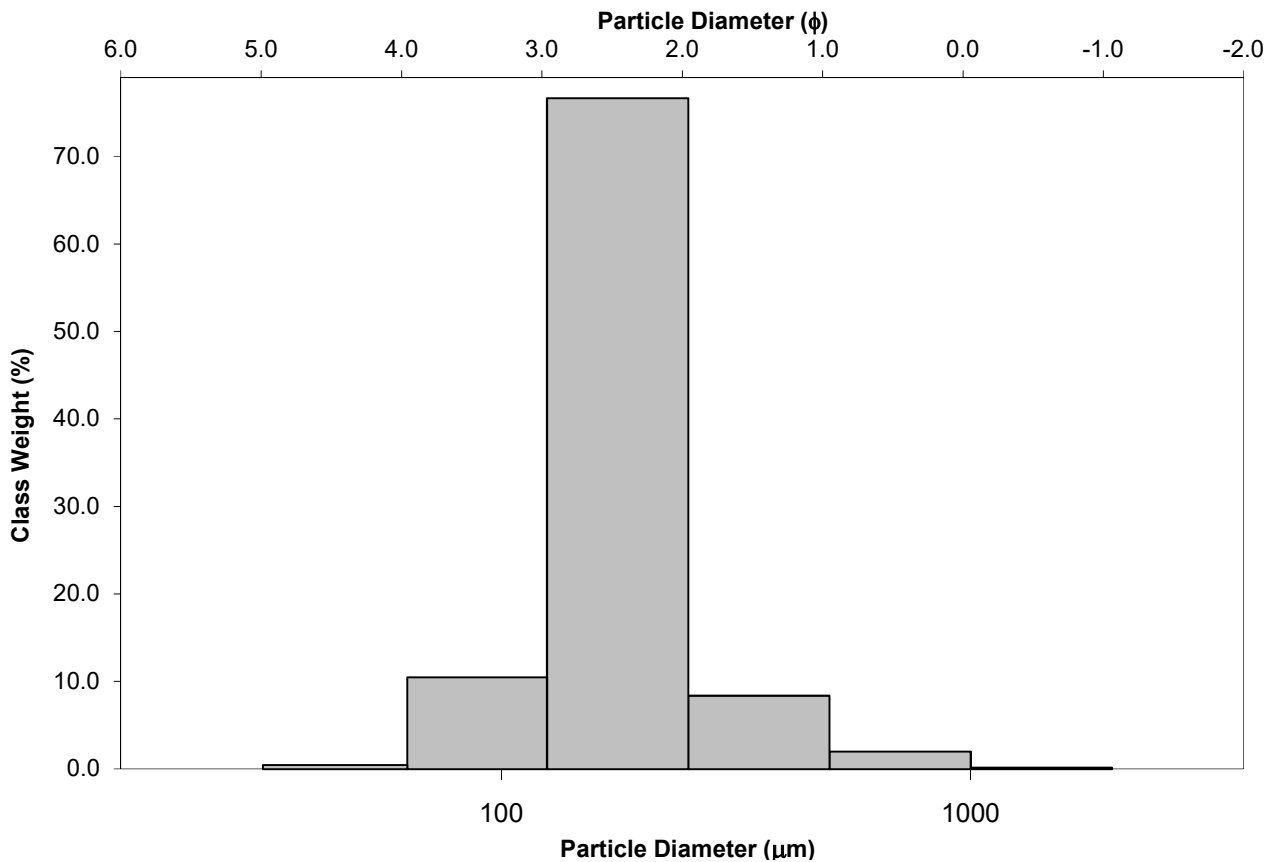
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Well Sorted

TEXTURAL GROUP: Sand

SEDIMENT NAME: Moderately Well Sorted Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.0%	COARSE SAND: 2.1%		
MODE 2:			SAND: 99.5%	MEDIUM SAND: 8.6%		
MODE 3:			MUD: 0.5%	FINE SAND: 78.1%		
D ₁₀ :	116.4	1.906		V FINE SAND: 10.6%		
MEDIAN or D ₅₀ :	176.5	2.502	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.5%		
D ₉₀ :	266.8	3.103	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	2.292	1.628	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	150.4	1.197	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	1.559	1.293	V FINE GRAVEL: 0.0%	V FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	78.99	0.640	V COARSE SAND: 0.2%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	206.9	178.8	2.483	176.5	2.502	Fine Sand
SORTING (σ):	115.3	1.470	0.556	1.472	0.558	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	4.852	0.804	-0.804	0.025	-0.025	Symmetrical
KURTOSIS (K):	39.25	7.715	7.715	1.439	1.439	Leptokurtic

GRAIN SIZE DISTRIBUTION

SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **C15**

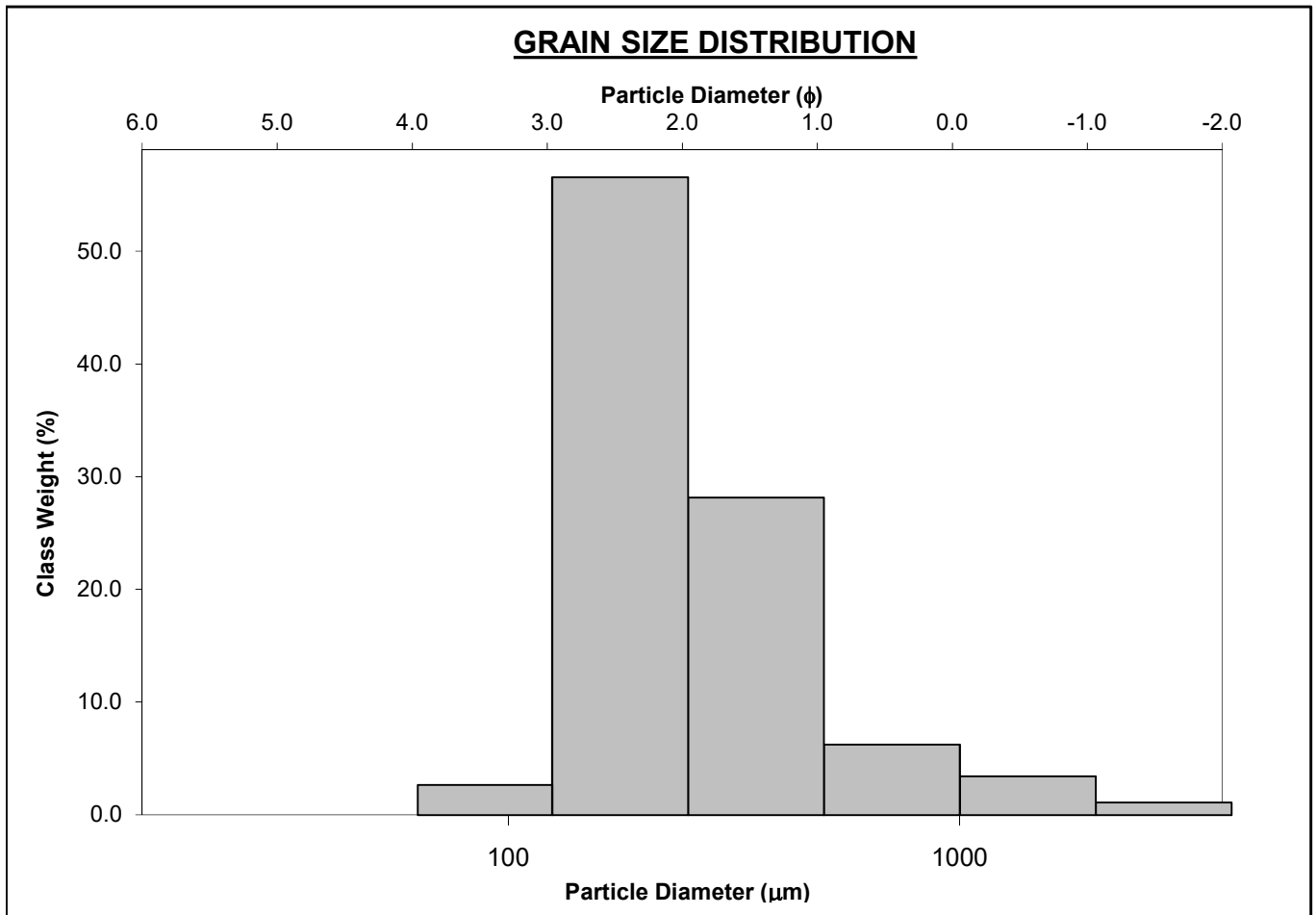
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Sorted

TEXTURAL GROUP: Slightly Gravelly Sand

SEDIMENT NAME: Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 1.2%	COARSE SAND: 6.4%		
MODE 2:			SAND: 98.8%	MEDIUM SAND: 28.7%		
MODE 3:			MUD: 0.0%	FINE SAND: 57.6%		
D ₁₀ :	136.5	0.833		V FINE SAND: 2.7%		
MEDIAN or D ₅₀ :	220.9	2.178	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.0%		
D ₉₀ :	561.3	2.873	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	4.112	3.448	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	424.8	2.040	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	2.183	1.758	V FINE GRAVEL: 1.2%	V FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	193.5	1.126	V COARSE SAND: 3.5%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	352.5	256.1	1.961	243.2	2.040	Fine Sand
SORTING (σ):	391.9	1.862	0.882	1.790	0.840	Moderately Sorted
SKEWNESS (Sk):	4.400	1.134	-1.510	0.362	-0.362	Very Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	26.34	8.096	5.658	1.059	1.059	Mesokurtic



SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **C16**

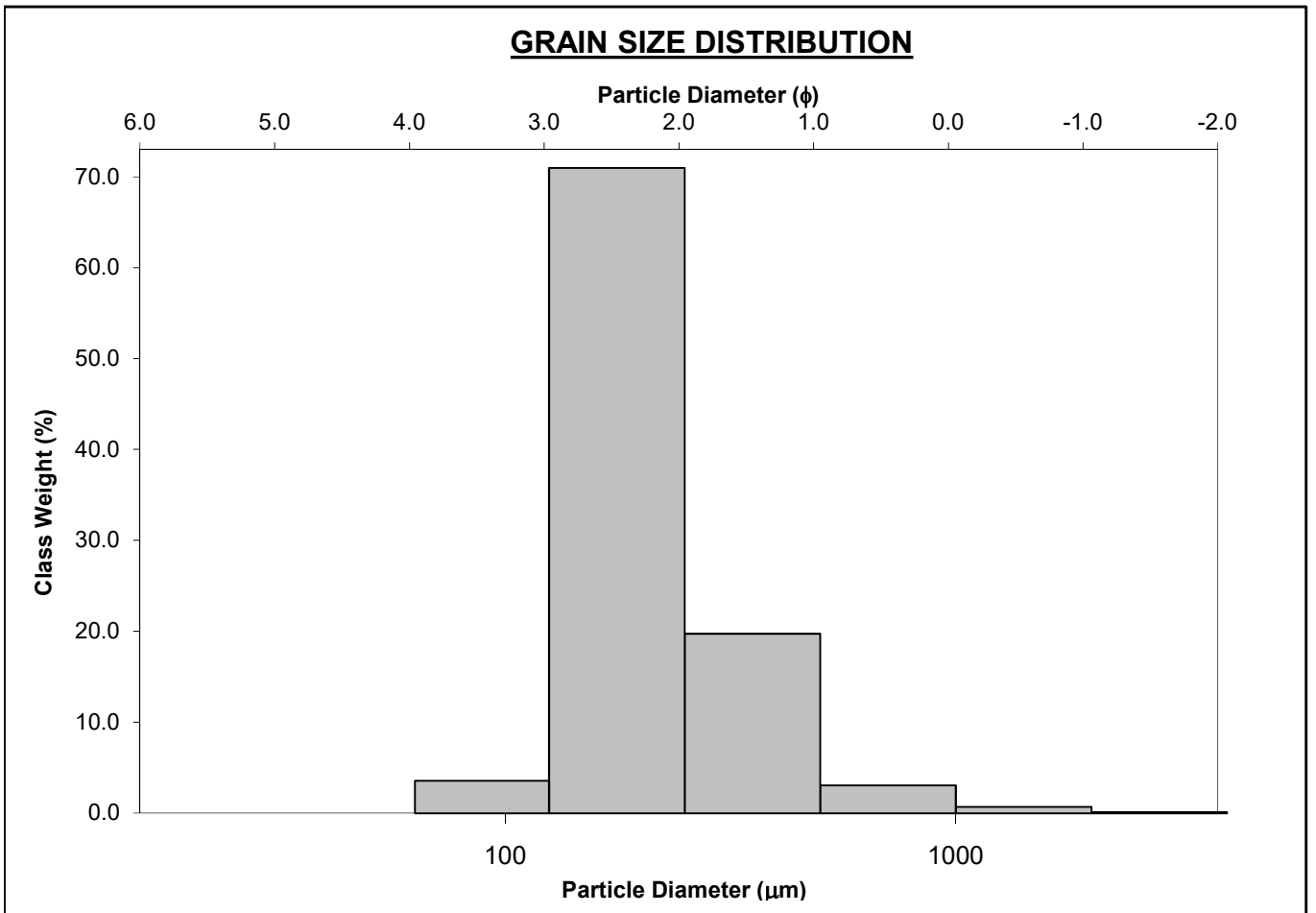
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Well Sorted

TEXTURAL GROUP: Slightly Gravelly Sand

SEDIMENT NAME: Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.1%	COARSE SAND: 3.1%		
MODE 2:			SAND: 99.9%	MEDIUM SAND: 20.1%		
MODE 3:			MUD: 0.0%	FINE SAND: 72.3%		
D ₁₀ :	132.9	1.298		V FINE SAND: 3.6%		
MEDIAN or D ₅₀ :	195.1	2.358	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.0%		
D ₉₀ :	406.7	2.912	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	3.060	2.243	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	273.7	1.613	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	1.615	1.344	V FINE GRAVEL: 0.1%	V FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	94.44	0.692	V COARSE SAND: 0.7%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	252.8	211.0	2.245	208.6	2.261	Fine Sand
SORTING (σ):	189.9	1.537	0.620	1.516	0.601	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	6.597	1.630	-1.630	0.296	-0.296	Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	72.22	7.575	7.575	1.144	1.144	Leptokurtic



SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **C17**

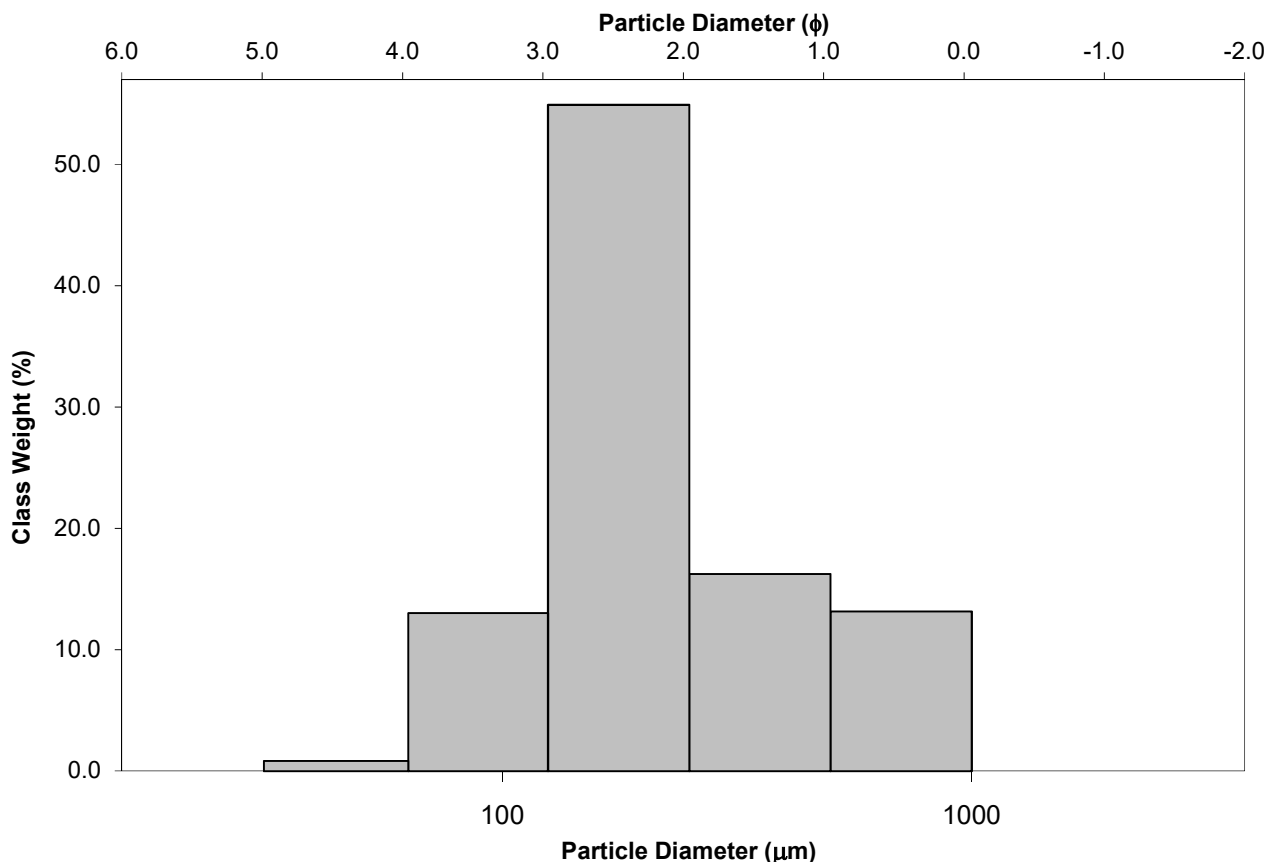
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Sorted

TEXTURAL GROUP: Sand

SEDIMENT NAME: Moderately Sorted Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.0%	COARSE SAND: 13.4%		
MODE 2:			SAND: 99.1%	MEDIUM SAND: 16.6%		
MODE 3:			MUD: 0.9%	FINE SAND: 56.0%		
D_{10} :	101.4	0.745		V FINE SAND: 13.1%		
MEDIAN or D_{50} :	195.2	2.357	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.9%		
D_{90} :	596.8	3.302	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D_{90} / D_{10}) :	5.886	4.434	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
$(D_{90} - D_{10})$:	495.4	2.557	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D_{75} / D_{25}) :	2.152	1.651	V FINE GRAVEL: 0.0%	V FINE SILT: 0.0%		
$(D_{75} - D_{25})$:	165.0	1.106	V COARSE SAND: 0.0%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	280.6	215.6	2.214	223.9	2.159	Fine Sand
SORTING (σ):	202.4	1.849	0.887	1.936	0.953	Moderately Sorted
SKEWNESS (Sk):	1.521	0.491	-0.491	0.265	-0.265	Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	4.028	2.912	2.912	1.225	1.225	Leptokurtic

GRAIN SIZE DISTRIBUTION

SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **C18**

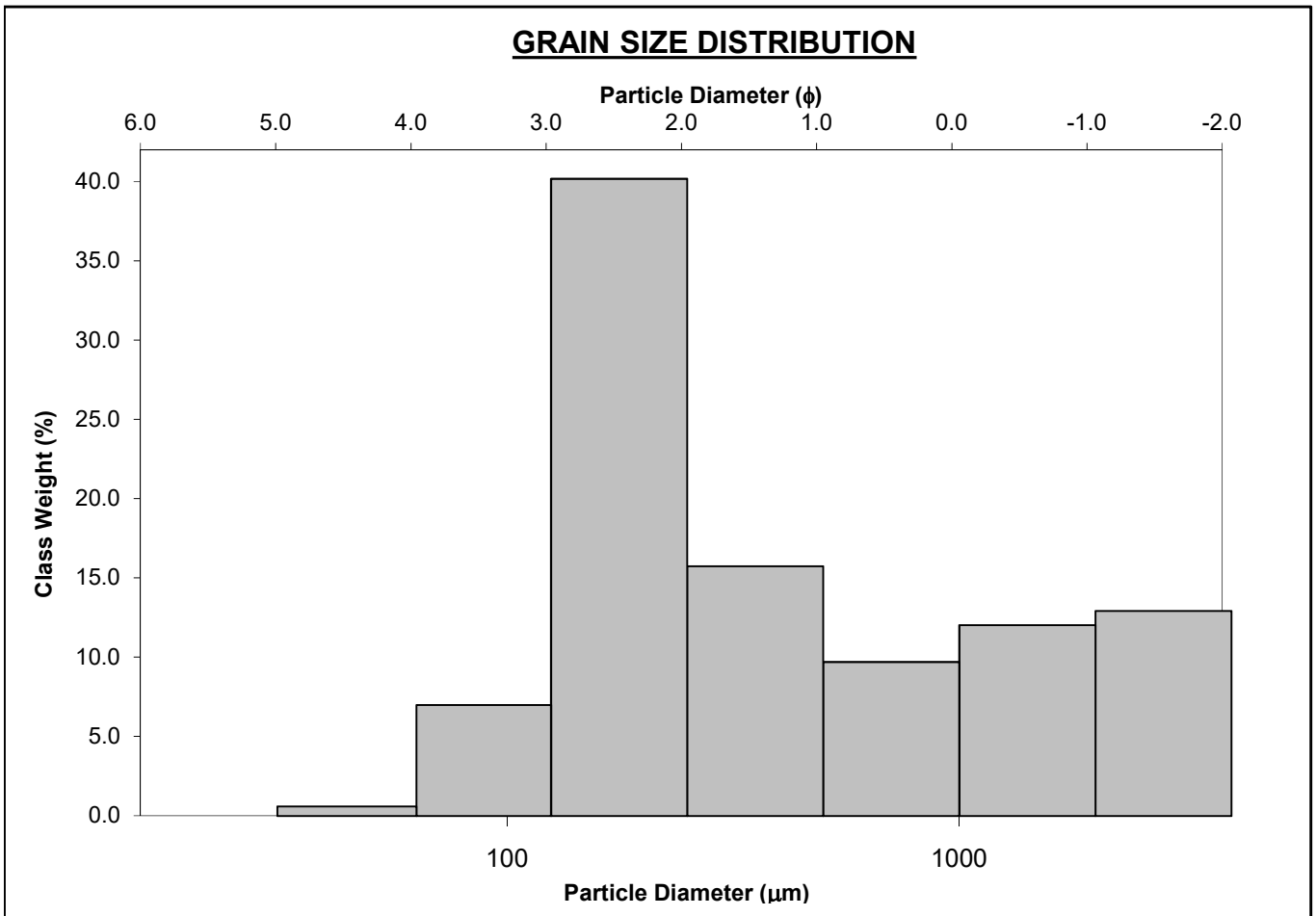
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Bimodal, Poorly Sorted

TEXTURAL GROUP: Gravelly Sand

SEDIMENT NAME: Very Fine Gravelly Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 20.3%	COARSE SAND: 9.1%		
MODE 2:	3000.0	-1.500	SAND: 79.2%	MEDIUM SAND: 14.7%		
MODE 3:			MUD: 0.6%	FINE SAND: 37.6%		
D ₁₀ :	132.0	-1.848		V FINE SAND: 6.5%		
MEDIAN or D ₅₀ :	321.5	1.637	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.6%		
D ₉₀ :	3599.0	2.922	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	27.27	-1.581	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	3467.0	4.769	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	8.583	-4.359	V FINE GRAVEL: 20.3%	V FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	1319.6	3.102	V COARSE SAND: 11.3%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	732.2	244.2	1.221	494.5	1.016	Medium Sand
SORTING (σ):	944.4	6.996	1.556	3.286	1.716	Poorly Sorted
SKEWNESS (S_k):	1.596	-1.516	-0.381	0.357	-0.357	Very Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	4.161	5.599	1.916	0.600	0.600	Very Platykurtic



SIEVING ERROR: 0.0%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **C19**

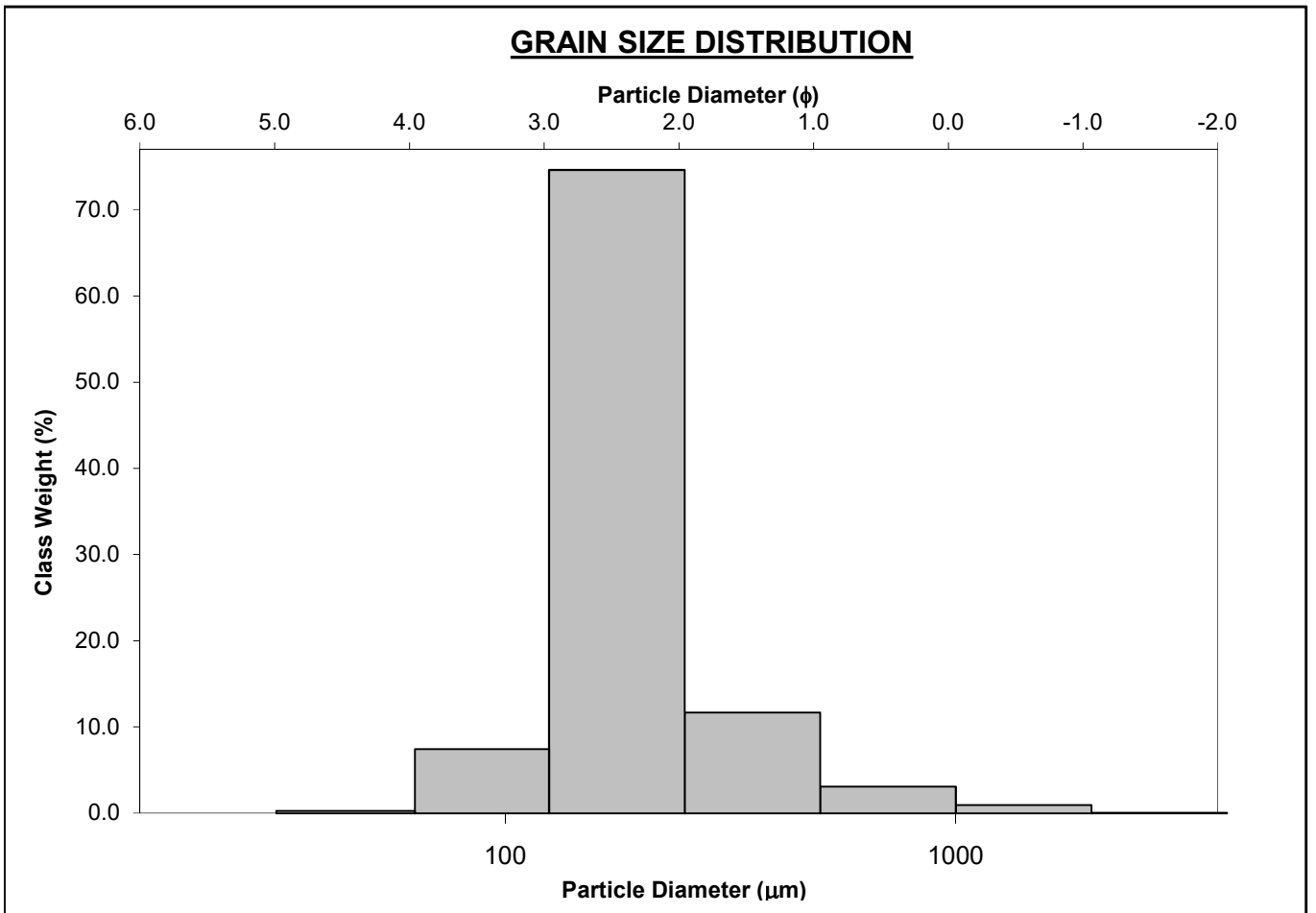
ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022

SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Well Sorted

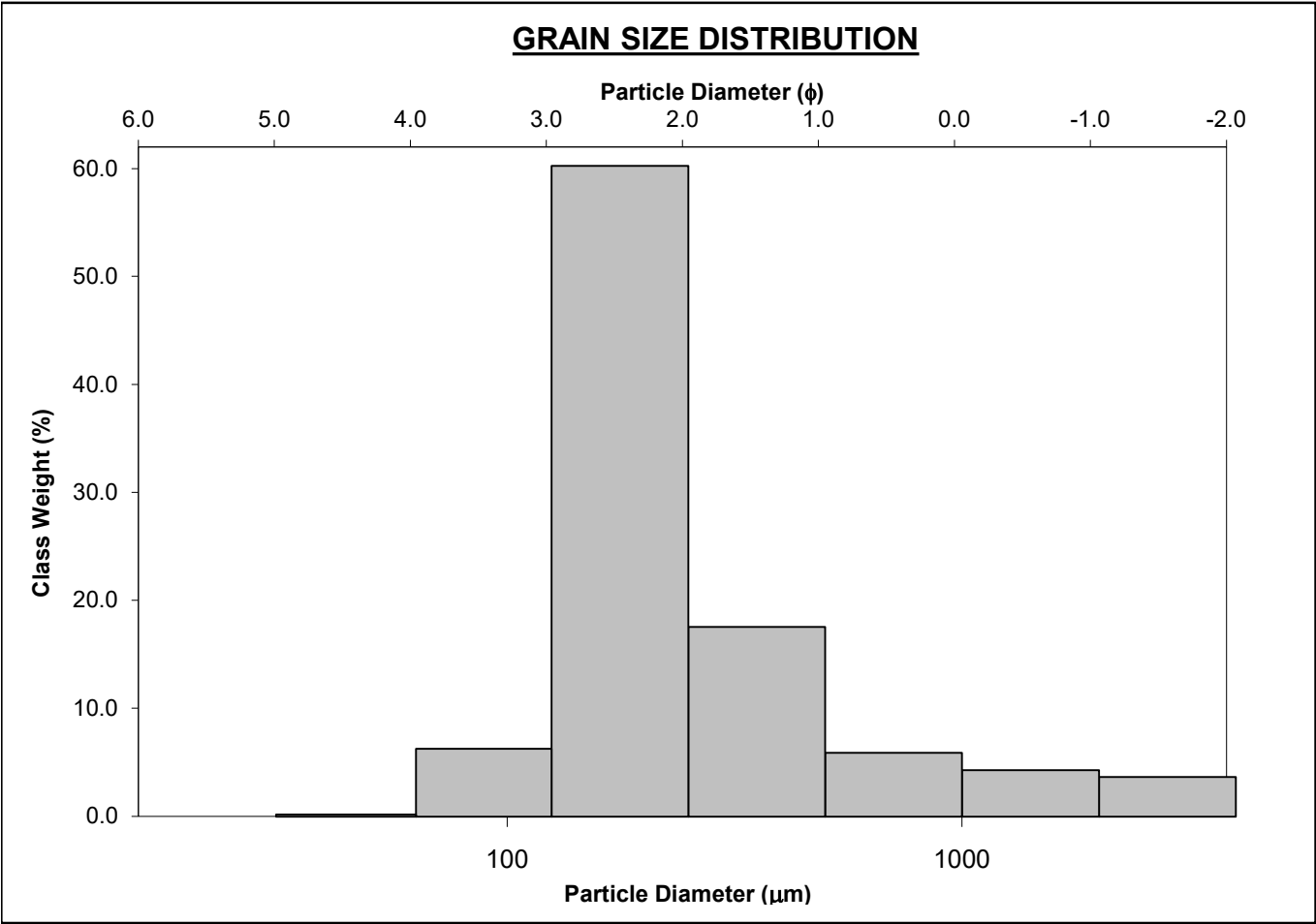
TEXTURAL GROUP: Slightly Gravelly Sand

SEDIMENT NAME: Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 0.1%	COARSE SAND: 3.2%		
MODE 2:			SAND: 99.6%	MEDIUM SAND: 11.9%		
MODE 3:			MUD: 0.3%	FINE SAND: 76.0%		
D ₁₀ :	127.5	1.485		V FINE SAND: 7.5%		
MEDIAN or D ₅₀ :	183.6	2.445	V COARSE GRAVEL: 0.0%	V COARSE SILT: 0.3%		
D ₉₀ :	357.3	2.972	COARSE GRAVEL: 0.0%	COARSE SILT: 0.0%		
(D ₉₀ / D ₁₀):	2.803	2.001	MEDIUM GRAVEL: 0.0%	MEDIUM SILT: 0.0%		
(D ₉₀ - D ₁₀):	229.8	1.487	FINE GRAVEL: 0.0%	FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ / D ₂₅):	1.578	1.311	V FINE GRAVEL: 0.1%	V FINE SILT: 0.0%		
(D ₇₅ - D ₂₅):	84.43	0.658	V COARSE SAND: 1.0%	CLAY: 0.0%		
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	234.8	193.9	2.367	184.0	2.442	Fine Sand
SORTING (σ):	185.5	1.562	0.643	1.491	0.576	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	5.807	1.540	-1.540	0.103	-0.103	Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	53.22	8.410	8.410	1.438	1.438	Leptokurtic



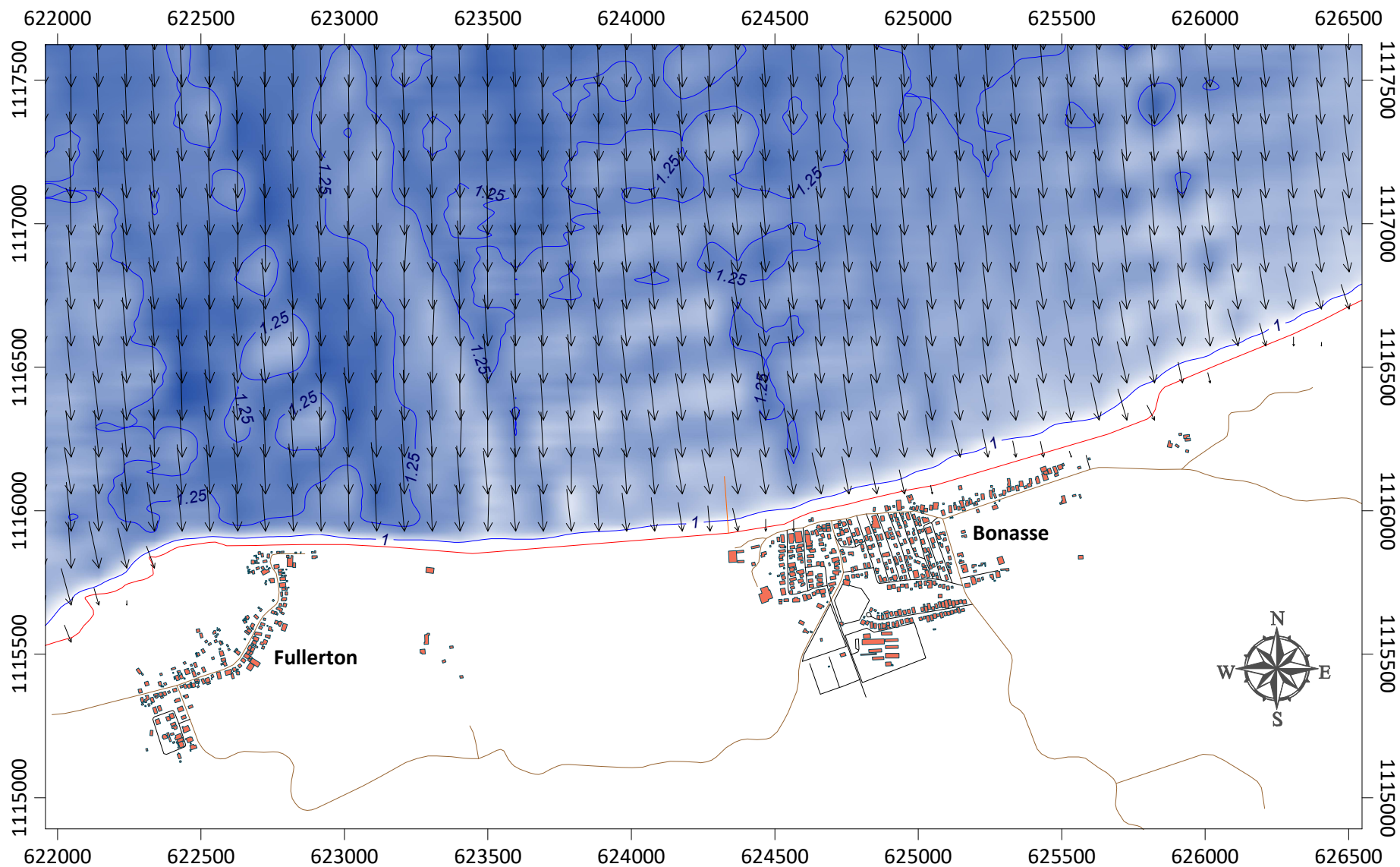
SIEVING ERROR: 0.0%			<u>SAMPLE STATISTICS</u>			
SAMPLE IDENTITY: Tipo			ANALYST & DATE: Miguel, Jun 8th 2022			
SAMPLE TYPE: Unimodal, Poorly Sorted			TEXTURAL GROUP: Gravelly Sand			
SEDIMENT NAME: Very Fine Gravelly Fine Sand						
	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187.5	2.500	GRAVEL: 6.5%		COARSE SAND: 5.9%	
MODE 2:			SAND: 93.3%		MEDIUM SAND: 17.4%	
MODE 3:			MUD: 0.2%		FINE SAND: 59.6%	
D ₁₀ :	130.4	-0.177			V FINE SAND: 6.2%	
MEDIAN or D ₅₀ :	207.6	2.268	V COARSE GRAVEL: 0.0%		V COARSE SILT: 0.2%	
D ₉₀ :	1130.7	2.939	COARSE GRAVEL: 0.0%		COARSE SILT: 0.0%	
(D ₉₀ / D ₁₀):	8.672	-16.584	MEDIUM GRAVEL: 0.0%		MEDIUM SILT: 0.0%	
(D ₉₀ - D ₁₀):	1000.3	3.116	FINE GRAVEL: 0.0%		FINE SILT: 0.0%	
(D ₇₅ / D ₂₅):	2.307	1.814	V FINE GRAVEL: 6.5%		V FINE SILT: 0.0%	
(D ₇₅ - D ₂₅):	202.9	1.206	V COARSE SAND: 4.3%		CLAY: 0.0%	
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN ($\bar{x}$):	400.3	215.8	1.929	250.0	2.000	Medium Sand
SORTING (σ):	585.4	3.286	1.139	2.277	1.187	Poorly Sorted
SKEWNESS (Sk):	3.438	-2.044	-1.412	0.501	-0.501	Very Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	14.72	12.98	4.572	1.572	1.572	Very Leptokurtic



ANEXO 3

Resultados de las modelaciones matemáticas

Graph: Isolines and significant wave height vectors. Usual swell, north direction.



Frequency spectrum (TMA)

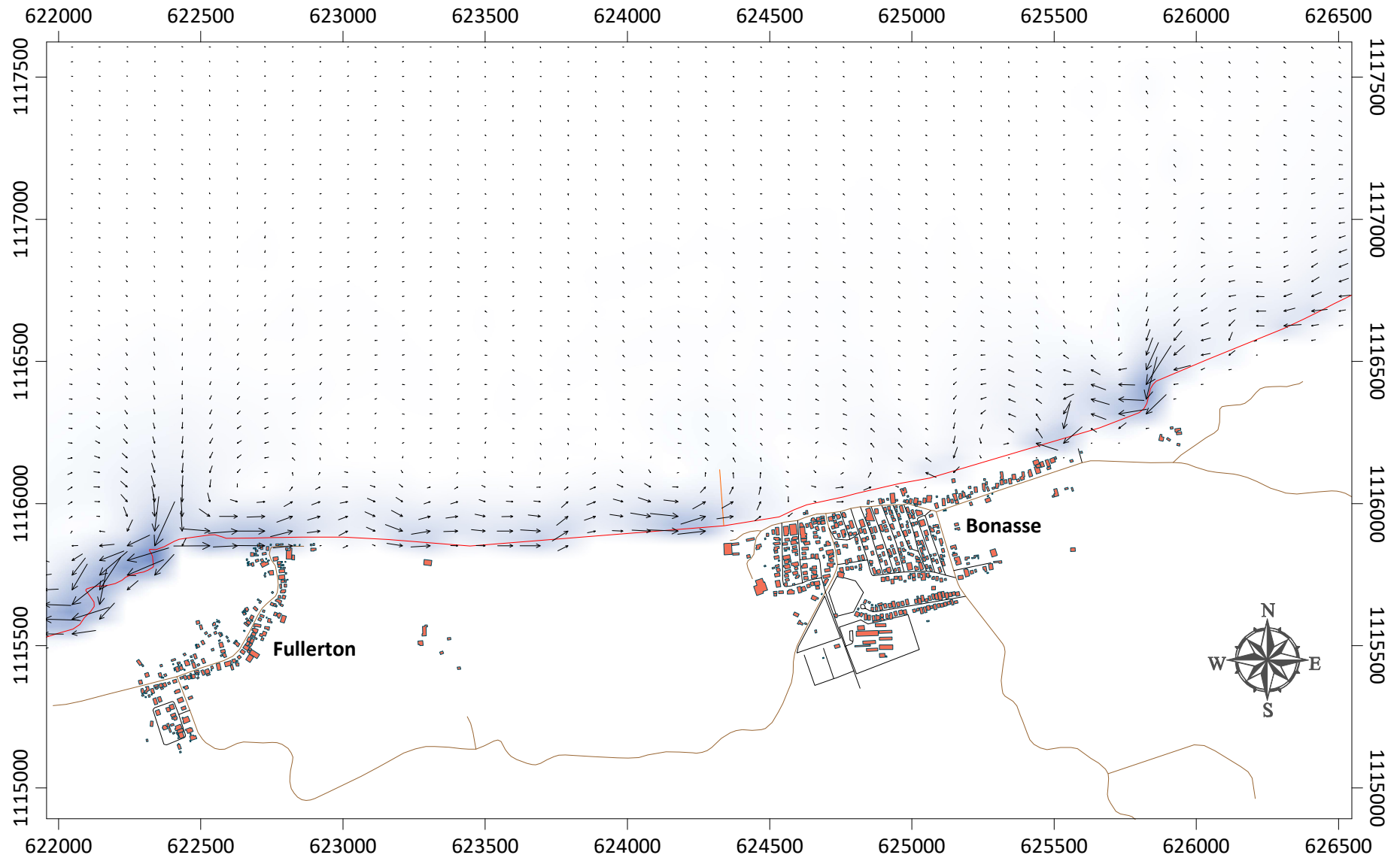
H_s : 1.2 m
 h : 15 m
 f_p : 0.166667 Hz (T_p : 6 s)
 γ : 3.3
 N° Comp.: 10
Directional spectrum
 θ_m : 0° (N)
 σ : 20° - N° Comp.: 15

1 cm = 1.460 m
 0 → 1.46

Significant wave height (m)

0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4

Graph: Vectors and magnitude of breaking currents. Usual swell, north direction.



Frequency spectrum (TMA)

Hs: 1.2 m
 h: 15 m
 fp: 0.166667 Hz (Tp: 6 s)
 γ: 3.3
 N° Comp.: 10
Directional spectrum
 θm: 0° (N)
 σ: 20° - N° Comp.: 15

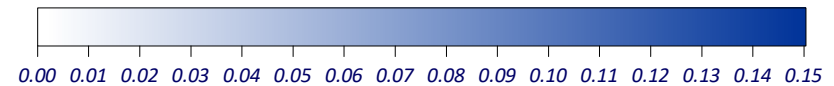
Roughness of

Nikuradse
 Kswc: 1 m
 Viscosity of
 swirl
 ε: 25 m²/s

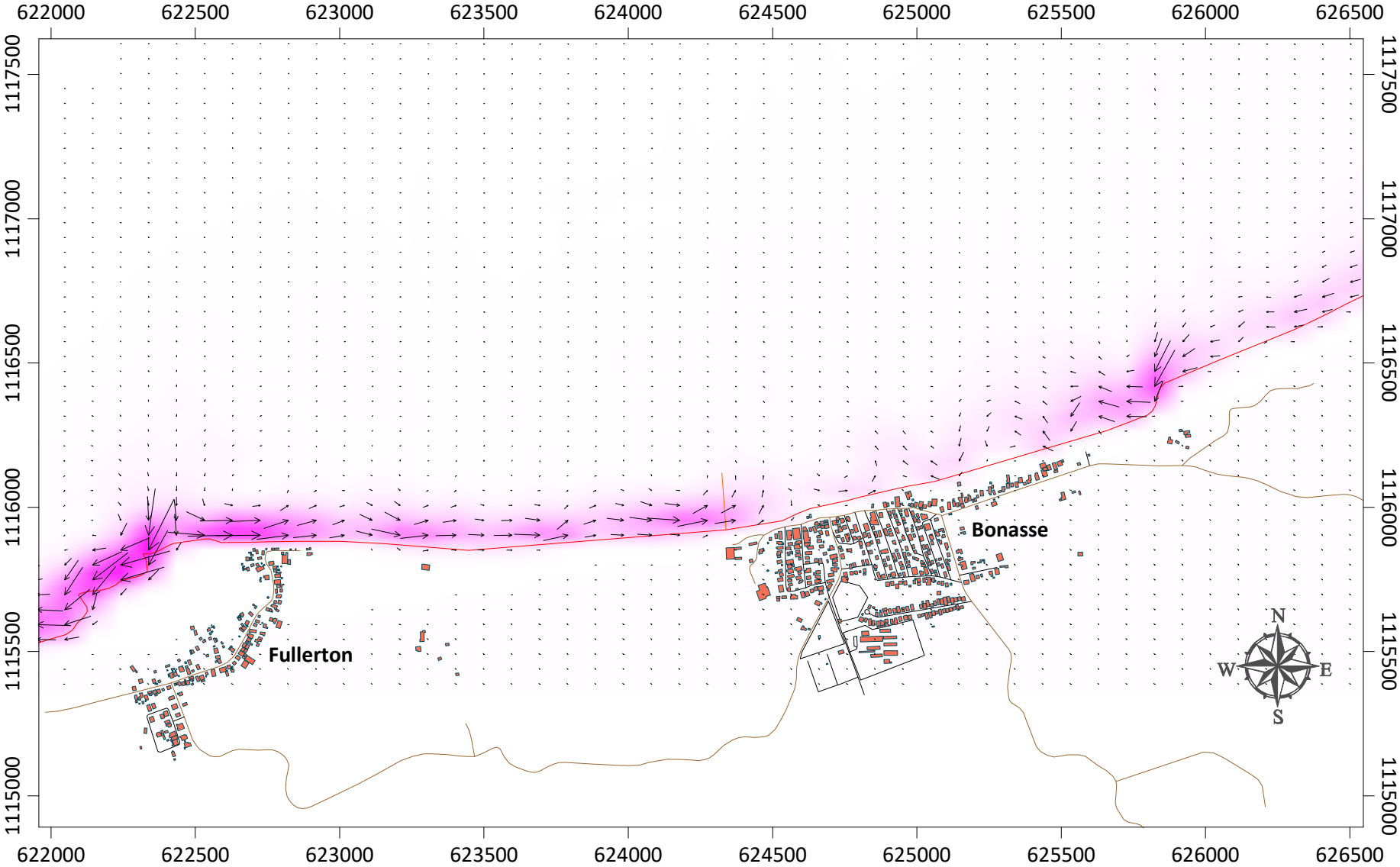
1 cm = 0.08 m/s

0 0.08

Velocity of breaking currents (m/s)



Graph: Vectors and magnitude of sediment transport. Usual swell, north direction.



Frequency spectrum (TMA)

Hs: 1.2 m
h: 15 m
fp: 0.166667 Hz (Tp: 6 s)
 γ : 3.3
N° Comp.: 10
Directional spectrum
 θ_m : 0° (N)
 σ : 20° - N° Comp.: 15

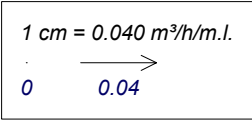
Roughness of Nikuradse

Kswc: 1 m
Viscosity of swirl
 ν : 25 m²/s

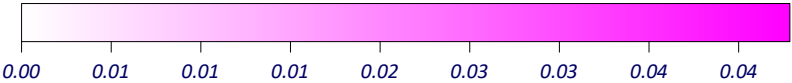
D50: 0.20 mm

Duration: 24.0 h

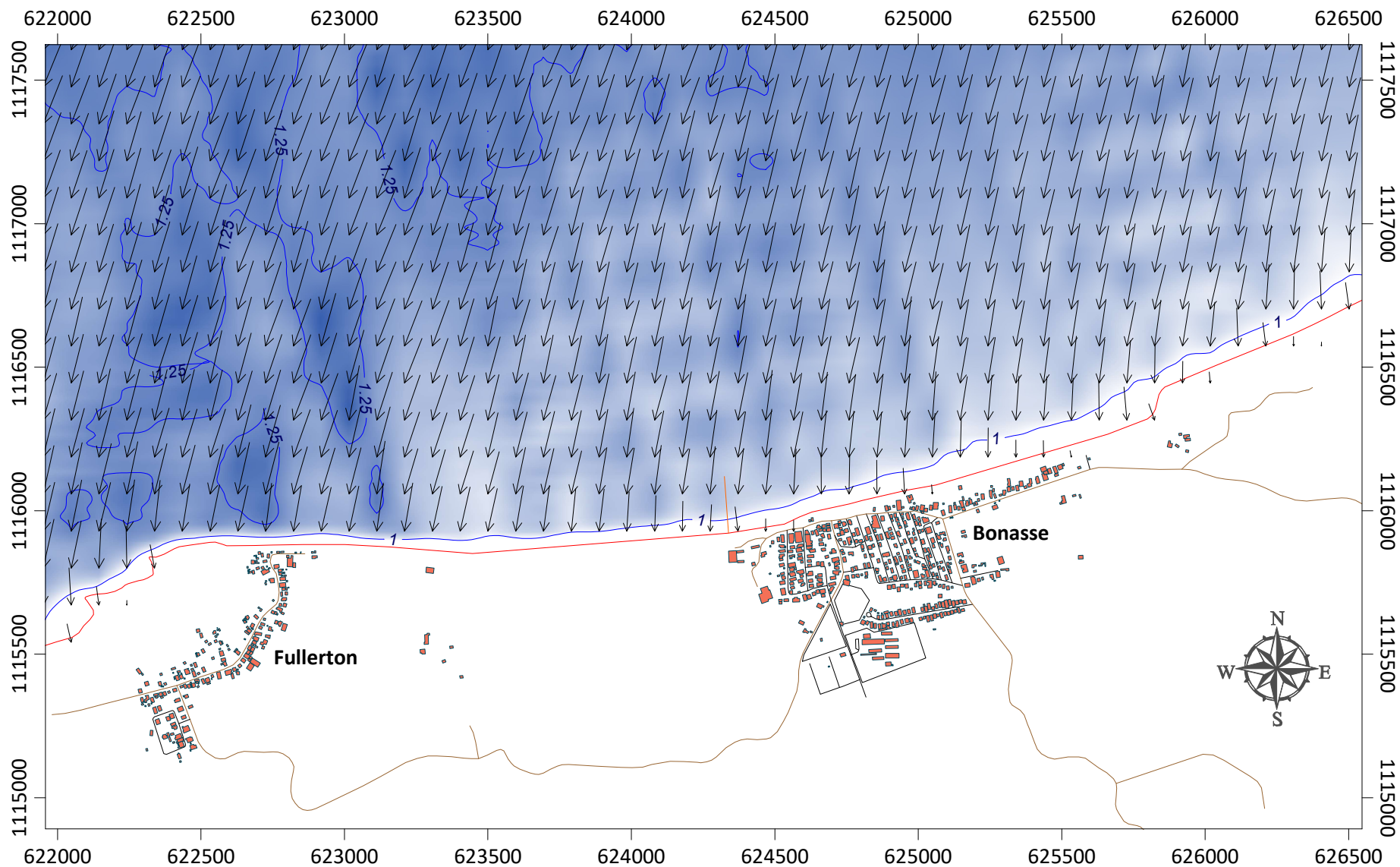
Formulation:
Soulsby



Potential transport (m³/hour/m.l.)

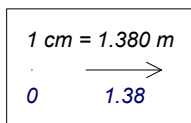


Graph: Isolines and significant wave height vectors. Usual swell, north northeast direction.

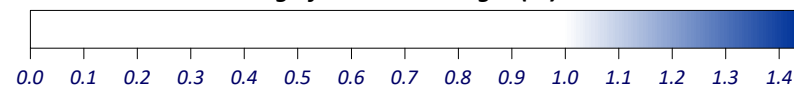


Frequency spectrum (TMA)

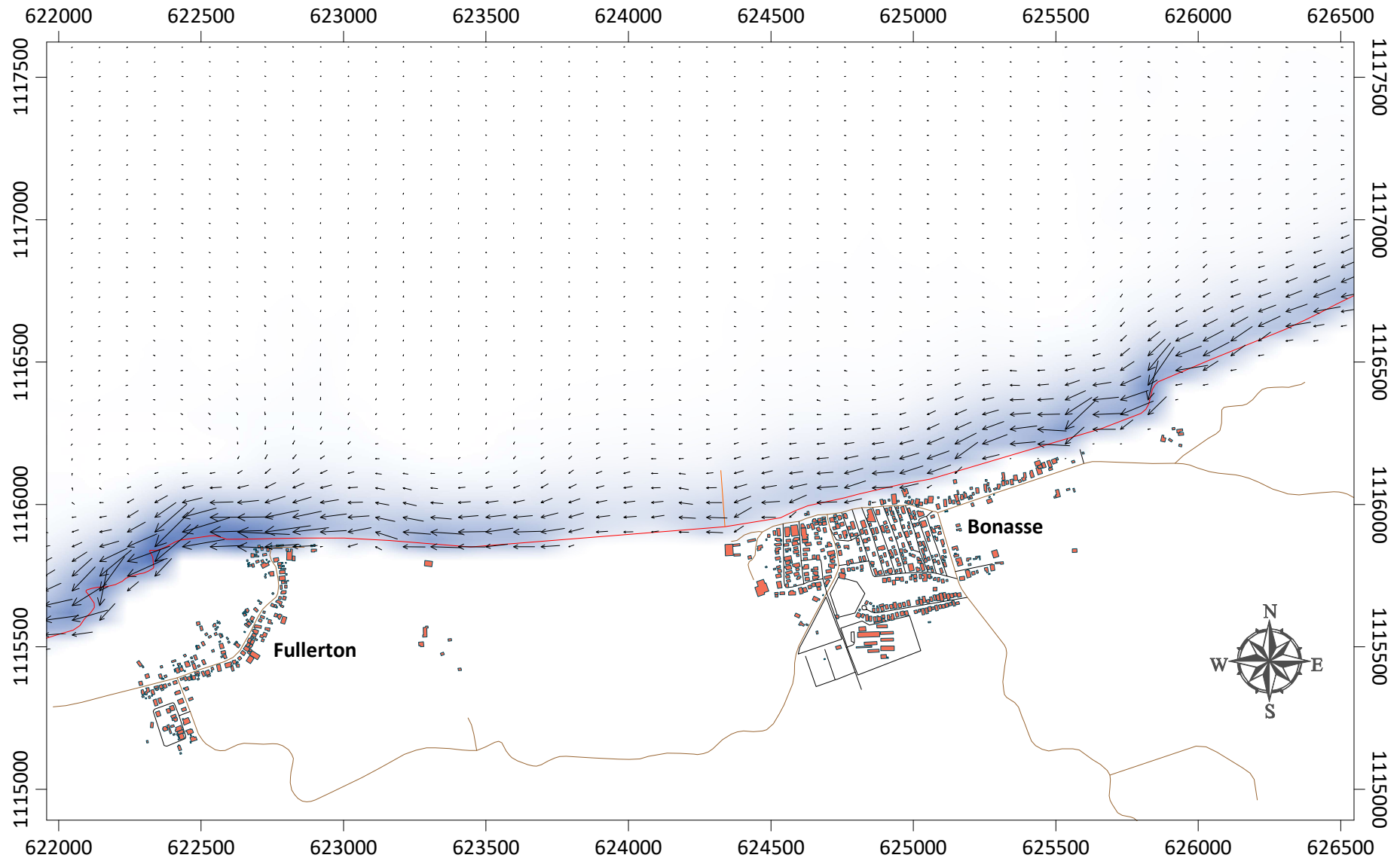
Hs: 1.2 m
h: 15 m
f_p: 0.166667 Hz (*T_p*: 6 s)
γ: 3.3
N° Comp.: 10
Directional spectrum
θ_m: -22.5° (N22.5E)
σ: 20° - *N° Comp.*: 15



Significant wave height (m)



Graph: Vectors and magnitude of breaking currents. Usual swell, north northeast direction.



Frequency spectrum (TMA)

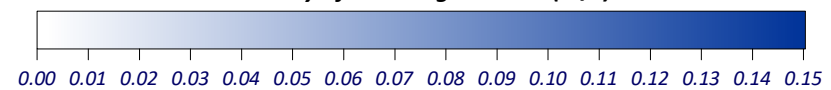
Hs: 1.2 m
h: 15 m
fp: 0.166667 Hz (Tp: 6 s)
 γ : 3.3
N° Comp.: 10
Directional spectrum
 θ_m : -22.5° (N22.5E)
 σ : 20° - N° Comp.: 15

Roughness of
Nikuradse
Kswc: 1 m

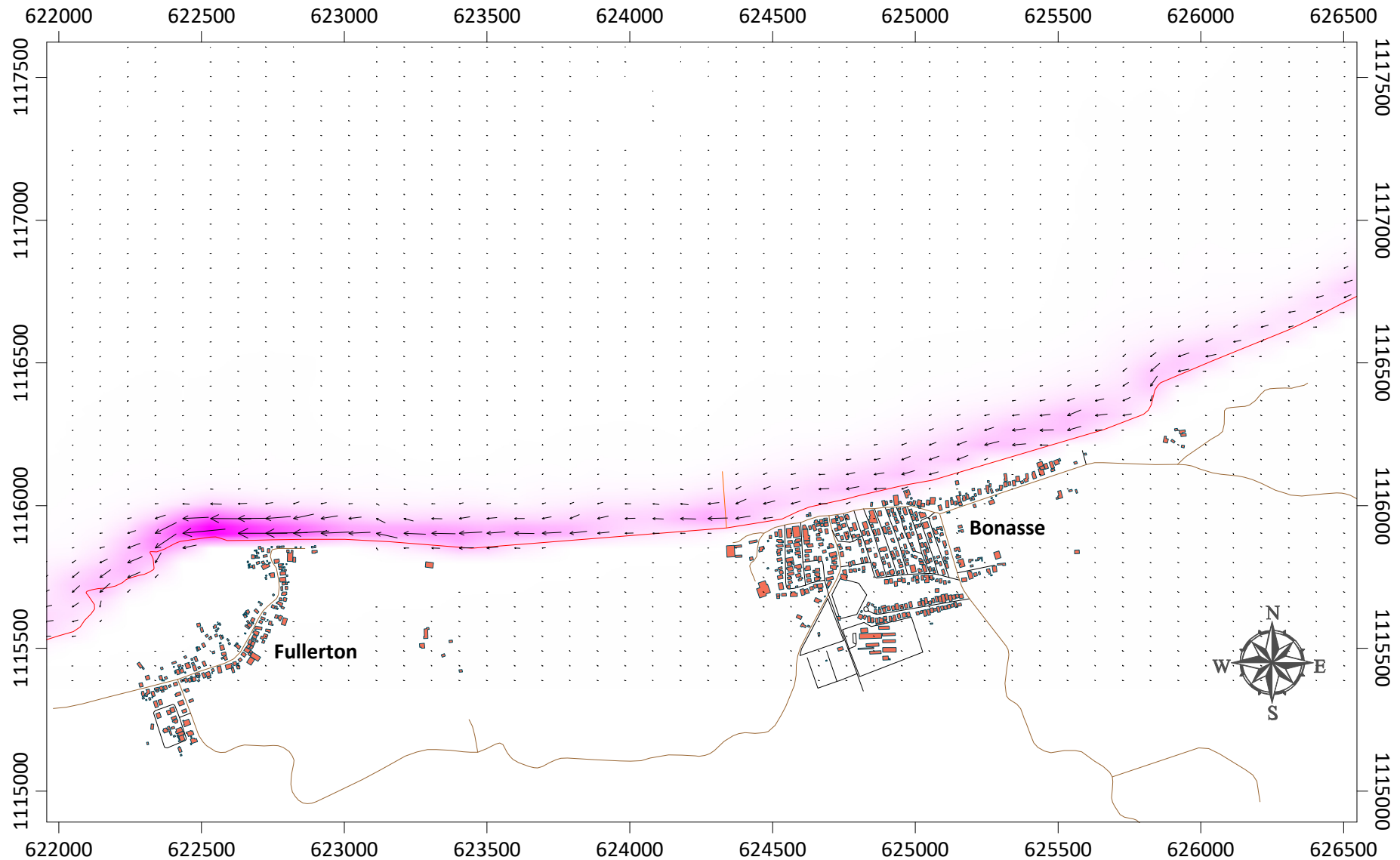
Viscosity of
swirl
 ϵ : 25 m²/s

1 cm = 0.10 m/s
0 0.1

Velocity of breaking currents (m/s)



Graph: Vectors and magnitude of sediment transport. Usual swell, northeast direction.



Frequency spectrum (TMA)

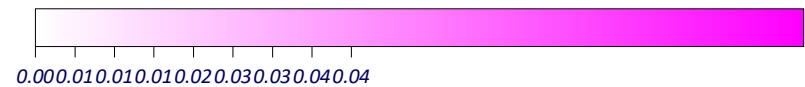
Hs: 1.2 m
h: 15 m
fp: 0.166667 Hz (Tp: 6 s)
γ: 3.3
N° Comp.: 10
Directional spectrum
θm: -45° (N45.0E)
σ: 20° - N° Comp.: 15

Roughness of
Nikuradse
Kswc: 1 m
Viscosity of
swirl
ν: 25 m²/s

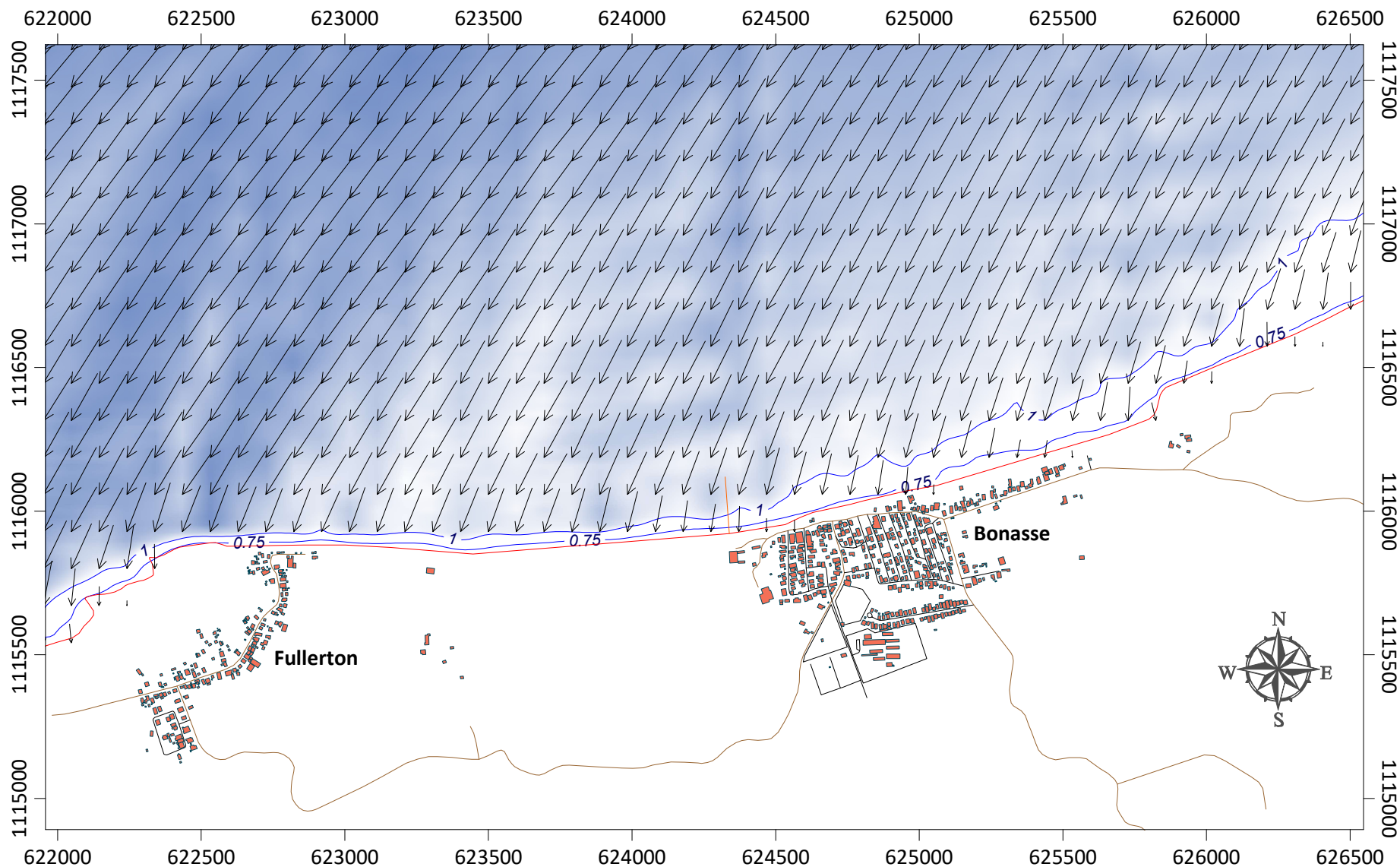
D₅₀: 0.20 mm
Duration: 24.0 h
Formulation:
Soulsby

1 cm = 0.097 m³/h/m.l.
0 → 0.097

Potential transport (m³/hour/m.l.)



Graph: Isolines and significant wave height vectors. Usual swell, northeast direction.



Frequency spectrum (TMA)

Hs: 1.2 m
h: 15 m
f_p: 0.166667 Hz (Tp: 6 s)
γ: 3.3
N° Comp.: 10
Directional spectrum
θ_m: -45° (N45E)
σ: 20° - *N° Comp.*: 15

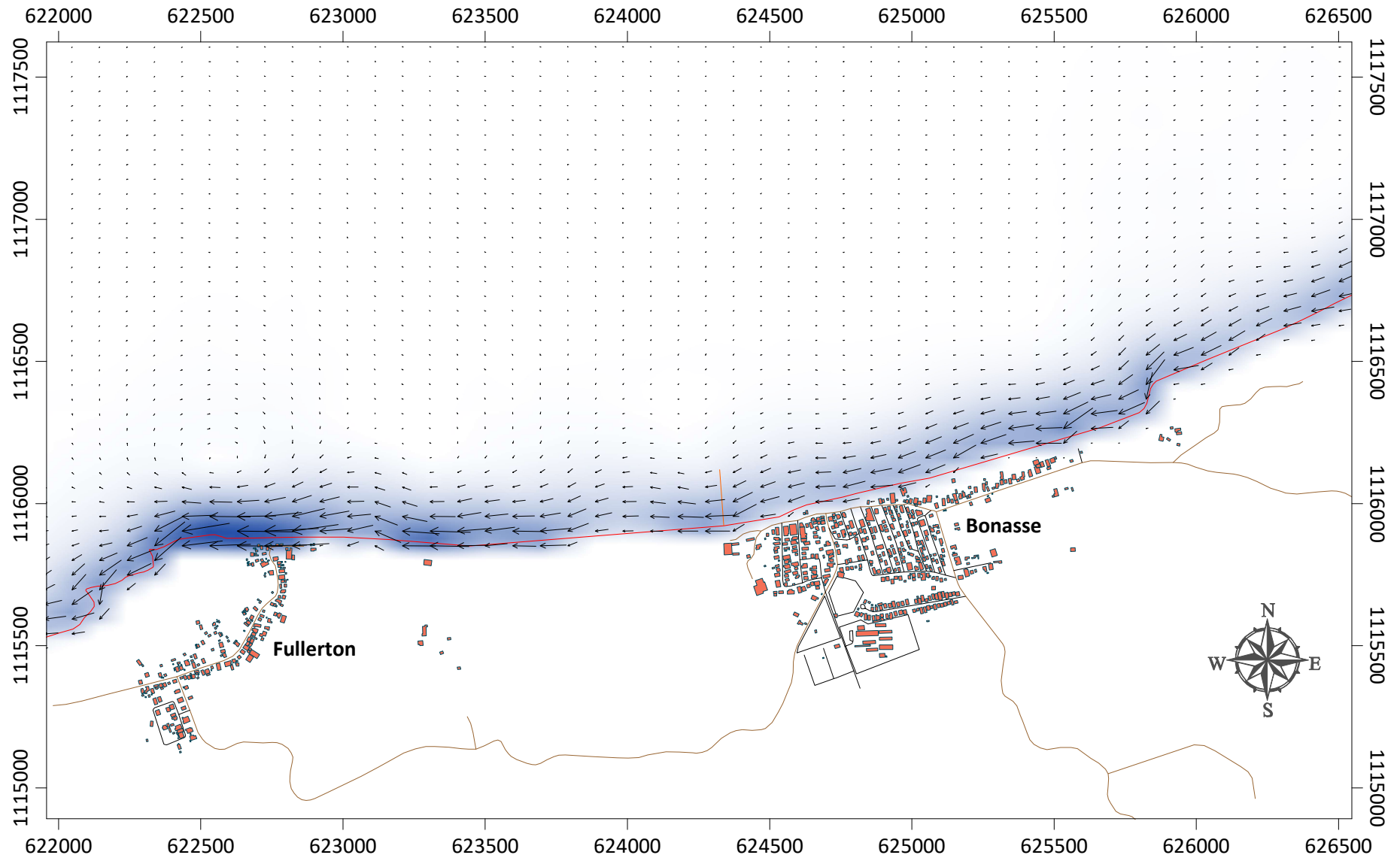
1 cm = 1.290 m

0 1.29

Significant wave height (m)

0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4

Graph: Vectors and magnitude of breaking currents. Usual swell, northeast direction.



Frequency spectrum (TMA)

Hs: 1.2 m
 h: 15 m
 fp: 0.166667 Hz (Tp: 6 s)
 γ: 3.3
 N° Comp.: 10
Directional spectrum
 θm: -45° (N45.0E)
 σ: 20° - N° Comp.: 15

Roughness of
 Nikuradse
 Kswc: 1 m

Viscosity of
 swirl
 ε: 25 m²/s

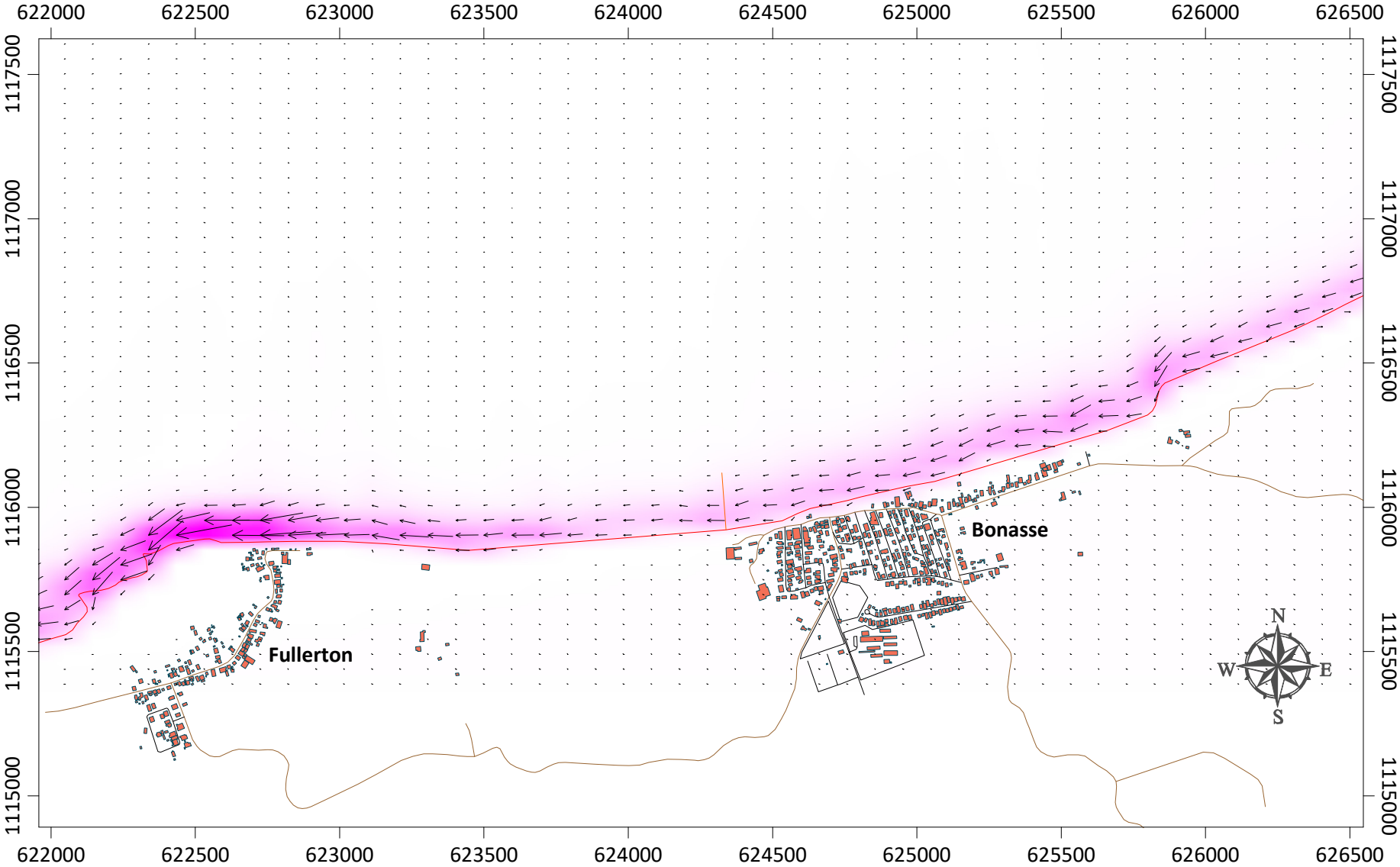
1 cm = 0.130 m/s

0 0.13

Velocity of breaking currents (m/s)

0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.10 0.11 0.12 0.13 0.14 0.15

Graph: Vectors and magnitude of sediment transport. Usual swell, north northeast direction.

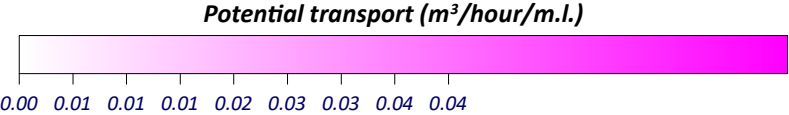
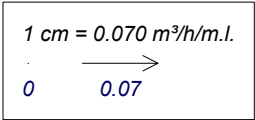


Frequency spectrum (TMA)

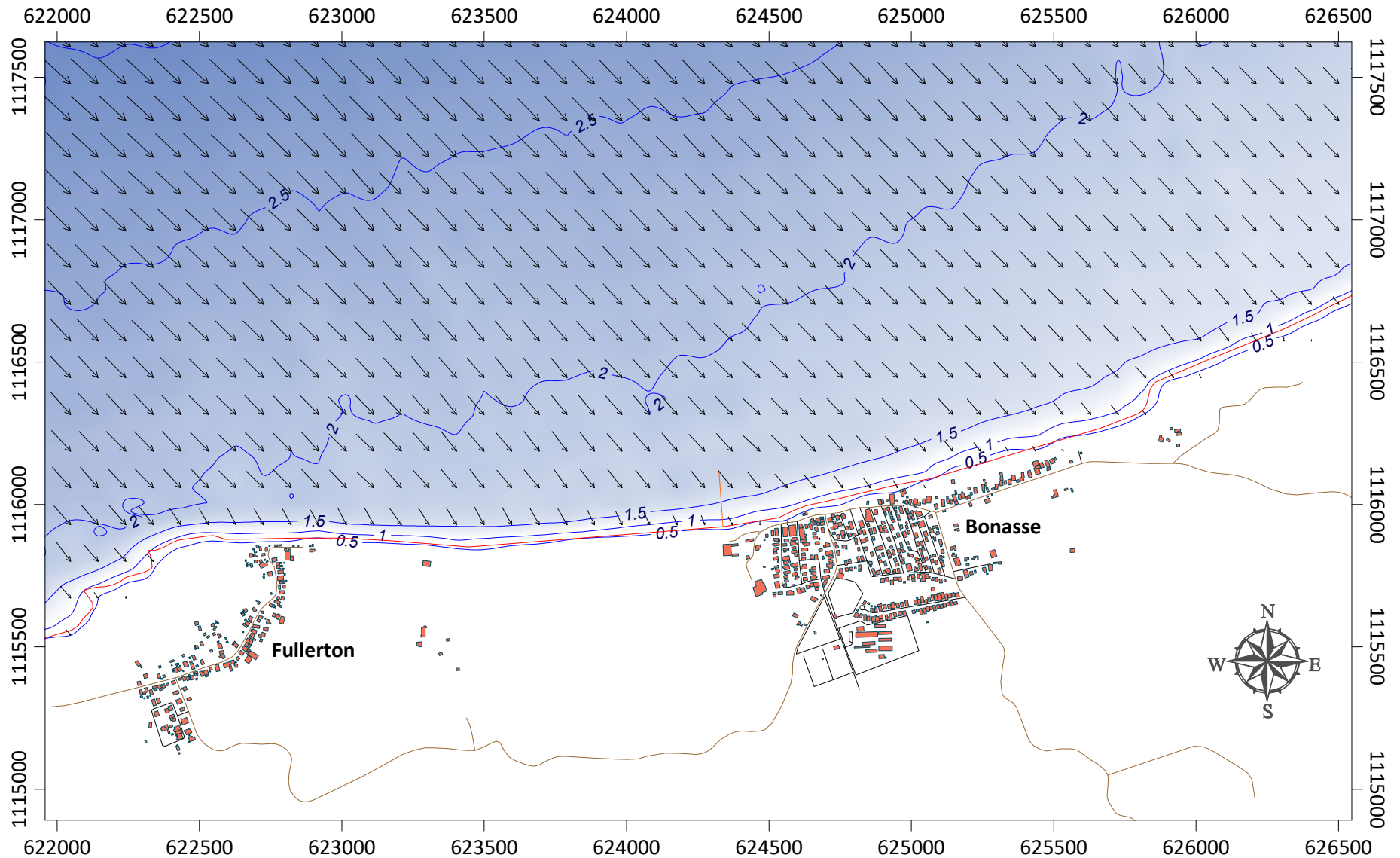
Hs: 1.2 m
h: 15 m
fp: 0.166667 Hz (Tp: 6 s)
 γ : 3.3
N° Comp.: 10
Directional spectrum
 θ_m : -22.5° (N22.5E)
 σ : 20° - N° Comp.: 15

Roughness of
Nikuradse
Kswc: 1 m
Viscosity of
swirl
 ν : 25 m²/s

D₅₀: 0.20 mm
Duration: 24.0 h
Formulation:
Soulsby

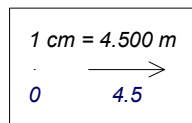


Graph: Isolines and significant wave height vectors. Tropical Depression swell, northwest direction.

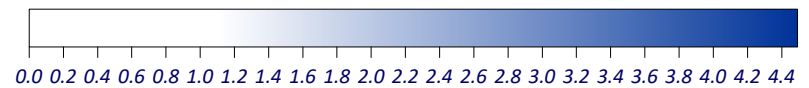


Frequency spectrum (TMA)

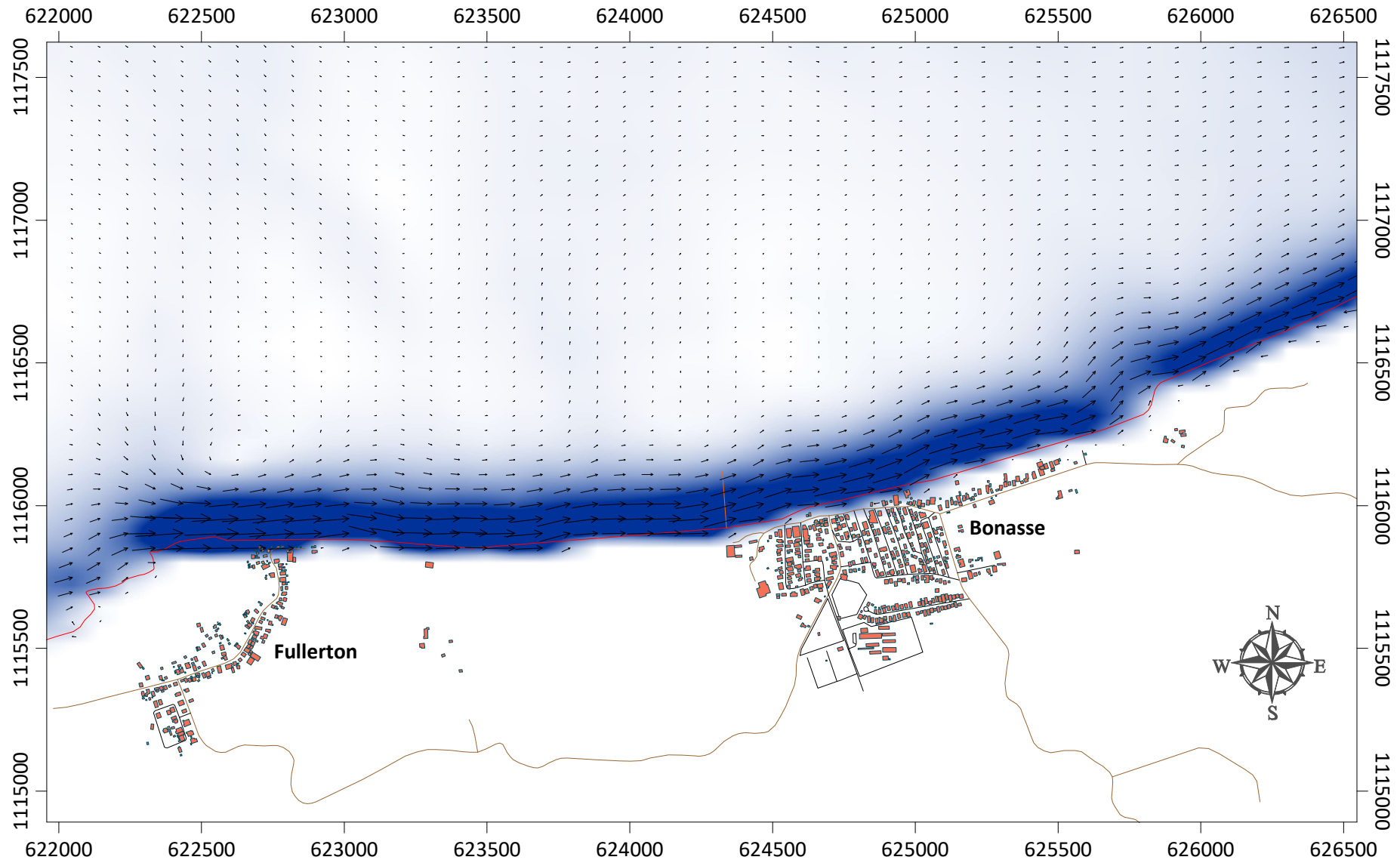
H_s : 1.3 m
 h : 15 m
 f_p : 0.166667 Hz (T_p : 6 s)
 γ : 3.3
 N° Comp.: 10
Directional spectrum
 θ_m : 45° (N45.0W)
 σ : 20° - N° Comp.: 15



Significant wave height (m)



Graph: Vectors and magnitude of breaking currents. Tropical Depression swell, northwest direction.



Frequency spectrum (TMA)

Hs: 4.68 m
h: 15 m
fp: 0.111111 Hz (Tp: 9 s)
 γ : 10
N° Comp.: 10

Directional spectrum

θ_m : 45° (N45.0W)
 σ : 20° - N° Comp.: 15

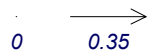
Roughness of

Nikuradse
Kswc: 1 m

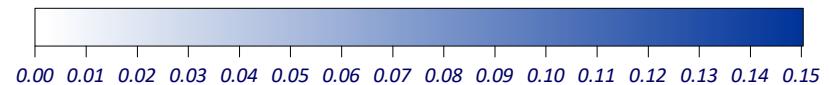
Viscosity of

swirl
 ϵ : 25 m²/s

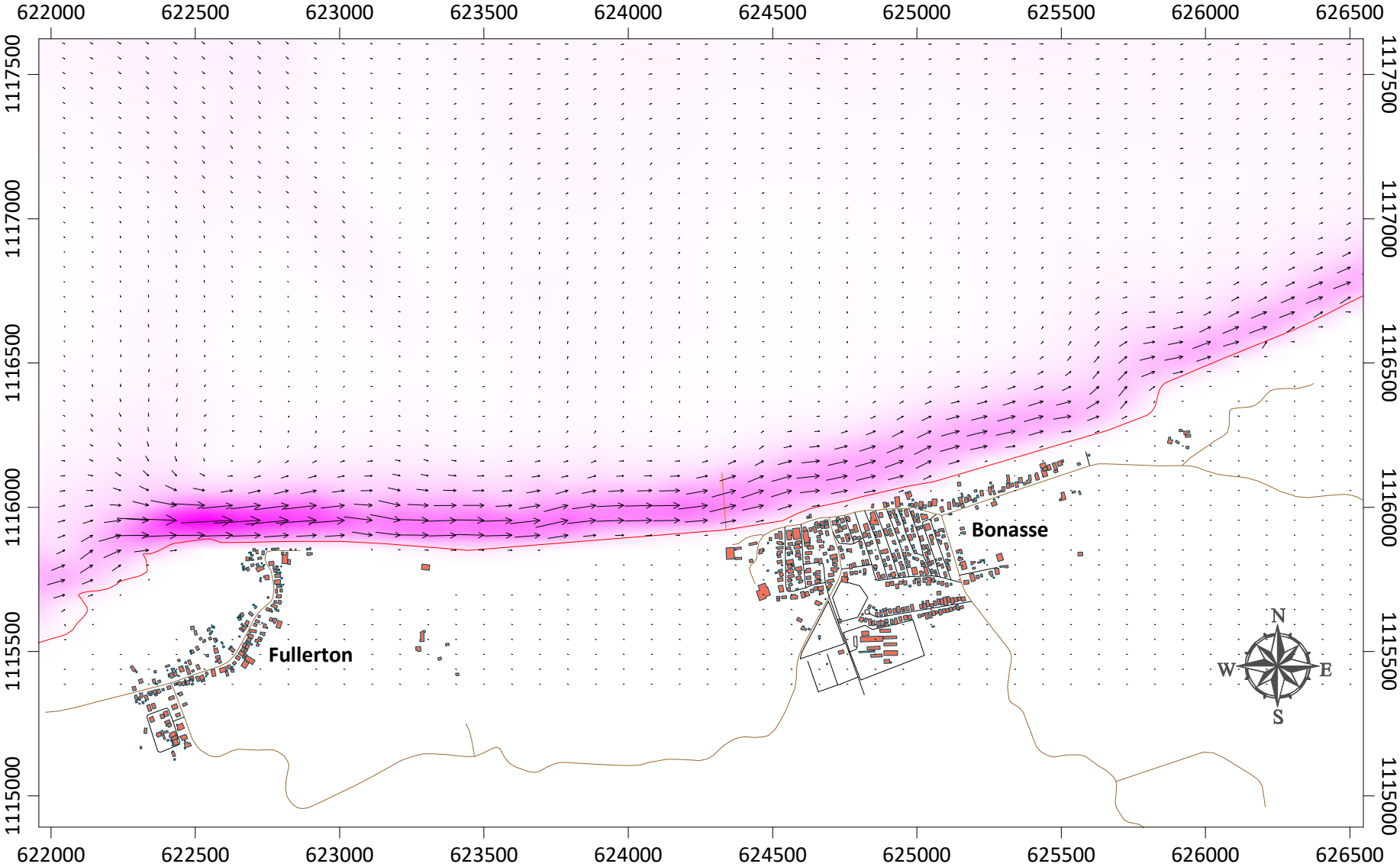
1 cm = 0.350 m/s



Velocity of breaking currents (m/s)



Graph: Vectors and magnitude of sediment transport. Tropical Depression swell, northwest direction.

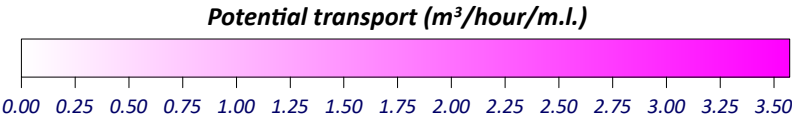
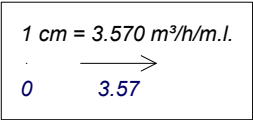


Frequency spectrum (TMA)

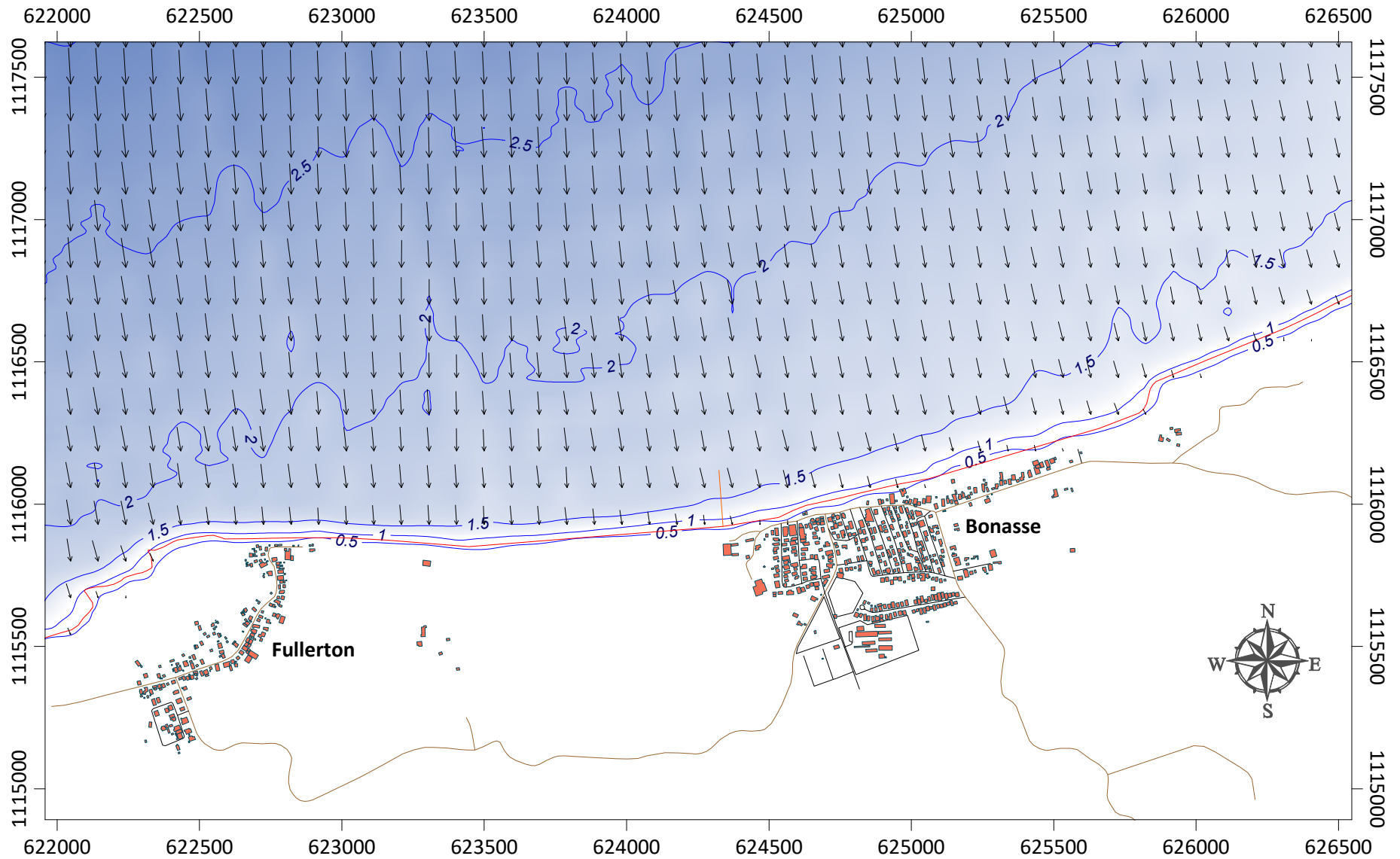
Hs: 1.3 m
h: 15 m
fp: 0.111111 Hz (Tp: 9 s)
 γ : 10
N° Comp.: 10
Directional spectrum
 θ_m : 45° (N45.0W)
 σ : 20° - N° Comp.: 15

Roughness of
Nikuradse
Kswc: 1 m
Viscosity of
swirl
 ν : 25 m²/s

D₅₀: 0.20 mm
Duration: 18.0 h
Formulation:
Soulsby



Graph: Isolines and significant wave height vectors. Tropical Depression swell, north direction.



Frequency spectrum (TMA)

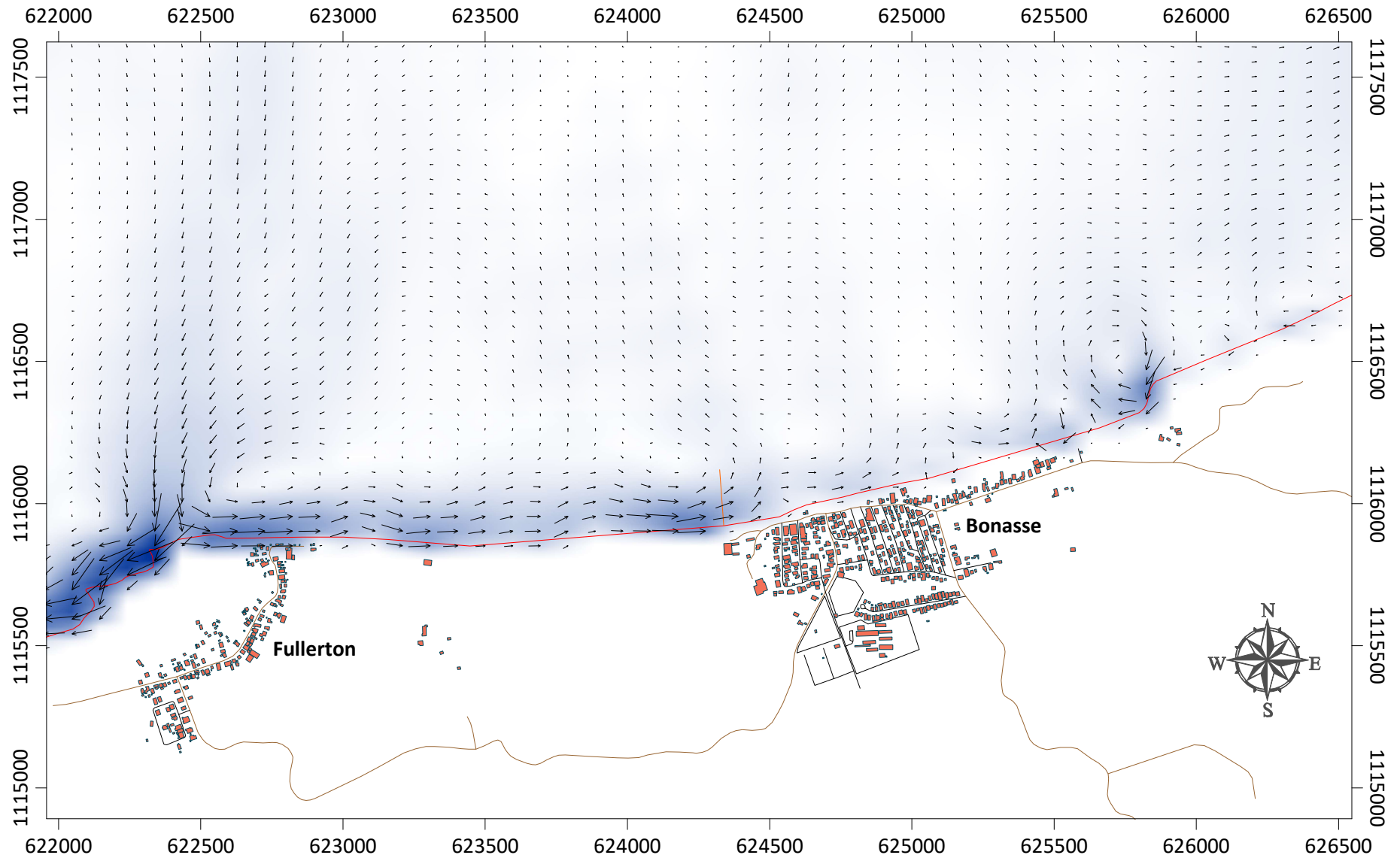
H_s: 4.68 m
h: 15 m
f_p: 0.111111 Hz (Tp: 9 s)
γ: 10
N° Comp.: 10
Directional spectrum
θ_m: 0° (N)
σ: 20° - *N° Comp.*: 15

1 cm = 4.660 m
 0 → 4.66

Significant wave height (m)

0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4 2.6 2.8 3.0 3.2 3.4 3.6 3.8 4.0 4.2 4.4

Graph: Vectors and magnitude of breaking currents. Tropical Depression swell, north direction.



Frequency spectrum (TMA)

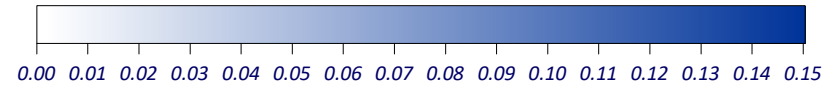
Hs: 4.68 m
 h: 15 m
 fp: 0.111111 Hz (Tp: 9 s)
 γ: 10
 N° Comp.: 10
Directional spectrum
 θm: 0° (N)
 σ: 20° - N° Comp.: 15

Roughness of
 Nikuradse
 Kswc: 1 m

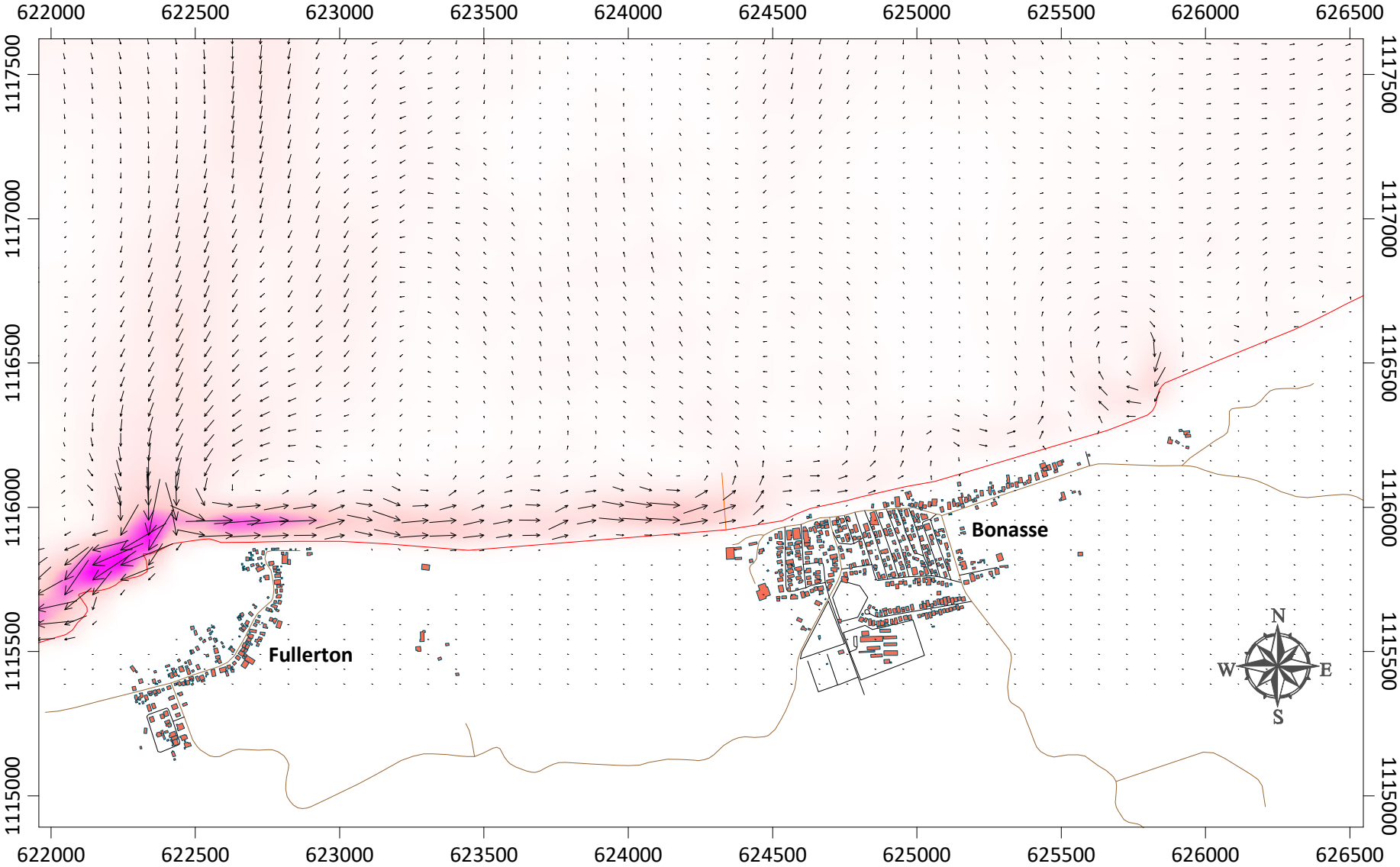
Viscosity of
 swirl
 ε: 25 m²/s

1 cm = 0.160 m/s
 0 → 0.16

Velocity of breaking currents (m/s)



Graph: Vectors and magnitude of sediment transport. Tropical Depression swell, north direction.

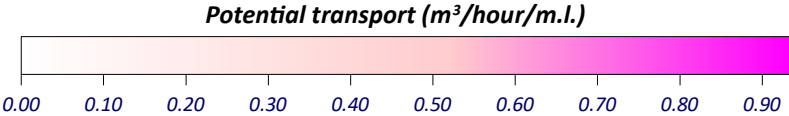
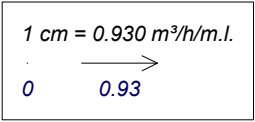


Frequency spectrum (TMA)

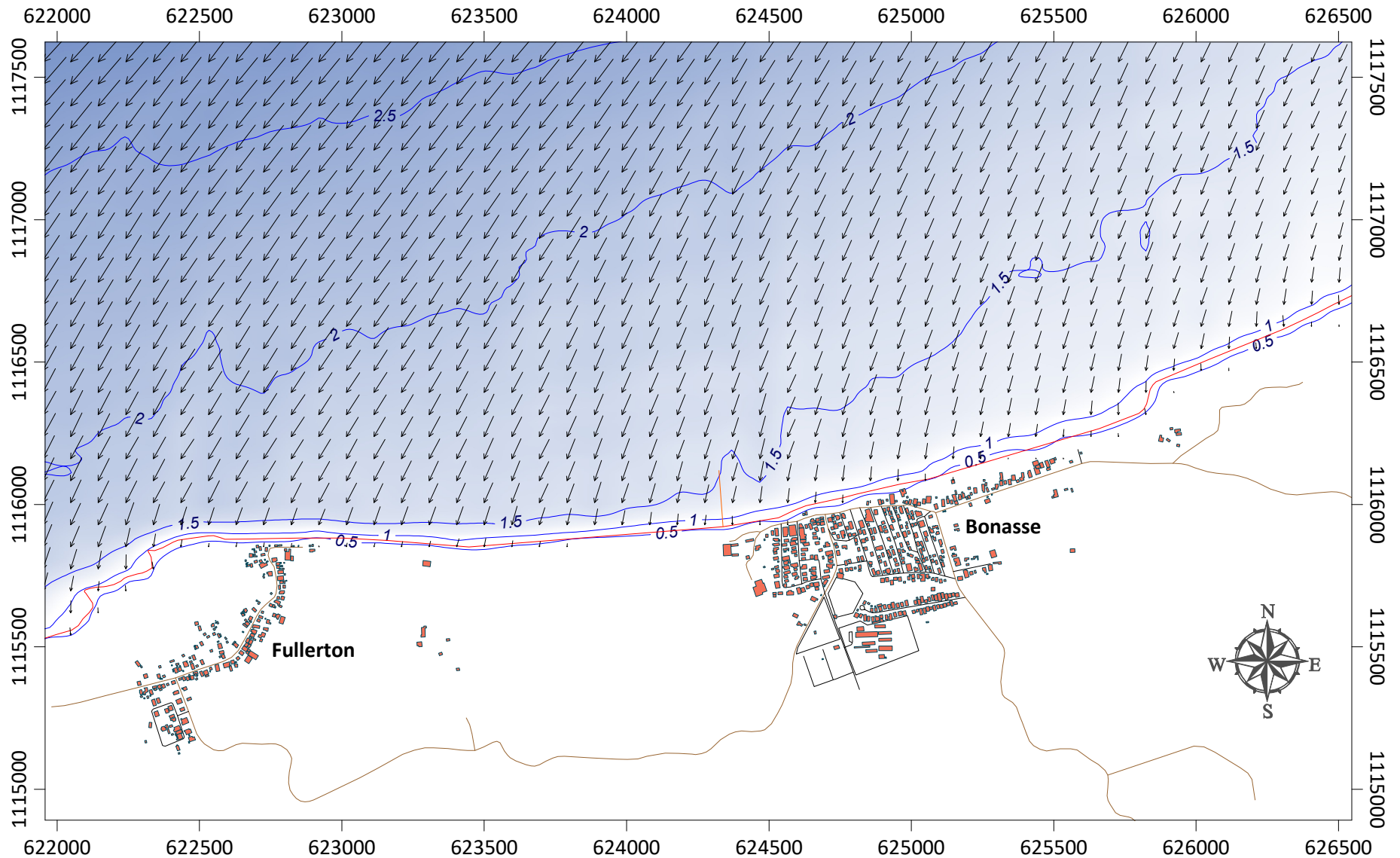
Hs: 1.3 m
h: 15 m
fp: 0.111111 Hz (Tp: 9 s)
 γ : 10
N° Comp.: 10
Directional spectrum
 θ_m : 0° (N)
 σ : 20° - N° Comp.: 15

Roughness of
Nikuradse
Kswc: 1 m
Viscosity of
swirl
 ν : 25 m²/s

D₅₀: 0.20 mm
Duration: 18.0 h
Formulation:
Soulsby



Graph: Isolines and significant wave height vectors. Tropical Depression swell, northeast direction.



Frequency spectrum (TMA)

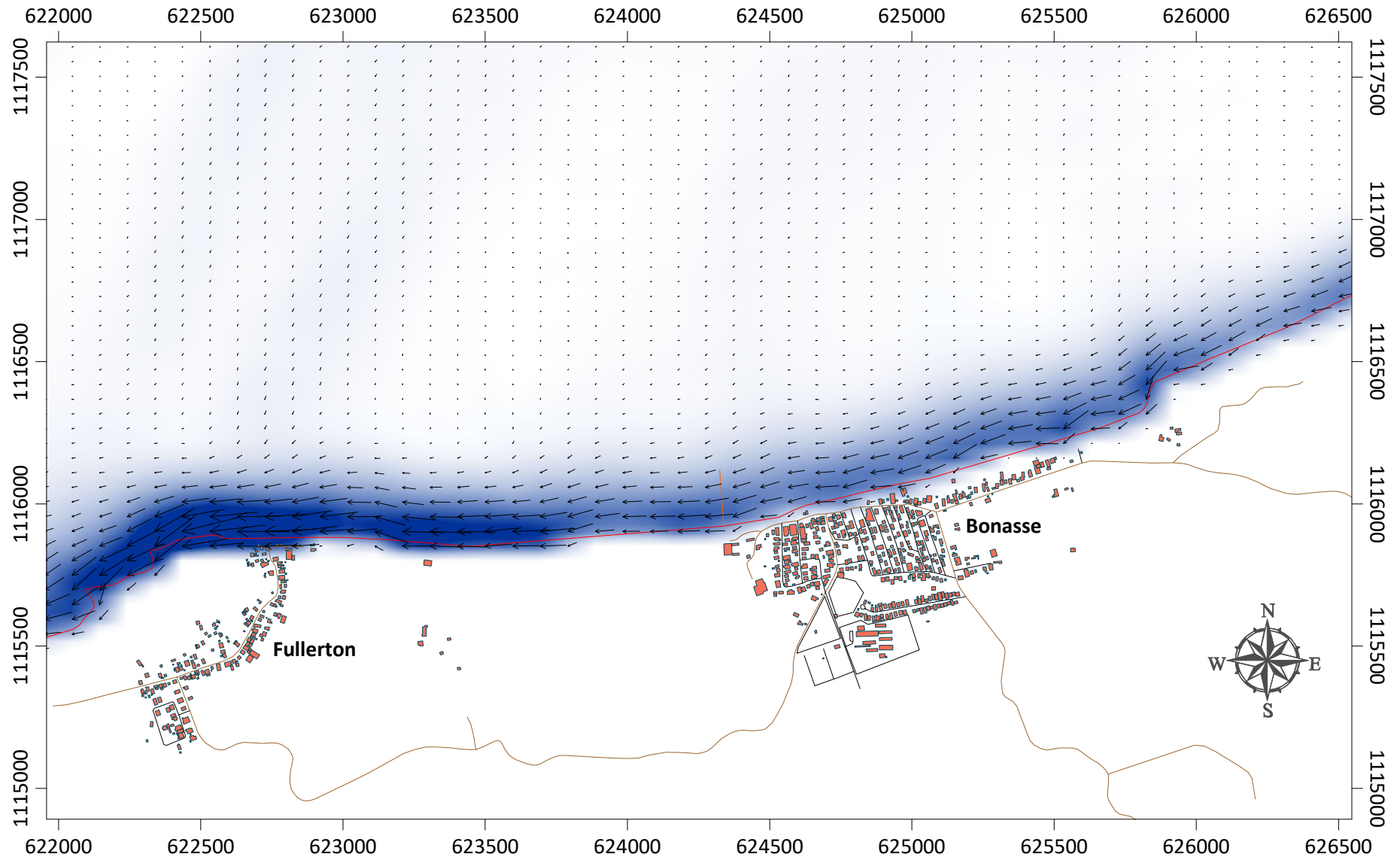
Hs: 4.68 m
h: 15 m
f_p: 0.111111 Hz (*T_p*: 9 s)
γ: 10
N° Comp.: 10
Directional spectrum
θ_m: -45° (N45.0E)
σ: 20° - *N° Comp.*: 15

1 cm = 4.500 m
 0 → 4.5

Significant wave height (m)



Graph: Vectors and magnitude of breaking currents. Tropical Depression swell, northeast direction.

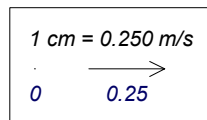


Frequency spectrum (TMA)

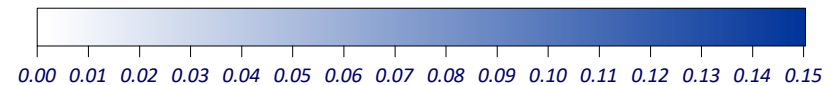
Hs: 4.68 m
 h: 15 m
 fp: 0.111111 Hz (Tp: 9 s)
 γ: 10
 N° Comp.: 10
Directional spectrum
 θm: -45° (N45.0E)
 σ: 20° - N° Comp.: 15

Roughness of
 Nikuradse
 Kswc: 1 m

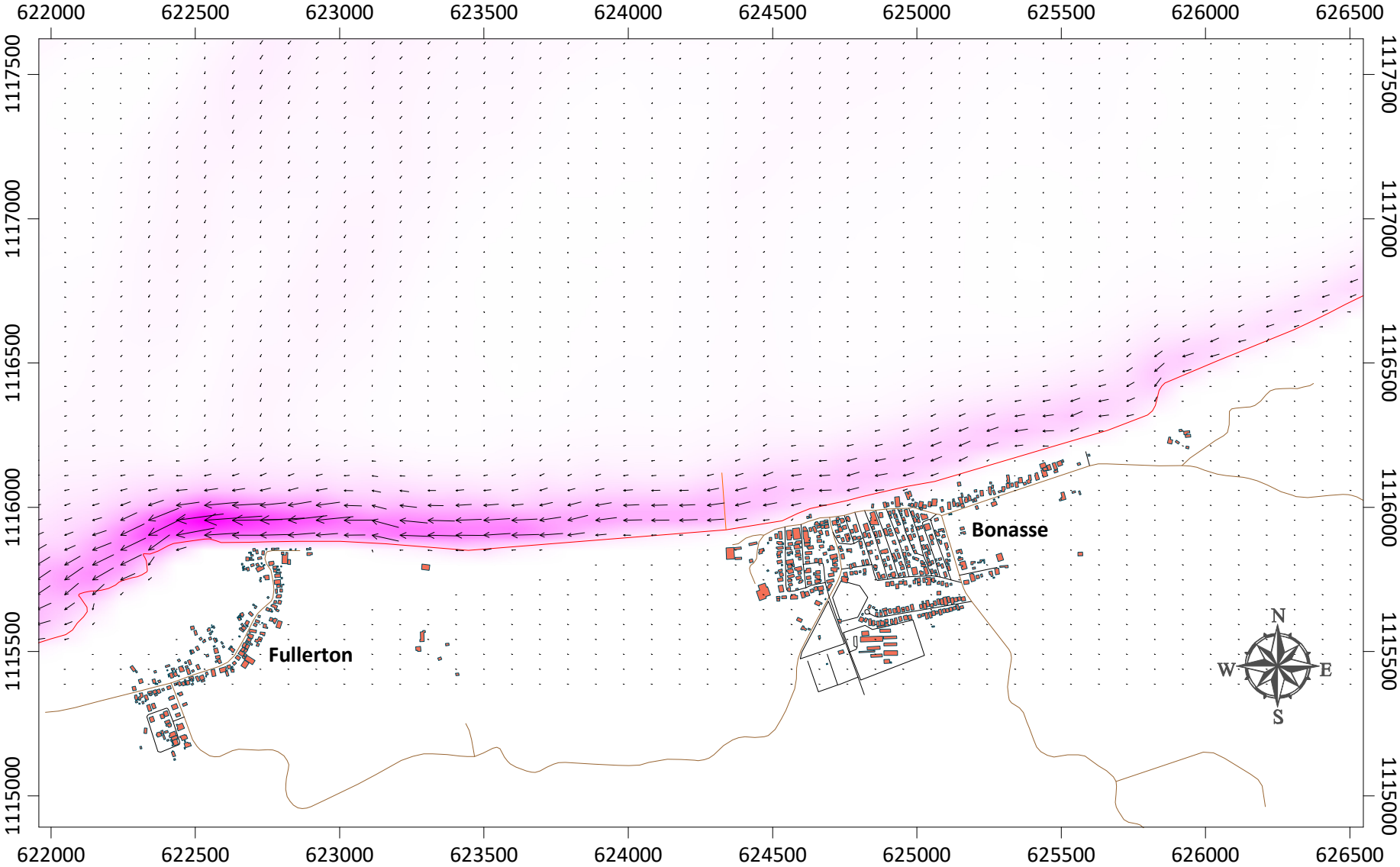
Viscosity of
 swirl
 ε: 25 m²/s



Velocity of breaking currents (m/s)



Graph: Vectors and magnitude of sediment transport. Tropical Depression swell, northeast direction.

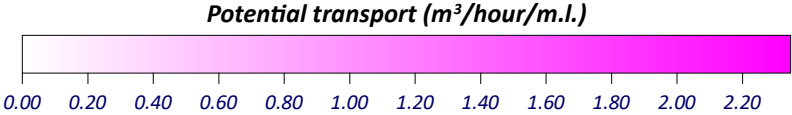
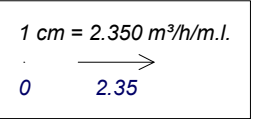


Frequency spectrum (TMA)

Hs: 1.3 m
h: 15 m
fp: 0.111111 Hz (Tp: 9 s)
 γ : 10
N° Comp.: 10
Directional spectrum
 θ_m : -45° (N45.0E)
 σ : 20° - N° Comp.: 15

Roughness of
Nikuradse
Kswc: 1 m
Viscosity of
swirl
 ν : 25 m²/s

D₅₀: 0.20 mm
Duration: 18.0 h
Formulation:
Soulsby



PLANOS

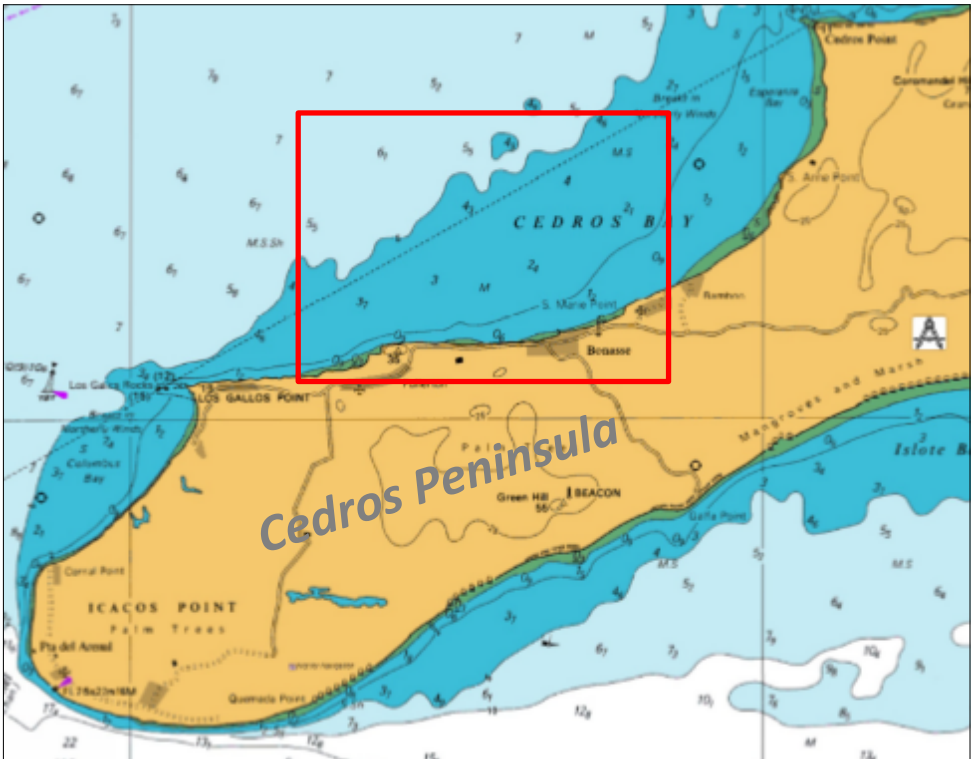
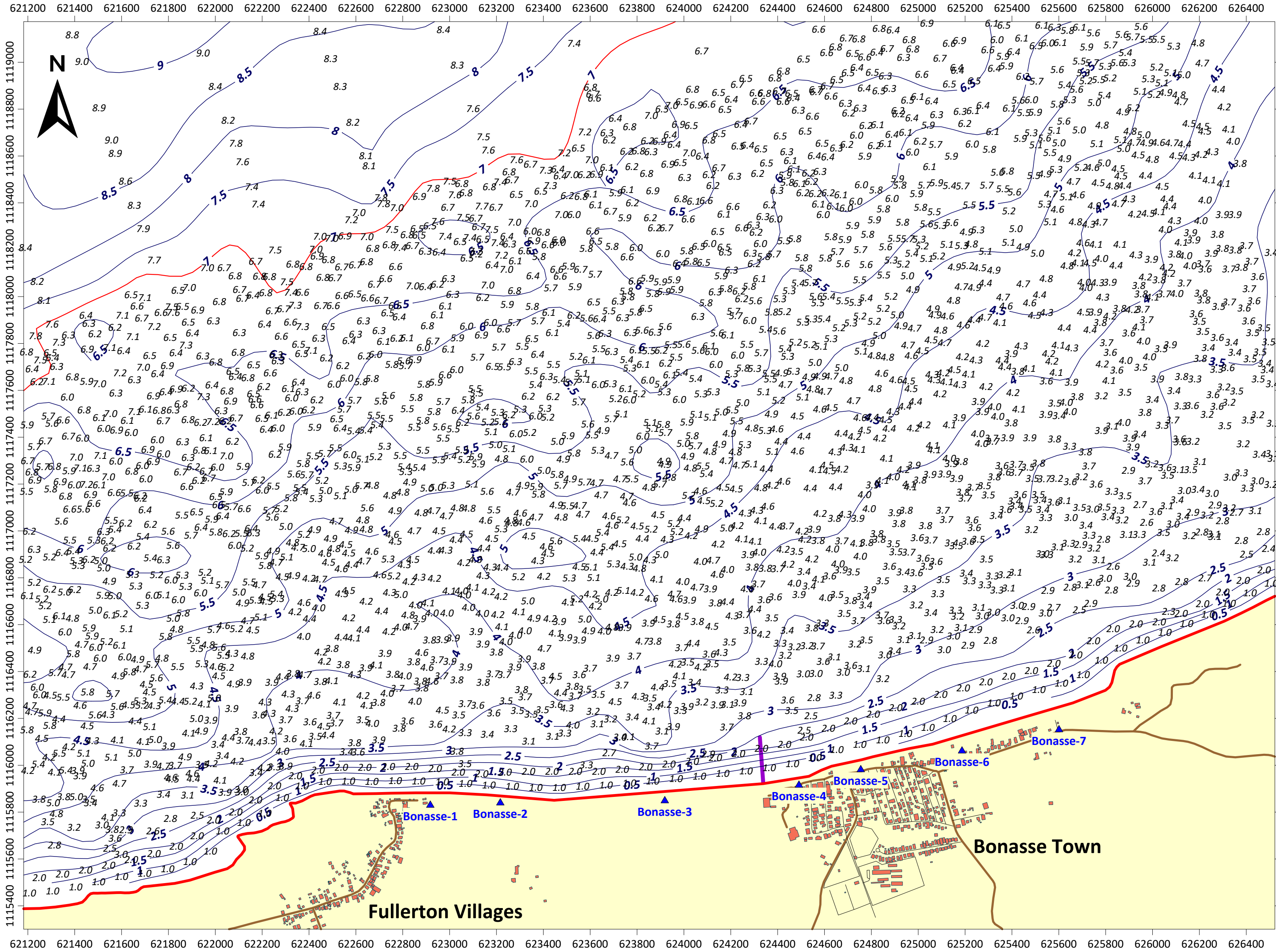
Plano 1. Batimetría de la zona costera de Bonasse.

Plano 2. Batimetría de la zona de préstamo.

Plano 3. Distribución granulométrica de los sedimentos en la zona de préstamo.

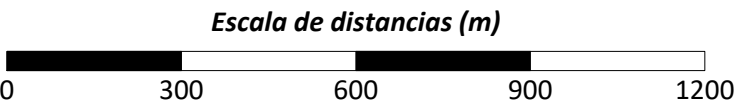
Plano 4. Perfiles de diseño para el relleno de arena.

Plano 5. Ejecución de las obras.



Simbología:

- 4.0 Isobatas
- 7.0 Isobata de 7 m
- 3.7 Profundidades
- Bonasse-2 Perfiles de playa
- Línea de costa
- Espigón

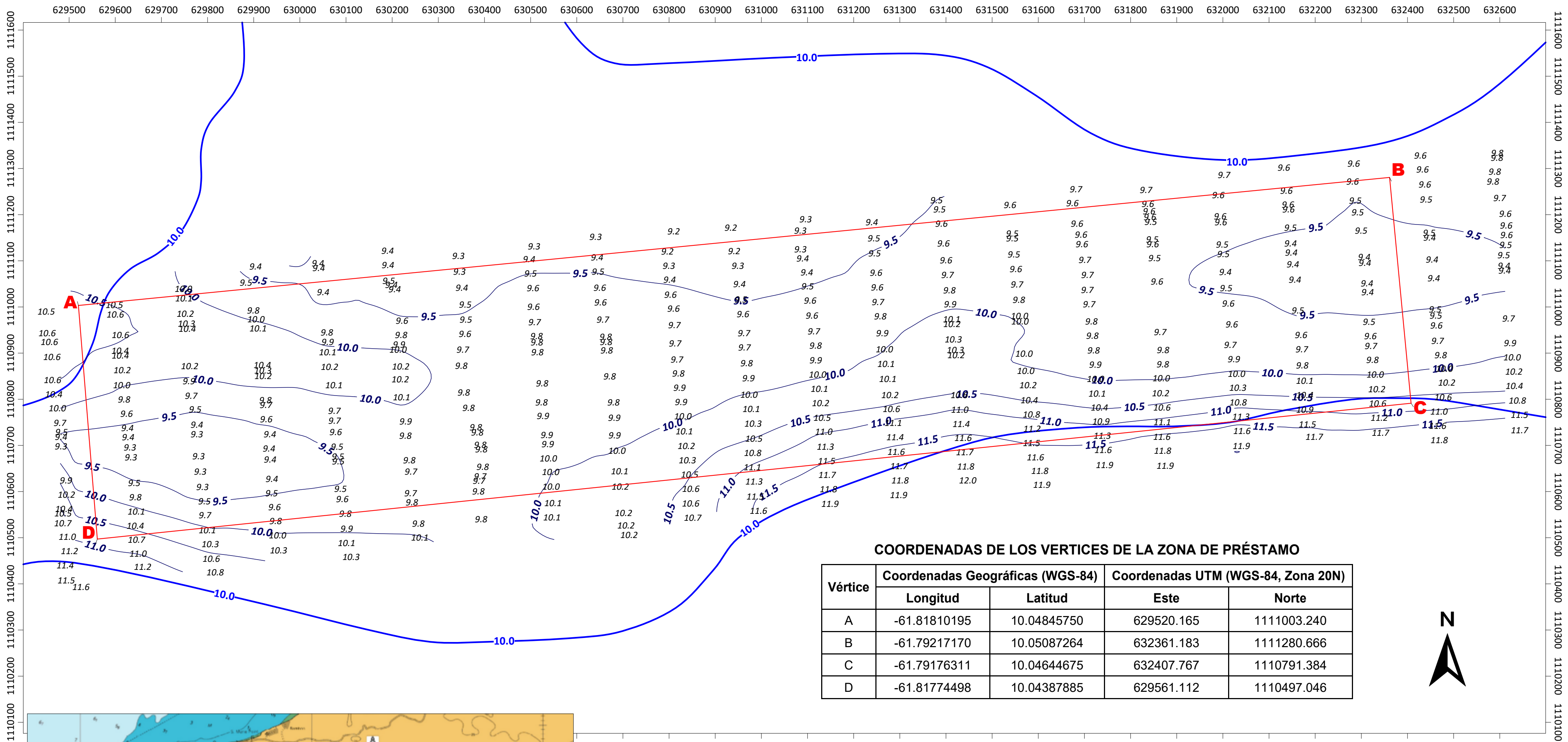


Proyección: Universal Transverse Mercator (UTM)
Datum: World Geodetic System 1984
Sistema de Coordenadas UTM zona 20N WGS84

Profundidades en metros, referidas al nivel medio del mar
Isobatas cada 0.50 m.

NO USAR como Carta Náutica

 Y GAMMA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE		MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE DE CUBA	
JEFE DE PROYECTO: MSc. Miguel Izquierdo Álvarez		PROYECTO: PROYECTO PARA LA REHABILITACIÓN DE LA PLAYA DE BONASSE, CEDROS BAY TRINIDAD Y TOBAGO	
ELABORADO POR: MSc. Miguel Izquierdo Álvarez			
REVISADO POR: MSc. Leonel I. Peña Fuentes		TÍTULO: BATIMETRÍA DE LA ZONA COSTERA DE LA PLAYA DE BONASSE	
FECHA: Agosto 2022			
		ESCALA: 1 : 13000	PLANO: 1



COORDENADAS DE LOS VERTICES DE LA ZONA DE PRÉSTAMO

Vértice	Coordenadas Geográficas (WGS-84)		Coordenadas UTM (WGS-84, Zona 20N)	
	Longitud	Latitud	Este	Norte
A	-61.81810195	10.04845750	629520.165	1111003.240
B	-61.79217170	10.05087264	632361.183	1111280.666
C	-61.79176311	10.04644675	632407.767	1110791.384
D	-61.81774498	10.04387885	629561.112	1110497.046



Simbología:

10.5

Isobatas

10.0

Isobatas Carta Náutica antigua

3.7

Profundidades

A B C D

Zona de préstamo

0100200300400

Escala de distancias (m)

Proyección: Universal Transverse Mercator (UTM)
Datum: World Geodetic System 1984
Sistema de Coordenadas UTM zona 20N WGS84

Profundidades en metros
referidas al nivel medio del mar
Isobatas cada 0.50 m

NO USAR como Carta Náutica

Y
GAMMA

TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

JEFE DE PROYECTO:
MSc. Miguel Izquierdo Álvarez

ELABORADO POR:
MSc. Miguel Izquierdo Álvarez

REVISADO POR:
MSc. Leonel I. Peña Fuentes

FECHA: Agosto 2022

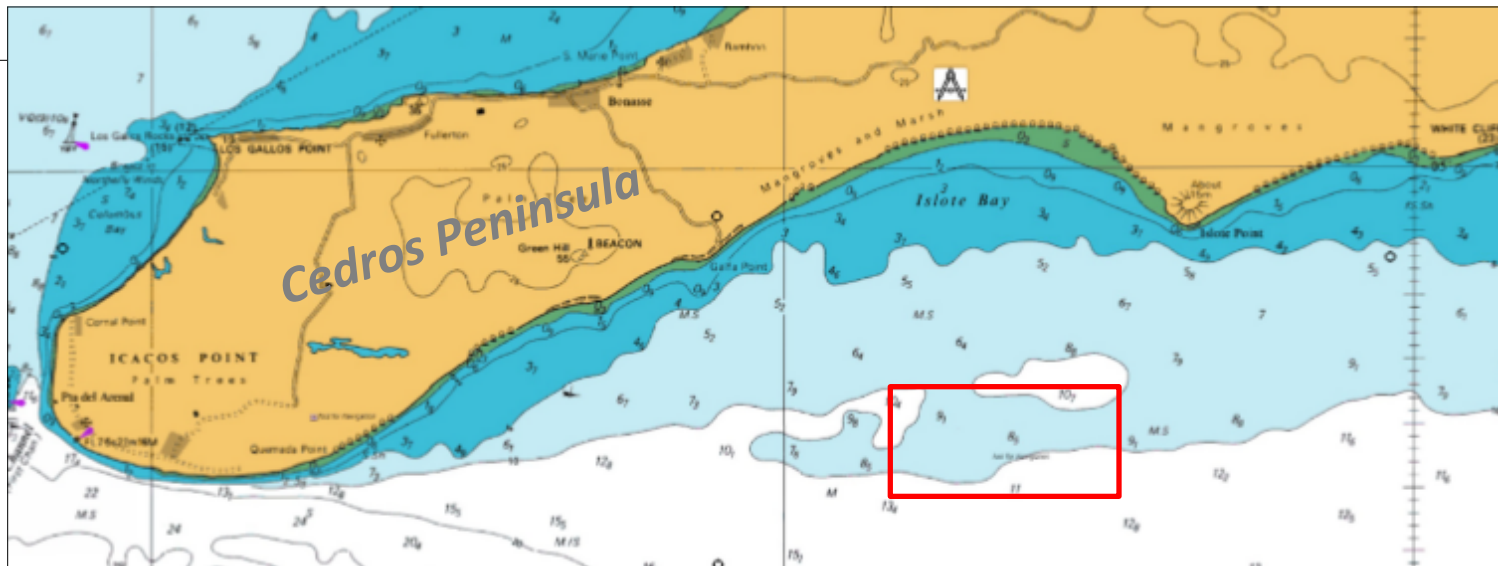
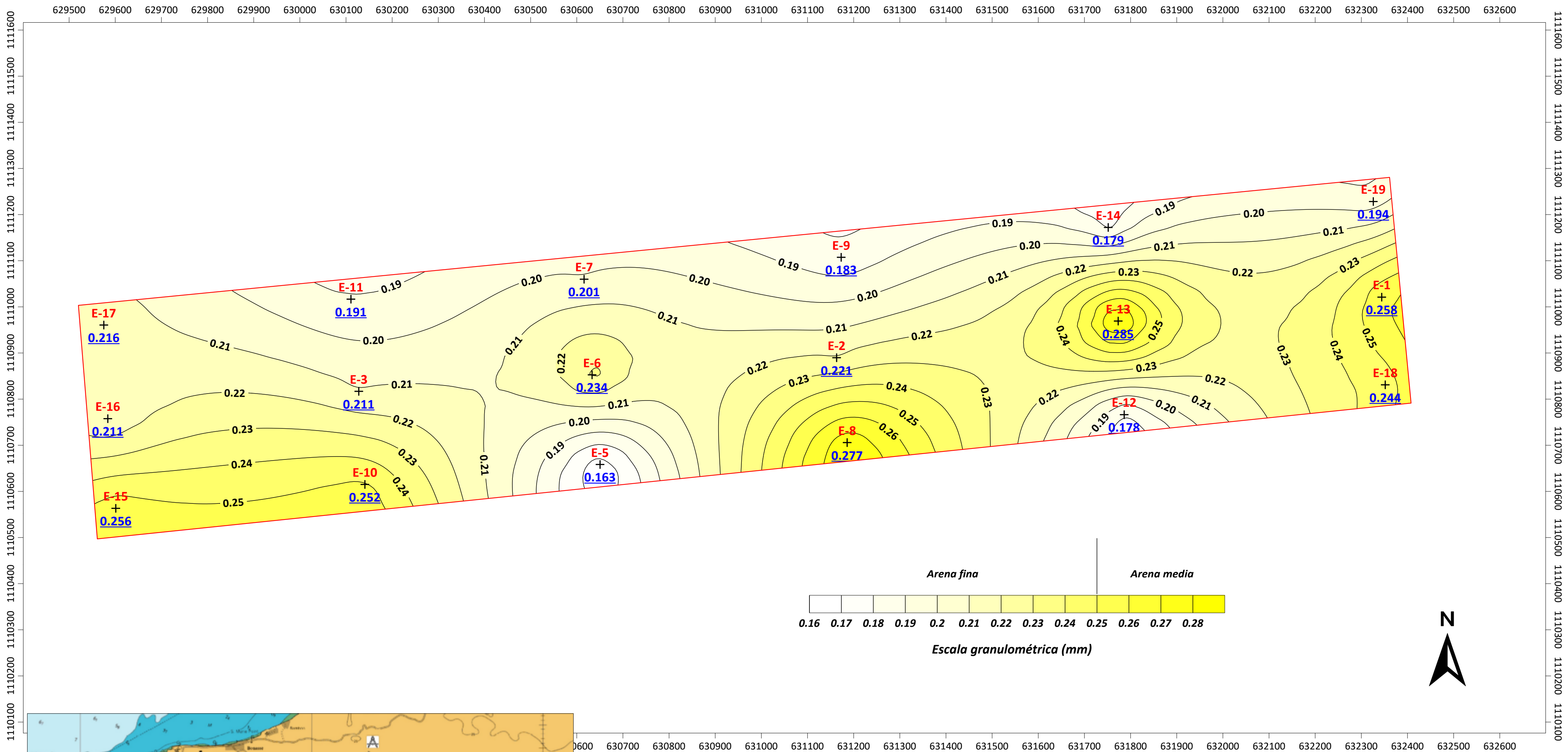
MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA
Y MEDIO AMBIENTE DE CUBA

PROYECTO:
PROYECTO PARA LA REHABILITACIÓN
DE LA PLAYA DE BONASSE, CEDROS BAY
TRINIDAD Y TOBAGO

TÍTULO:
BATIMETRÍA DE LA ZONA DE PRÉSTAMO

ESCALA:1 : 6000

PLANO:2



Simbología:

- 10.5 — Isolíneas granulométricas
- E-32 + Estación de muestreo
- 0.163 Granulometría en la estación
- A B C D Zona de préstamo

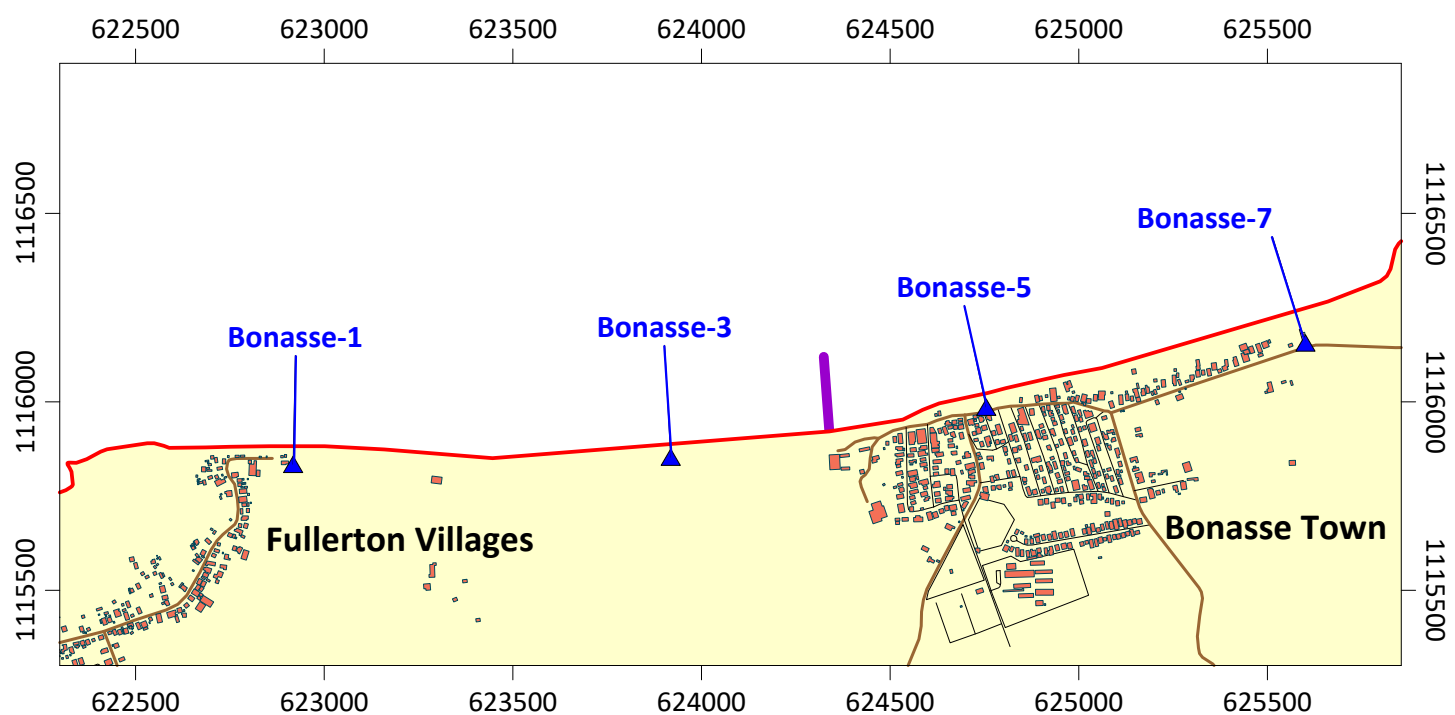
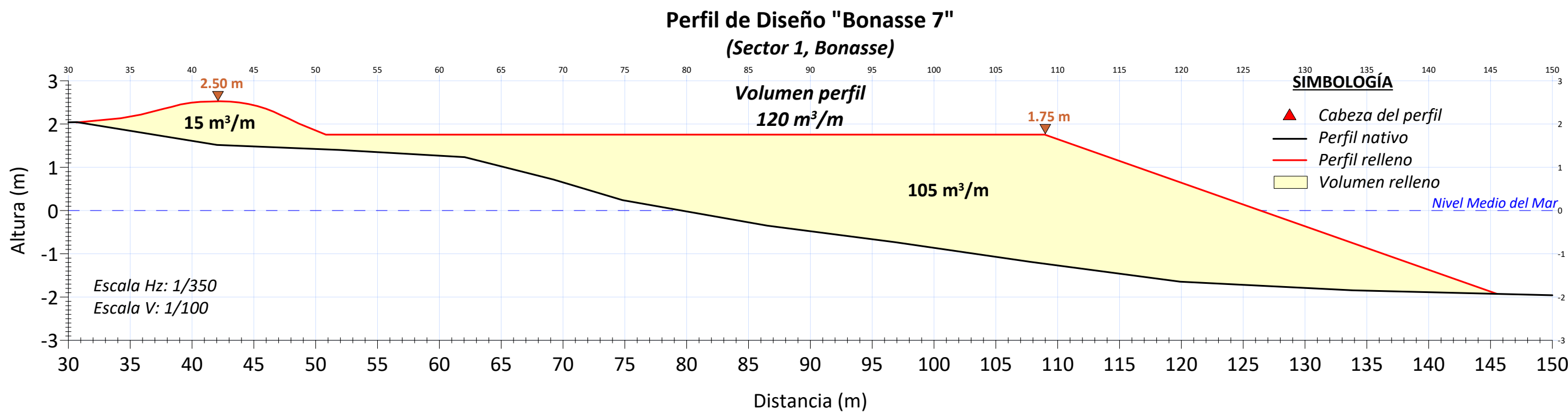
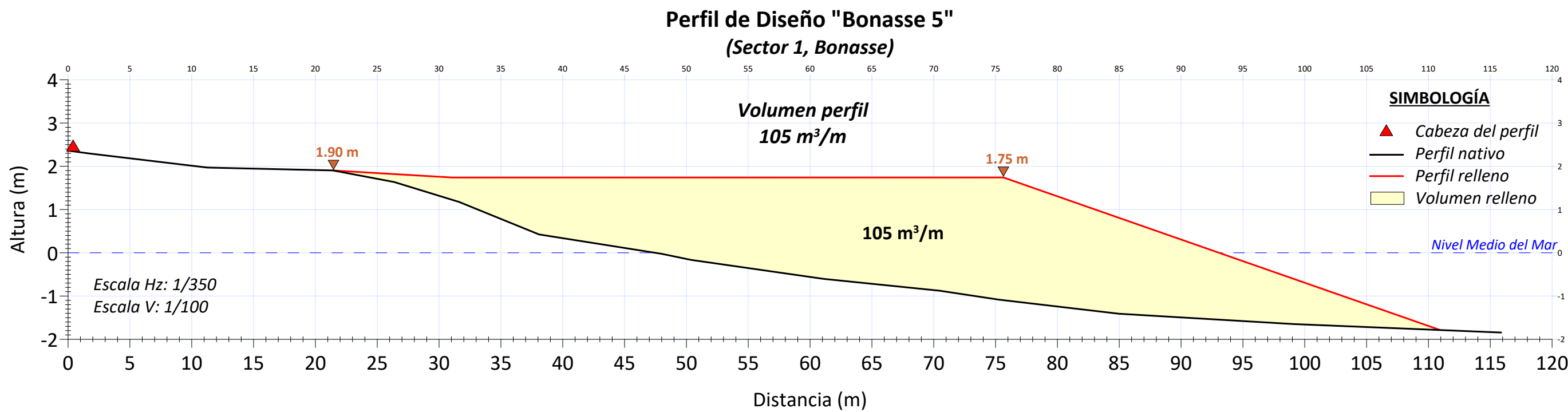
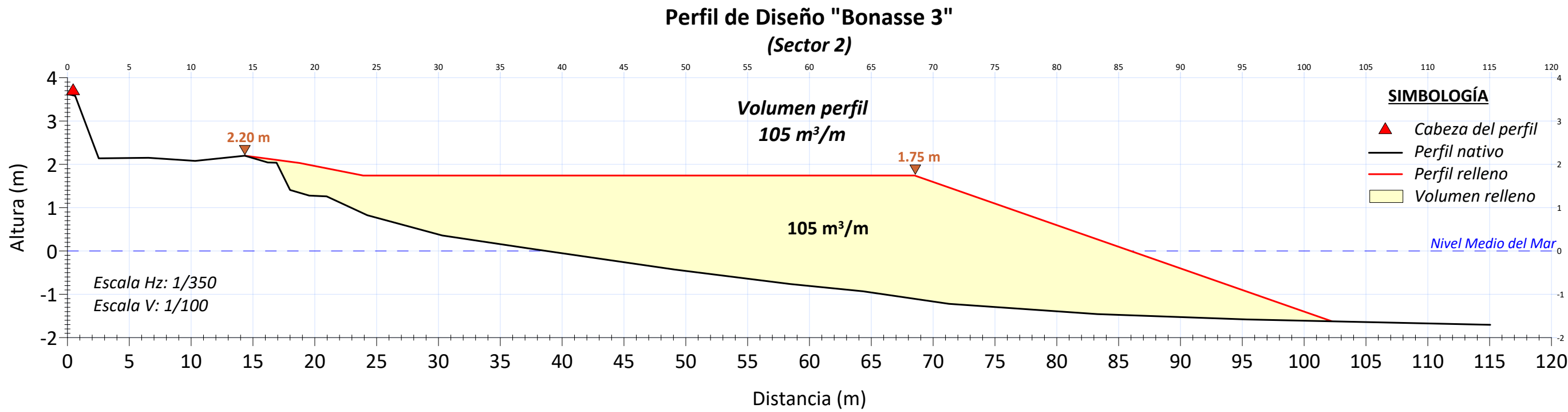
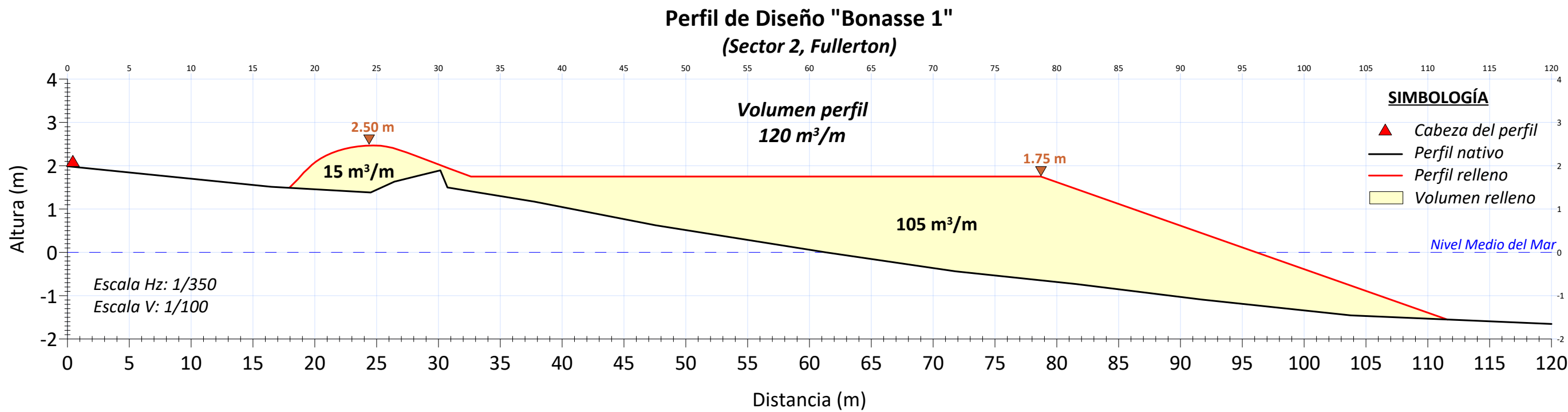
Escala de distancias (m)

0 100 200 300 400

Proyección: Universal Transverse Mercator (UTM)
Datum: World Geodetic System 1984
Sistema de Coordenadas UTM zona 20N WGS84

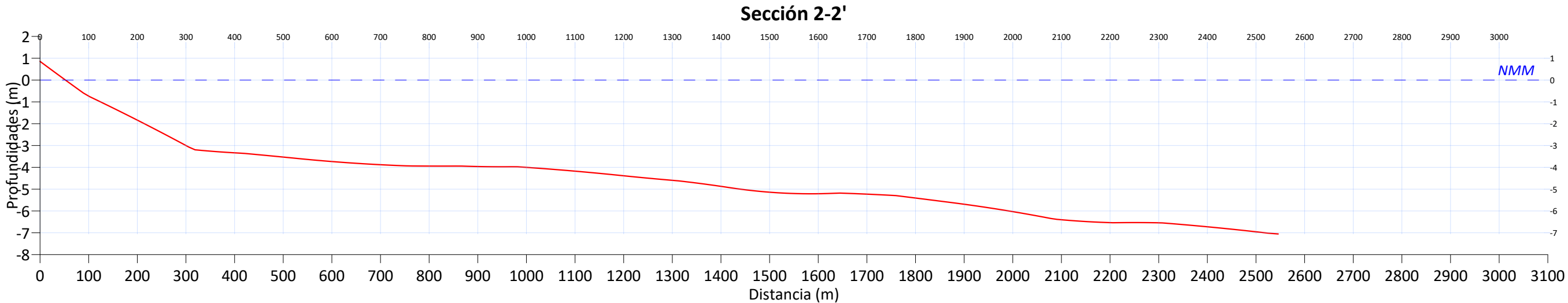
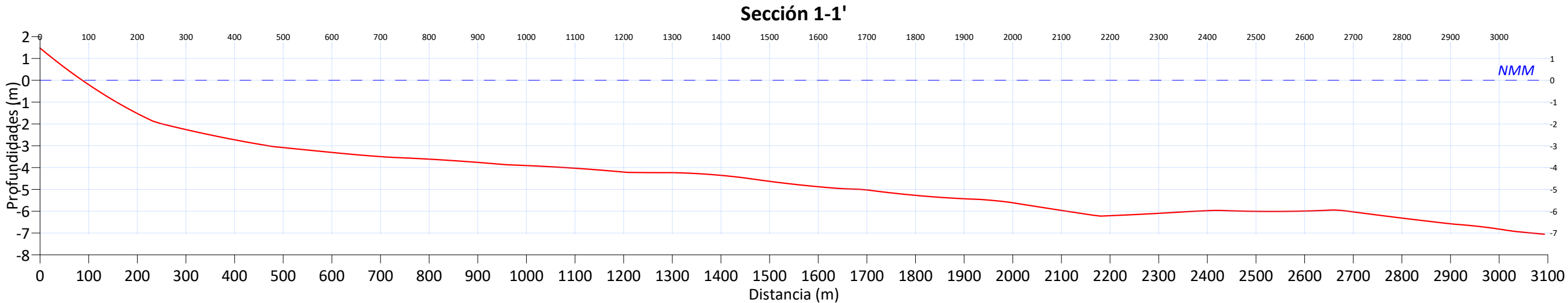
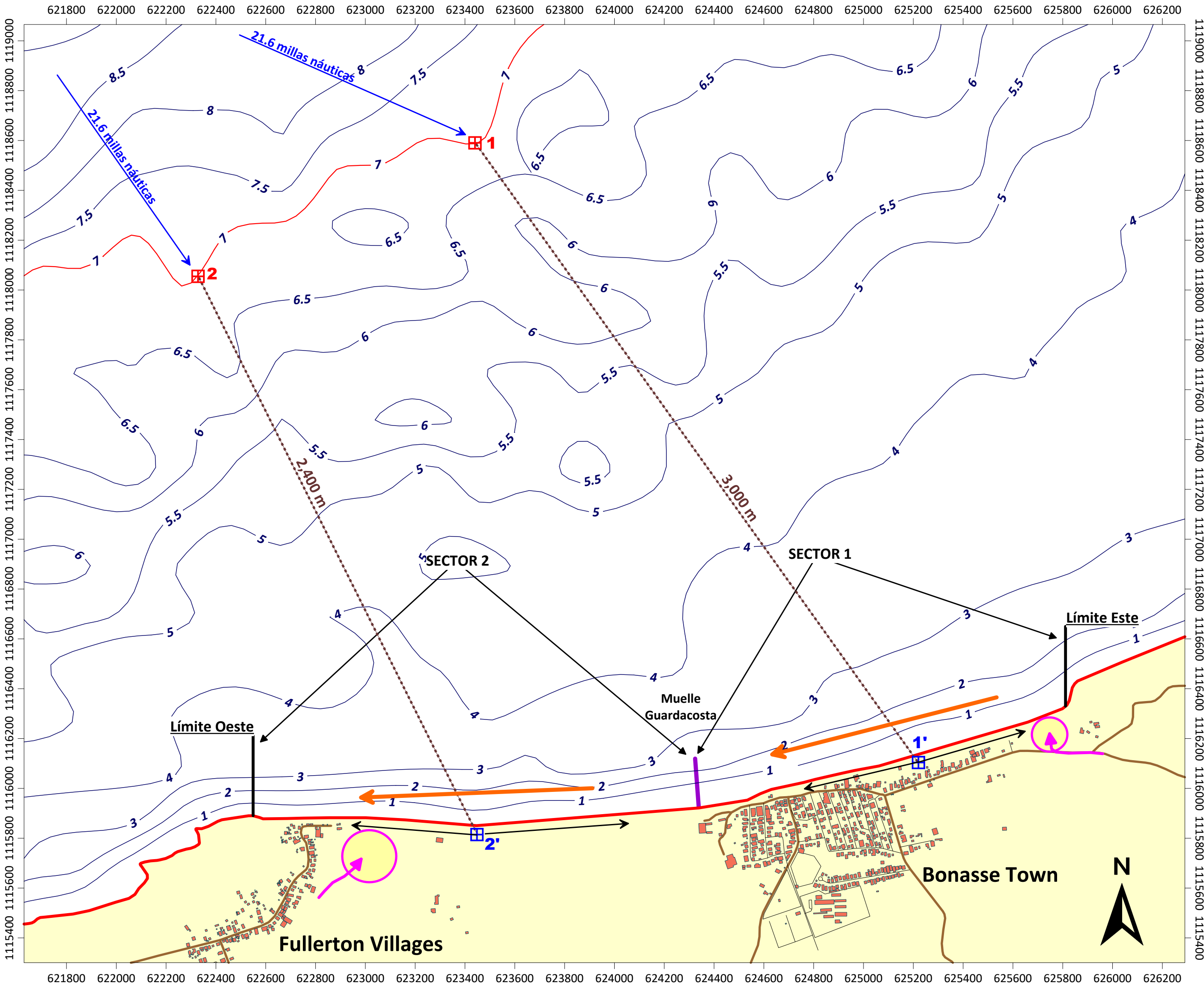
Isolíneas en milímetros

Y GAMMA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE		MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE DE CUBA	
JEFE DE PROYECTO: MSc. Miguel Izquierdo Álvarez		PROYECTO: PROYECTO PARA LA REHABILITACIÓN DE LA PLAYA DE BONASSE, CEDROS BAY TRINIDAD Y TOBAGO	
ELABORADO POR: MSc. Miguel Izquierdo Álvarez			
REVISADO POR: MSc. Leonel I. Peña Fuentes		TÍTULO: DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LOS SEDIMENTOS EN LA ZONA DE PRÉSTAMO	
FECHA: Agosto 2022		ESCALA: 1 : 6000	PLANO: 3



NOTAS:
Las secciones transversales se corresponden con los puntos que conforman la red de perfiles de playa establecidos por Inversiones Gamma S.A.

Y GAMMA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE		MINISTERIO DE CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE. CUBA	
JEFE DE PROYECTO: MSc. Miguel Izquierdo Álvarez		PROYECTO: PROYECTO PARA LA REHABILITACIÓN DE LA PLAYA DE BONASSE, CEDROS BAY TRINIDAD Y TOBAGO	
CONFECCIONADO POR: MSc. Miguel Izquierdo Álvarez		TÍTULO: PERFILES DE DISEÑO PARA EL RELLENO DE ARENA	
REVISADO POR: MSc. Leonel I. Peña Fuentes			
FECHA: Agosto 2022		ESCALA: GRÁFICAS	PLANO: 4



Simbología:

- 2— Isobatas
- 7— Isobata de 7 m
- ▣ Posición punto acople de la draga
- ▣ Posición de la tubería en tierra
- Distancia media de navegación desde la zona de préstamo al acople
- 2,570 m Longitud tubería de descarga
- Dirección de avance del vertimiento
- Área para arme/desarme de tuberías y acceso de equipos

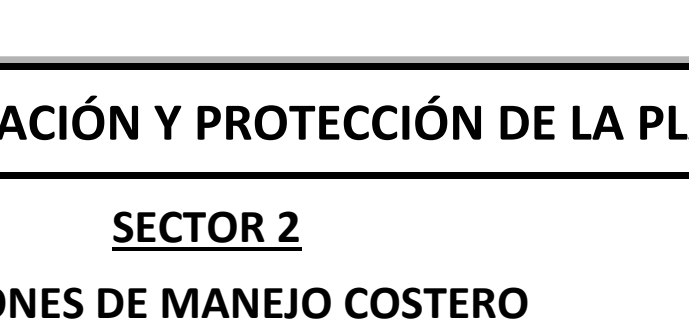
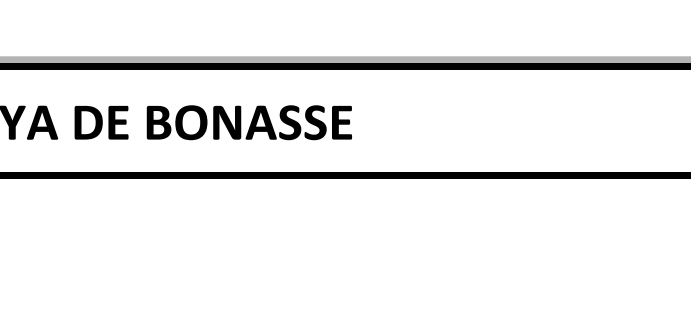
Escala de distancias (m)

0 300 600 900 1200

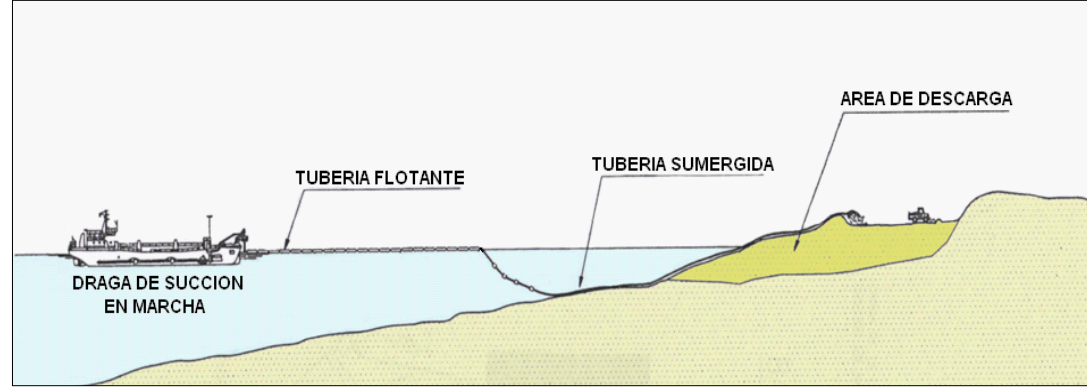
Proyección: Universal Transverse Mercator (UTM)
Datum: World Geodetic System 1984
Sistema de Coordenadas UTM zona 20N WGS84

Profundidades en metros, referidas al nivel medio del mar
NO USAR como Carta Náutica

Y GAMMA Tecnología y Medio Ambiente	MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE DE CUBA	
JEFE DE PROYECTO: MSc. Miguel Izquierdo Álvarez	PROYECTO: PROYECTO PARA LA REHABILITACIÓN DE LA PLAYA DE BONASSE, CEDROS BAY TRINIDAD Y TOBAGO	
ELABORADO POR: MSc. Miguel Izquierdo Álvarez	TÍTULO: EJECUCION DE LAS OBRAS	
REVISADO POR: MSc. Leonel I. Peña Fuentes		
FECHA: Agosto 2022	ESCALA: 1 : 13000	PLANO: 5

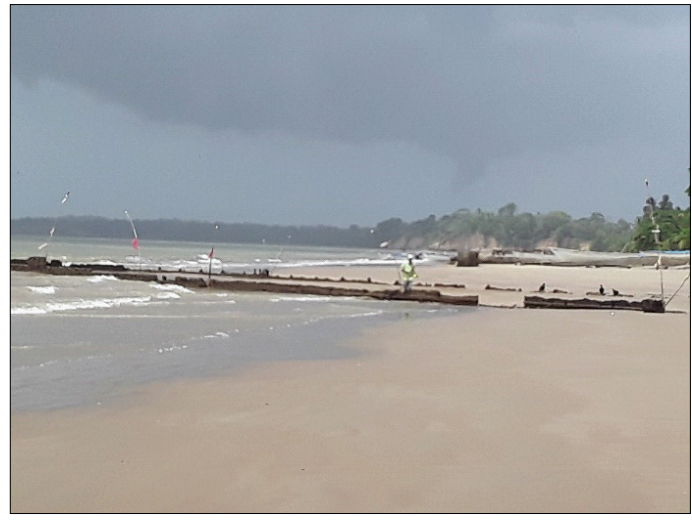
ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN EL DETERIORO DE LAS CONDICIONES MORFOLÓGICAS, ESTÉTICAS Y FUNCIONALES DE LA PLAYA EN EL SECTOR 2	
SECTOR <u>NO</u> ANTROPIZADO (Menos de un 10%)	
A pesar de que el sector conserva su estado natural y no existe intervención humana, se aprecia un proceso erosivo significativo, donde los principales indicios de erosión son la presencia de escarpes de erosión, caída de árboles, afloramiento de viejas estructuras por pérdida de arena y el retroceso marcado de la línea de costa, evidenciado por la presencia en primera línea de playa de elementos morfológicos y vegetación que normalmente por su zonación natural, pertenece a áreas de dunas y post-dunas.	        
En el tramo de Fullerton, que es donde hay cierto grado de antropización, se aprecia ocupación de la duna y la colocación de estructuras de defensa para protección frente al oleaje de tormenta.	
Estos elementos afectan la estética de la playa, así como la morfología del perfil, impidiendo el normal funcionamiento de la playa, sobre todo en momentos de impactos de olas de tormenta, que normalmente son disipadas por un perfil de playa morfológicamente completo y estable.	

MEDIDAS PARA LA REHABILITACIÓN Y PROTECCIÓN DE LA PLAYA DE BONASSE	
SECTOR 2	
ACCIONES DE MANEJO COSTERO	
Las acciones de manejo costero deberán estar dirigidas a eliminar todos los focos de contaminación y vertido de desechos sólidos o líquidos, también deberá velar por la integridad física del medio litoral, impidiendo nuevas construcciones en las dunas y la playa, además de retirar todas las estructuras de hormigón abandonadas que existen actualmente y que, por su carácter, son incompatibles con el buen funcionamiento de la playa.	
Asimismo, estas acciones de manejo darán paso a la implementación de medidas ingenieras, las que están orientadas, por una parte, a mitigar los efectos de la erosión y restituir las condiciones estéticas y funcionales de la playa y, por otra parte, a enfrentar los desafíos que imponen los cambios climáticos y el ascenso del nivel del mar.	
Corto Plazo	
Limpieza y saneamiento del litoral. Gestión de drenajes.	
	
	
Mediano Plazo	
Eliminación de estructuras rígidas. Gestión de drenajes.	
	
	
La gestión de los drenajes en el medio plazo, tendrá dos frentes de acción. Por una parte, el seguimiento en la eliminación de micro-vertederos que aún no hayan sido eliminados y, por otra parte, la ejecución de las soluciones para el control y saneamiento de las descargas de los drenajes que se evacuan a través de las estructuras de hormigón (canales) presentes en ambos extremos del poblado de Bonasse y que vierten directamente al mar sin ningún tipo de tratamiento.	
El establecimiento de plantas de tratamiento de residuales, así como un sistema de drenajes por medio de conductoras magistrales y emisoras submarinas, deberán ser objeto de evaluación y proyectos que conformarían el Master Plan del litoral de Bonasse.	

MEDIDAS PARA LA REHABILITACIÓN Y PROTECCIÓN DE LA PLAYA DE BONASSE		
SECTORES 1 Y 2		
Medio plazo: Alimentación Artificial de Arena		
La Alimentación Artificial de Arena, como técnica de avanzada para la recuperación y/o mantenimiento de las playas, ha tenido resultados satisfactorios a nivel mundial, debido a sus innegables bondades y ventajas sobre otras alternativas ingenieras, en lo que respecta a la conservación de las condiciones naturales de las playas.		
Consiste básicamente en aportar nuevos volúmenes de arena a la playa, desde una zona de préstamo cercana, que permita devolver al sistema en un corto periodo de tiempo el sedimento perdido por el efecto de la erosión. Además, permite crear y/o recuperar espacios destinados para uso lúdico o relacionado con la pesca, así como proveer al perfil de playa los volúmenes de arena y el espacio necesario para su funcionamiento dinámico, sirviendo además como defensa costera.		
Dentro de sus ventajas más notables está la velocidad con que se restaura el perfil y la no introducción de nuevas estructuras en la zona costera, siendo esta una solución amigable y en armonía con el medio ambiente, además de ser estéticamente superior a la creación de estructuras rígidas, tales como espigones, rompeolas o malecones. Su implementación no compromete la aplicación de otras medidas en el futuro de ser necesarias, al no modificarse la morfología base del sector costero ni introducir elementos costosos y difíciles de eliminar.		
		
		
		
ANTES	DURANTE	DESPUÉS
		

Las causas de la erosión son, fundamentalmente naturales, asociadas al desbalance sedimentario de la playa, producto del déficit en los aportes de sedimentos provenientes de los acantilados aguas arriba, lo cual provoca que sean mayores los sedimentos que escapan de la playa por las corrientes litorales, que aquellos sedimentos que ingresan a la playa desde los acantilados, marcando una tendencia erosiva irreversible de manera natural.

Resulta comprensible que las actuaciones para solucionar los problemas de erosión, se orienten a la eliminación y/o mitigación de las causas que los generan y a la ejecución de trabajos que permitan la rehabilitación de los sectores de playa erosionados.

ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN EL DETERIORO DE LAS CONDICIONES MORFOLÓGICAS, ESTÉTICAS Y FUNCIONALES DE LA PLAYA EN EL SECTOR 1	
SECTOR <u>ALTAMENTE</u> ANTROPIZADO	
Contaminación de las aguas y los sedimentos por vertidos al mar sin procesar de los drenajes pluviales y desechos líquidos y sólidos de la actividad doméstica.	 
Estos elementos son focos de contaminación, que afectan la estética y funcionalidad de la playa como balneario, además de ser potenciales generadores de enfermedades por el incremento de microorganismos nocivos para la salud humana.	 
Escombros y estructuras de hormigón abandonadas y en franco proceso de destrucción.	 
Estos elementos afectan la estética de la playa, sin embargo, el principal impacto ocurre en la morfología y funcionalidad del perfil de playa, propiciando los procesos erosivos en momentos de tormentas, que aceleran la pérdida de sedimentos de la parte emergida de la playa.	 
Erosión costera, donde se aprecian indicios de erosión que sin lugar a dudas advierten la presencia inequívoca de este fenómeno, con una intensidad que se puede catalogar de moderada. Estos elementos afectan la estética de la playa, así como la morfología del perfil y la funcionalidad de la playa.	 
Dentro de estos indicios de erosión encontramos la formación de escarpes de erosión en la duna, destrucción de muros y estructuras de protección alcanzados por el oleaje, así como la reducción del ancho de playa que refleja la pérdida de sectores de dunas y la exposición al mar de la vegetación arbustiva típica de áreas de post-duna.	 