

Puerto Rico

Datos y Productos Recomendados

Post Huracanes Irma y María

Preparado por:



Contrato Nro. HSFE60-15-D-0005 Orden

de Trabajo 70FBR218F00000011 1 de

Marzo de 2018



FEMA

Tabla de Contenidos

1.0	Resumen del Proyecto	1
2.0	Adquisición de Datos.....	2
3.0	Datos Recomendados	3
3.1	Desarrollo de Data Fluvial Recomendada.....	3
3.1.1	Procesamiento del Terreno.....	4
3.1.2	Análisis Hidrológicos.....	4
3.1.3	Análisis Hidráulicos.....	23
3.1.4	Mapa de Valles de Inundación y Cuadrícula de Elevación de Aguas superficiales.....	29
3.1.5	Limitaciones / Suposiciones del Producto en el Valle de Inundación Ribereño del 1 Por Ciento de probabilidad.....	32
3.2	Desarrollo de Datos Costeros Recomendados	33
3.2.1	Procesamiento del Terreno.....	34
3.2.2	Redeliniación del 1 Por Ciento de Probabilidad anual del Límite de Frontera del Valle de Inundación.....	37
3.2.3	Cartografía del LiMWA.....	41
3.2.4	Modelaje y Cartografía Costera de 0.2 Por Ciento de Probabilidad	42
3.2.5	Cambio Costero a Largo Plazo	51
3.2.6	Erosión Costera Inducida por Tormenta.....	61
3.3	Productos Secundarios Recomendados	64
3.3.1	Producto de Desarrollo de Valle de Inundación	64
3.3.2	Análisis de Cambio de Mapa	69
3.3.3	Resúmenes de riesgo de inundación de instalaciones críticas.....	71
4.0	Referencias	77
5.0	Apéndices	78
5.1	Apéndice A: Lista de Análisis Hidráulicos por Caudal	78
5.2	Apéndice B: Comparación entre MHHW y la Elevación Superficial Más Lejana de Aguas Abajo para Caudales Desembocando en el Océano.....	87
5.3	Apéndice C: Valores de Manning “n”	93
5.4	Apéndice D: Configuración de las Olas.....	96
5.5	Apéndice E: Metodología de Erosión No Estándar de Puerto Rico	106
5.5.1	Descripción General	106

5.5.2	Introducción	106
5.5.3	Metodología.....	106

Lista de Tablas

Tabla 2-1: Fuente de Datos y Notas.....	2
Tabla 3-1: Archivos Espaciales entregados para la Preparación de la Red de Caudal y Delineación de Cuencas	7
Tabla 3-2: Archivos Espaciales entregados para el Cálculo de Caudales Máximos basados en Ecuaciones de Regresión solamente.....	9
Tabla 3-3: Caudales antes y después de incorporar los caudales de septiembre de 2017 al Análisis PeakFQ.....	11
Tabla 3-4: Lista de Ríos y Método de Ajustes de Caudal	13
Tabla 3-5: Archivos Espaciales y Datos Relacionados para los Caudales Máximos Ajustados Finales para el Área de Alto Drenaje y Regulación por Grandes Presas	14
Tabla 3-6: Resolución, Datum Vertical y Sistemas de Coordenadas Asociadas a Cada Fuente de Datos y DEM Topo-batimétricos final	34
Tabla 3-7: Lista de Huracanes Seleccionados para el Cálculo de la Condición de Oleaje de Inicio Costa Afuera.....	43
Tabla 3-8: Condición de Inicio de Ola Costa Afuera para Transectos de Alcance Limitado	44
Tabla 3-9: Información de recolección	55
Tabla 3-10: Clasificación de Estado General para los Transectos de Cambio del Litoral.	56
Tabla 3-11: Esquema de Clasificación de Riesgo de Erosión para Transectos de Cambio Costero	57
Tabla 3-12: Resumen de Comparación del Esfuerzo Consultor y los Cambios Costeros Barreto.....	60
Tabla 3-13: Combinaciones de Cambio de Zona y Categorías	69
Tabla 3-14: Sitios Prioritarios	72
Tabla 3-15: Estadísticas Generales de los Tipos de Instalaciones Generalmente en Mayor Riesgo	76

Lista de Figuras

Figura 3-1: Cuencas Hidrográficas HUC-10 y Longitud de los Cauces	4
Figura 3-2: Ubicación Espacial del Análisis Hidráulico	24
Figura 3-3: Desembocadura de Ríos al Océano y Ubicaciones Aguas Abajo más Cercana	27
Figura 3-4: Valle de Inundación Post-procesado.....	30
Figura 3-5: Valle de Inundación Post-procesado.....	31
Figura 3-6. Subregiones Utilizadas para Crear Datos Sin Costuras/Bordes Topo- batimétrica DEM	36
Figura 3-7: Configuración del Polígono de Interpolación	39
Figura 3-8: Herramienta de Limpieza del Valle de Inundación	40
Figura 3-9. Alcance del 2000 USGS / NASA DEM (áreas sin cobertura del litoral se muestran en rojo).....	52
Figura 3-10. Ejemplo de colocación y espaciado de transectos	54
Figura 3-11. Áreas Proyectadas de Riesgo de Erosión Costera trazados con la “Zona de Mapeo de Transectos” (un área que proporcionó cobertura a los puntos medios aproximados entre transectos).....	58
Figura 3-12: Ilustración del Proceso de Generación de Valle de Inundación Fusionado	65
Figura 3-13: Selección de las Elevaciones de la Superficie del Agua Ribereñas más Conservadoras.....	68
Figura 3-14: Resumen de Cambio de Zonas de Inundación.....	71

1.0 Resumen del Proyecto

El huracán Irma pasó al norte de Puerto Rico el 6 de septiembre de 2017, como un huracán de Categoría 5, con impactantes vientos de Categoría 3 (Declaración Presidencial de Desastres FEMA-4336-DR). El huracán María tocó tierra en el lado sureste de Puerto Rico como huracán de Categoría 4 el 20 de septiembre de 2017 (Declaración Presidencial de Desastres FEMA-4339-DR). Ambos huracanes causaron daños significativos por todos los alrededores de Puerto Rico, incluyendo las Islas municipios de Culebra y Vieques. Irma causó inundaciones leves; sin embargo, los daños causados debido al viento fueron significativos. El huracán María causó grandes marejadas ciclónicas costeras, erosión e inundaciones de ríos y arroyos. Varias áreas localizadas en los valles existentes de inundación de 1 por ciento y 0.2 por ciento de probabilidad anual efectivos no experimentaron marejadas ciclónicas significativas pero sufrieron daños por viento. A raíz de estos desastres, información actualizada de riesgo es vital para informar los esfuerzos de reconstrucción que se implementarán en Puerto Rico.

Este proyecto proporciona datos recomendados y desarrollo de productos con el propósito de aumentar la resiliencia y reducir las vulnerabilidades en Puerto Rico. Los datos y productos incluyen:

1. Datos Fluviales Recomendados
 - Análisis Hidrológicos
 - Análisis Hidráulicos
 - Mapas de Valles de Inundación y Red de Elevación de Superficie de Agua correspondientes a 1 por ciento y 0.2 por ciento de probabilidad anual
2. Data Costera Recomendada
 - Probabilidad anual de valles de inundación correspondiente a 1 por ciento
 - Mapas del Límite de Acción Moderada de las Olas (“LiMWA”)
 - Modelaje y mapas costeros del 0.2 por ciento de probabilidad
 - Cambio del litoral a largo plazo
 - Erosión costera inducida por tormentas
3. Productos de Apoyo Recomendados
 - Mapa de productos de cambio
 - Resúmenes de instalaciones críticas con riesgo de inundación

Todos los productos en este proyecto fueron desarrollados utilizando el Plan de Gestión de Calidad STARR II. Las listas de verificación de calidad fueron desarrolladas y usadas para garantizar revisiones completas y consistentes de los productos. Se efectuaron revisiones detalladas por pares y revisiones técnicas independientes para cada tarea y etapa apropiada del proyecto para verificar técnicamente la entrada de datos, suposiciones de análisis y los productos.

Este informe documenta las metodologías, suposiciones y fuentes de datos utilizadas para desarrollar los datos de riesgo de inundación y productos asociados.

2.0 Adquisición de Datos

La **Tabla 2-1** resume los datos recopilados para el desarrollo de los productos informativos recomendados de inundación y sus respectivos orígenes.

Tabla 2-1: Fuente de Datos y Notas

Dato	Fuente/Notas
Datos Topográficos	<ul style="list-style-type: none"> • La técnica de teledetección óptica (Light Detection and Ranging ,“LiDAR”) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (“USGS”) de 2017 proporcionó la fuente de datos topográficos básica para el proyecto. Este conjunto de datos se utilizó para el modelaje costero, modelaje ribereño y modelaje de la erosión. • Modelos de elevación digital (“DEM”) de 30 metros provenientes del conjunto de Datos de Elevación Nacional (“NED”) del USGS sólo se usaron para análisis hidrológicos. • La técnica del 2000 USGS/NASA ATM LiDAR DEM se utilizó para los análisis de cambio costero a largo plazo.
Datos Batimétricos	DEM’s Sin Costuras/Bordes Topográficas/Batimétricas desarrolladas por el estudio de Mapa de Tasas de Seguro de Inundación Digital (“FIRM”) en el 2009 para Puerto Rico y sus Municipios. Sólo una porción de la data batimétrica fue utilizada ya que la data topográfica fue proporcionada por 2017 USGS LiDAR.
Líneas de flujo	Las líneas de corriente provenientes del conjunto de datos de la Hidrografía Nacional (“NHD”) del USGS fueron utilizadas para desarrollar la red de flujo de los modelos hidrológicos. El conjunto de datos también incluye los límites del Código de Unidad Hidrológica - 10 (“HUC-10”), utilizados para la gestión de datos y la distribución del trabajo.
Datos Efectivos FIRM	Los datos efectivos para el área de estudio se obtuvieron de datos publicados del Mapa de Tasas de Seguro de Inundación (“FIRM”) y la Capa Nacional de Peligros de Inundación (“NFHL”).
Datos CNMS	Los Datos de Gestión de Necesidades Coordinadas (“CNMS”) de FEMA se utilizaron para identificar y validar el alcance del desarrollo de datos fluviales recomendados.
Niveles de Aguas Quietas (Stillwater Elevation)	Elevaciones de Aguas Quietas (Stillwater) desarrolladas como parte de Estudio de Seguro contra Inundaciones (“FIS”) efectivo de FEMA para Puerto Rico y Municipios, 2009.
Imágenes previas a la tormenta	Los análisis de erosión utilizaron imágenes aéreas provenientes de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (“NOAA”) y Google Earth.

Dato	Fuente/Notas
Imágenes posteriores a la tormenta	Los análisis de erosión utilizaron imágenes aéreas posteriores a la tormenta proveniente de Vexcel y NOAA.
Transectos del Modelado Costero	Datos de modelaje y transectos de olas terrestres desarrollados como parte del estudio FIS efectivo de FEMA para Puerto Rico y Municipios, 2009.

3.0 Datos Recomendados

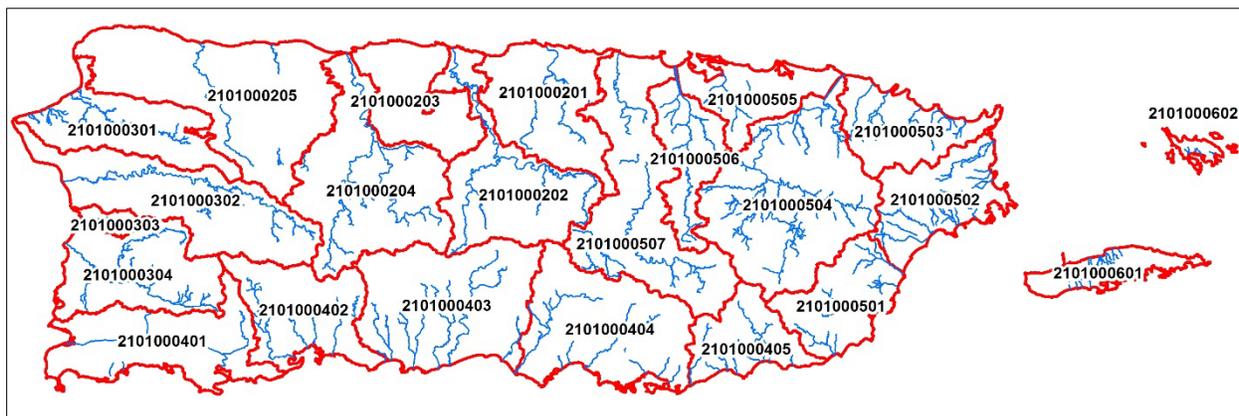
3.1 Desarrollo de Data Fluvial Recomendada

Los productos recomendados finales de desarrollo de datos fluviales incluyen:

1. Un shapefile de entidad de línea del Sistema de Información Geográfica ("SIG") representando los límites fluviales de frontera de 1 y 0.2 por ciento de probabilidad anuales delineados con el nuevo LiDAR 2017 del USGS, así como polígonos SIG que cubren los valles de inundación de 1 por ciento y 0.2 por ciento de probabilidad anual.
2. Cuadrícula de Elevación de Aguas superficiales correspondientes a 1 y 0.2 por ciento de probabilidad anual.
3. Un shapefile de entidad de línea SIG basado en la base de datos de Ingeniería de Nivel de Base ("BLE") analiza las secciones transversales y los ejes de los cauces (ríos) y las secciones transversales que incluyen las elevaciones de las agua superficiales para todos los intervalos de recurrencia analizados.
4. Todas las redes que abarcan los modelos hidrológicos e hidráulicos, incluyendo los insumos y productos del BLE.

La **Figura 3-1** muestra las cuencas hidrográficas HUC-10 y longitudes de los cauces de ríos (1,400 millas) donde se desarrollaron los datos recomendados.

Figura 3-1: Cuencas Hidrográficas HUC-10 y Longitud de los Cauces



Estos productos se diseñaron para ser entregados y difundidos digitalmente en las plataformas de SIG (programa instalado en la computadora) y Web-SIG. Las siguientes secciones proporcionan información sobre las fuentes de datos y limitaciones, los procedimientos de producción y la guía de uso para cada uno de los productos recomendados fluviales.

3.1.1 Procesamiento del Terreno

STARR II desarrolló una herramienta personalizada para el modelo mosaico 2017 USGS LiDAR y NED DEM para que cuando fuese necesario, repudiese brechas que pueden surgir en el procesamiento del mosaico terrenal. La herramienta utilizó re-muestreo bilineal para determinar el valor de la celda y el proceso de mosaico para asegurarse de que cualquier brecha fuese cubierta propiamente. Para los mosaicos de datos bien registrados (es decir, el mismo tamaño de celda, así como el mismo registro x-y de las esquinas de la celda), la aplicación primero crea un mosaico del conjunto de datos con las celdas vecinas antes del completar el re-muestreo. Los datos desarrollados por esta herramienta personalizada se utilizaron únicamente en los análisis fluviales.

3.1.2 Análisis Hidrológicos

La hidrología cuadriculada se desarrolló para la isla principal de Puerto Rico, así como para las islas municipios de Culebra y Vieques. Los caudales máximos para los eventos de 10 por ciento, 4 por ciento, 2 por ciento, 1 por ciento, más de 1 por ciento y 0.2 por ciento fueron calculados utilizando ecuaciones de regresión. El informe de USGS, Estimation of Magnitude and Frequency of Floods for Streams in Puerto Rico: New Empirical Models”, (Ramos-Ginés, 1999) requiere datos de profundidad del lecho rocoso. Dado que esta data no estaba disponible, las ecuaciones de regresión de dos parámetros publicadas por USGS (López, et al, 1979) y presentadas en el informe mencionado (Ramos-Ginés, 1999) se usaron para calcular todos los caudales máximos excepto para el evento de 0.2 por ciento. Para cada isla, se generó una cuadrícula para cada uno de los parámetros de regresión y para cada uno de los eventos de caudal (flujo). Cada celda de la cuadrícula tenía un valor correspondiente al área de drenaje y otros parámetros de regresión asociados con la cuenca que drenaba a esa celda.

Los pasos principales para el desarrollo de los datos hidrológicos incluyeron:

1. Red de flujos preparada, red hidrológica y cuencas hidrográficas delineadas;
2. Parámetros de entrada cuadrículados desarrollados y caudales máximos de las ecuaciones de regresión rural;
3. Flujos de regresión ajustados con datos de medición y flujos del FIS de FEMA para el Estado Libre Asociado de Puerto Rico y sus Municipios, donde fuese apropiado.

A continuación se discuten en las secciones presentadas los detalles para cada uno de estos pasos.

3.1.2.1 Preparación de la Red de Caudal y Delineación de la Cuenca

La red de flujos fue derivada de las líneas de flujo de alta definición para la cuenca de NHD, y se usaron como la base para el eje de los cauces y para desarrollar líneas de flujo hidrológico y cuencas de drenaje.

Las líneas NHD están disponibles en:

<ftp://nhdftp.usgs.gov/DataSets/Staged/SubRegions/FileGDB/HighResolution/>.

Estas entidades se actualizan frecuentemente; las versiones utilizadas en este proyecto datan de mayo a agosto de 2016.

Los pasos seguidos para desarrollar la red de flujos, delinear las cuencas hidrográficas y calcular las áreas de drenaje se detallan a continuación:

1. Se creó un DEM topográfico de 30 metros. Estos DEMs fueron extraídos del NED 1/3 arco segundo (aproximadamente 10 m) de rásteres, y fueron descargados de <ftp://rockyftp.cr.usgs.gov/vdelivery/Datasets/Staged/Elevation/13/GridFloat>.
2. Se usaron los datos de NED 1/3 arco segundo, tal como existían desde mediados de 2016. Cuando necesario, se generaron mosaicos para estos datos, re-proyectándolos en cuadrículas de 30 metros. El método de muestreo utilizado durante la re-proyección fue el re-muestreo bilineal. Cabe notar que este DEM **solo se usó para desarrollar los parámetros hidrológicos** y no se utilizó para la modelación hidráulica.
3. Todas las líneas de NHD de alta definición que intersectaban las cuencas contribuyentes fueron extraídas y, las líneas clasificadas como líneas costeras fueron eliminadas.
4. Se unieron las líneas NHD para crear la red de flujos. La red de transmisión fue revisada y modificada de la siguiente manera:
 - Las ubicaciones de flujo divergentes fueron revisadas y la ruta de la línea de flujo primaria fue identificada. Las rutas de flujo alternativas se eliminaron de la red.
 - Las líneas NHD clasificadas como canales, conductos subterráneos y tuberías fueron removidas de la red si no se correspondían con las rutas de la línea de flujo "natural" o cauces principales.

- Líneas de flujo fueron agregadas donde no había una línea de flujo NHD asociada con una línea CNMS.
5. Todas las líneas de flujo dentro de los 50 metros de las líneas CNMS fueron revisadas. En los lugares donde las dos alineaciones eran notablemente diferentes, la fotografía aérea y la topografía fueron revisadas para determinar la alineación correcta y, la línea de flujo NHD fue modificada si correspondía.
 6. La red de flujo de NHD luego fue utilizada como la base para el desarrollo de un DEM ajustado- la capa "grabada" ("burn" layer). En el proceso de grabado, las celdas DEM que cruzaron las líneas grabadas se modificaron aplicando elevaciones menores. La capa 'quemada' fue necesaria para ubicar con precisión las fuentes de inundación.
 7. Depresiones fueron insertadas en el DEM en lugares de depresiones físicas y en los contornos de los cauces que desembocaban al océano. Las ubicaciones iniciales de las depresiones se identificaron utilizando el Ultra Catalogo de Datos de San Juan (San Juan Ultra Data Catalog) <http://sanjuanultra.org/wp-content/shares/sjultra/catalogo.html>. Depresiones adicionales fueron insertadas donde fuese apropiado, basado en la revisión de las rutas de las líneas de flujo topográficas e hidrológicas. Una depresión se agregaba convirtiendo una celda DEM en un valor "nulo". Cuando las depresiones eran insertadas, las líneas de flujo terminaban en la depresión, por lo que depresiones se insertaban sólo cuando se creía con un alto grado de confianza que el evento anual de 1 por ciento no tendría suficiente volumen para desbordar la depresión.
 8. Una cuadrícula de dirección de flujo fue creada mediante los DEM rellenados, donde cada celda señalaba a la siguiente celda en la dirección de aguas abajo.
 9. Se delinearon las cuencas hidrográficas (es decir, las líneas de flujo y las cuencas fueron creadas a partir de las cuadrículas de dirección de flujo). Las cuencas se delinearon hasta un límite de 0.1 millas cuadradas, y las líneas de flujo hidrológicas también se crearon hasta 0.1 millas cuadradas de área de drenaje, que es el límite recomendado para los cálculos hidrológicos.

Se hicieron las siguientes revisiones:

1. Las cuencas hidrográficas y las líneas de flujo delineadas fueron examinadas para verificar su consistencia con las rutas de las líneas de flujo proyectadas para la cuenca. Las direcciones de flujo y el alineamiento entre la red de flujo de NHD y la red hidrológica se revisaron, y las diferencias se resaltaron con herramientas automatizadas. En general, las diferencias se produjeron cuando dos líneas quemadas estaban demasiado cerca y la cuadrícula de dirección del flujo era incorrecta. En estas ubicaciones, sólo la línea de flujo (cauce) mayor fue agregada dentro del DEM para corregir la dirección.
2. Una cuadrícula del área de drenaje fue calculada a lo largo de las rutas de las líneas de flujo y fueron verificadas con las medidas de flujo de las áreas de drenaje y ubicaciones de puntos en los datos de NHD Plus Versión 2 (http://www.horizon-systems.com/NHDPlus/NHDPlusV2_home.php). Si las líneas de flujo o las cuencas parecían estar erradas, entonces la red de flujo NHD se modificaba. Para áreas de

drenaje mayor, las diferencias dentro del 15 por ciento se consideraron aceptables. Cuando las diferencias en las áreas de drenaje entre los flujos computados y los de estaciones de USGS se encontraban entre el 10 y 15 por ciento, los valores computados se comparaban con los datos de NHD Versión 2. Si concordaban, no se hacían modificaciones. Vale notar que “StreamStats” actualmente no incluye a Puerto Rico y por lo tanto no se pudo usar para verificaciones.

3. Las líneas de flujo se verificaron en los límites de frontera HUC-10 para asegurarse de que no hubiesen flujos de cuenca cruzadas. Se agregaron depresiones donde fuese necesario para eliminar el drenaje en las cuencas HUC-10 adyacentes.
4. Si se aplicaron modificaciones, los pasos de relleno, dirección de flujo y delineamiento de la cuenca hidrográfica fueron repetidos y las áreas de drenaje recalculadas. Las ubicaciones marcadas fueron verificadas nuevamente.

Durante el proceso de revisión, se observaron las siguientes diferencias en las áreas de drenaje entre este estudio y los datos publicados:

1. Río Grande De Añasco (50144000): La cuenca de drenaje coincidió con los datos del USGS. Sin embargo, el USGS restó 36 millas cuadradas del área de drenaje total para tomar en cuenta desviaciones del cauce. Para ser conservadores en el cálculo de los caudales de inundación de los mapas de Recomendación del Nivel Base de Inundación (ABFEs), este estudio utilizó el área de drenaje total y las rutas de las líneas de flujo natural.
2. Río Tanamá en Charco Hondo (50028400): El área de drenaje del USGS fue calculada utilizando el área de la cuenca de drenaje mayor. Sin embargo, aparecieron dos lugares aguas arriba que carecían el volumen suficiente para desbordar la depresión durante un evento de inundación anual de 1 por ciento debido a un aumento de más de 100 pies en la topografía. Dado esto, se modelaron depresiones en estas ubicaciones para reducir así el área de drenaje contribuyente calculada. Vale notar que este no fue un cauce modelado.

Los archivos espaciales desarrollados se describen en la tabla a continuación.

Tabla 3-1: Archivos Espaciales entregados para la Preparación de la Red de Caudal y Delineación de Cuencas

Nombre del Archivo	Tipo	Descripción
*.nhd_prj.shp	polilínea	Líneas de flujo de alta definición de NHD en el área de drenaje contribuyente
*_topo.bil	cuadrícula	Modelo mosaico USGS DEM de 30 metros que cubre el área de drenaje contribuyente
*_burn_reaches.shp	polilínea	Red de flujo conectada derivada de líneas de flujo NHD modificadas.

Nombre del Archivo	Tipo	Descripción
_sinks_V2.shp	punto	Depresiones insertadas en el DEM
*_topo_burn.bil	cuadrícula	Topografía de 30 metros con red de flujo (es decir, tramos agregados) de porciones agregadas y depresiones insertadas
*_fd.bil	cuadrícula	Cuadrícula de dirección de flujo
*_fa.bil	cuadrícula	Cuadrícula de acumulación de flujo
*_sqmi.tif	cuadrícula	Área de drenaje contribuyente (en millas cuadradas) para todas las áreas de drenaje de 0.1 millas cuadradas o más
*_basinpolys_0.1.shp	polígono	Cuencas delineadas hasta un límite de 0.1 millas cuadradas de área de drenaje
*_basinpaths_0.1_join.shp	polilínea	Rutas de flujo hidrológico de hasta 0.1 millas cuadradas de área de drenaje
*_basinpolys_1.shp	polígono	Cuencas delineadas hasta un límite de 1 milla cuadrada de área de drenaje
*_basinpaths_1_join.shp	polilínea	Rutas hidrológicas de flujo de hasta 1 milla cuadrada de área de drenaje
*_basinpolys_5.shp	polígono	Cuencas delineadas hasta un límite de 5 millas cuadradas de área de drenaje
*_basinpaths_5_join.shp	polilínea	Rutas de flujo hidrológico de hasta 5 millas cuadradas de área de drenaje
*_basinpolys_10.shp	polígono	Cuencas delineadas hasta un límite 10 millas cuadradas de área de drenaje
*_basinpaths_10_join.shp	polilínea	Rutas de flujo hidrológico de hasta 10 millas cuadradas de área de drenaje
*_basinpolys_100.shp	polígono	Cuencas delineadas hasta un umbral de 100 millas cuadradas de área de drenaje
*_basinpaths_100_join.shp	polilínea	Rutas de flujo hidrológico de hasta 100 millas cuadradas de área de drenaje

Vale aclarar que no se hicieron ajustes en los flujos de regresión para Culebra y Vieques; estos fueron los caudales finales utilizados en la modelación.

3.1.2.2 Caudales Máximos Calculados de Ecuaciones de Regresión

Los caudales máximos para los eventos de frecuencia del 10 por ciento, 4 por ciento, 2 por ciento, 1 por ciento y 0.2 por ciento fueron calculados utilizando las ecuaciones de regresión publicadas por el USGS (López, 1979 y Ramos-Ginés, 1999). Descargas de más de 1 por ciento fueron calculadas añadiendo un error estándar. Las ecuaciones de regresión más recientes incluyeron un parámetro de profundidad a la roca madre. La base de datos de Soil Survey Geographic

Database ("SSURGO") estaba incompleta para el área de estudio. El Dr. Orlando Ramos-Ginés fue contactado, y afirmó que los datos SIG utilizados en su estudio no estaban disponibles. Dada esta deficiencia, se usaron las ecuaciones de 1979 desarrolladas por López y otros en la Tabla 5, en el informe de regresión, para calcular los flujos de regresión para el evento de 1 por ciento. Los caudales de probabilidad anuales de 0.2 por ciento fueron calculados usando la ecuación del informe de regresión de la Tabla 6. El área de drenaje contribuyente ("CDA") y la precipitación media anual ponderada por área ("MAR") fueron las características utilizadas de la cuenca para estimar los caudales. Cuadrículas de caudales fueron desarrolladas para cada frecuencia (evento) y los parámetros de entrada descritos anteriormente fueron desarrollados para áreas de drenaje de 0.1 millas cuadradas o más.

Los datos espaciales cuadrículados de la precipitación anual media (1963-1995) fueron obtenidos de la Cooperativa para la Conservación del Paisaje en el Caribe (Caribbean Landscape Conservation Cooperative). Datos más recientes no estaban disponibles. Los valores de precipitación fueron convertidos a pulgadas y limitados al área de estudio. Una cuadrícula de precipitación promedio ponderado por área fue creada para todas las áreas de drenaje de 0.1 millas cuadradas o más. Los valores menores y mayores para la precipitación fueron de 46.61 y 200 pulgadas, respectivamente. Para el área de estudio, todos los valores de precipitación promedio de la cuenca estuvieron dentro de este rango.

El error estándar promedio de predicción para una excedencia de probabilidad del 1 por ciento fue de 44.5 por ciento. Los caudales de más de 1 por ciento se calcularon multiplicando los caudales de 1 por ciento por 1.445.

Los archivos espaciales desarrollados se describen en la tabla a continuación.

Tabla 3-2: Archivos Espaciales entregados para el Cálculo de Caudales Máximos basados en Ecuaciones de Regresión solamente

Nombre del Archivo	Tipo	Descripción
*_sqmi.tif	cuadrícula	Área de drenaje contribuyente en millas cuadradas (CDA) para todas las áreas de drenaje de 0.1 millas cuadradas o más
*_precip_inches.tif	cuadrícula	Cuadrícula de precipitación PRISM limitada al área de drenaje contribuyente, re-proyectada al USGS Albers NAD83, ajustada a celdas de malla de 30 metros, y convertida a pulgadas
*_basinavgprecip.tif	cuadrícula	Precipitación promedio de la cuenca ponderada por área (MAR) para todas las áreas de drenaje de 0.1 millas cuadradas o más
*_Q10_eqs_only.tif	cuadrícula	Ecuación de regresión de caudal máximo de corrientes con un 10 por ciento de probabilidad de excedencia para todas las áreas de drenaje de 0.1 millas cuadradas o más

Nombre del Archivo	Tipo	Descripción
*_Q25_eqs_only.tif	cuadrícula	Ecuación de regresión de flujos de corriente con un 4 por ciento de probabilidad de excedencia para todas las áreas de drenaje de 0.1 millas cuadradas o más
*_Q50_eqs_only.tif	cuadrícula	Ecuación de regresión de flujos de corriente con un 2 por ciento de probabilidad de excedencia para todas las áreas de drenaje de 0.1 millas cuadradas o más
*_Q100_eqs_only.tif	cuadrícula	Ecuación de regresión de flujos de corriente con un 1 por ciento de probabilidad de excedencia para todas las áreas de drenaje de 0.1 millas cuadradas o más
*_Q100_plus1_eqs_only.tif	polilínea	Ecuación de regresión de más de 1 por ciento flujos de corriente pico (máximo)
*_Q500_eqs_only.tif	cuadrícula	Ecuación de regresión de caudal máximo de corrientes con un 0.2 por ciento de probabilidad de excedencia para todas las áreas de drenaje de 0.1 millas cuadradas o más

3.1.2.3 Análisis de Estaciones de Caudal

Los datos de todas las estaciones USGS sobrevivientes después de los huracanes recientes fueron descargados y analizados como parte del Informe de Priorización de Cuenca Hidrográfica de Puerto Rico Post-Irma / María (Puerto Rico Post Irma/Maria Watershed Prioritization Report) (5 de octubre de 2017). Como parte de ese esfuerzo, se completaron los análisis de período de recurrencia del Boletín 17B PeakFQ (PeakFQ, programa de Análisis de Frecuencia de Inundaciones) para los caudales máximos hasta 2016. Los caudales máximos de los eventos recientes fueron comparados con los períodos de recurrencia calculados en cada estación. El período de recurrencia para los caudales máximos de septiembre de 2017 fue estimado en base a esos resultados (consulte la Tabla 2 del informe mencionado arriba).

Como parte de este estudio, los caudales máximos de septiembre de 2017 se agregaron a los records históricos y los períodos de recurrencia fueron recalculados con el programa PeakFQ dondequiera que fueran mayores que el evento de 10 años. Los archivos PeakFQ fueron incluidos con los datos electrónicos.

La **Tabla 3-3** compara los caudales de probabilidad anual de 1 por ciento y 0.2 por ciento antes y después de que los caudales de 2017 se incorporaran al análisis PeakFQ.

Los cambios de caudal publicados por el USGS para el Huracán María no estaban disponibles. Para este análisis, se usaron los estimados de caudal de los datos diarios en el sitio web de USGS. Debido a que muchas de las estaciones de caudal dejaron de funcionar durante el evento, es muy probable que los caudales máximos utilizados en este estudio sean menores que los publicados por el USGS.

Tabla 3-3: Caudales antes y después de incorporar los caudales de septiembre de 2017 al Análisis PeakFQ

Estación	Descripción	Período de Registro del Estación (años)	Período de recurrencia hasta 2016 (pcs)		Período de recurrencia incluyendo 2017 (pcs)		Caudal Máx. de Sept. de 2017 (pcs)
			1-Perc	0.2-Perc	1-Perc	0.2-Perc	
50014800	RÍO CAMUY NR BAYANEY, PR	33	11,340	13,160	13,460	19,170	12,000
50025155	RÍO SALIENTE AT COABEY NR JAYUYA, PR	27	18,470	29,030	35,580	70,920	42,100
50026025	RÍO CAONILLAS AT PASO PALMA, PR	21	46,910	75,800	59,030	99,170	35,900
50028000	RÍO TANAMA NR UTUADO, PR	58	16,160	18,310	17,250	23,040	14,200
50031200	RÍO GRANDE DE MANATI NR MOROVIS, PR	51	71,180	118,800	77,290	130,700	45,100
50035000	RÍO GRANDE DE MANATI AT CIALES, PR	65	151,000	192,100	168,200	295,700	124,000
50038100	RÍO GRANDE DE MANATI AT HWY 2 NR MANATI, PR	56	212,200	314,600	227,800	345,200	135,000
50039500	RÍO CIBUCO AT VEGA BAJA, PR	59	58,670	110,500	67,920	132,900	50,000
50044810	RÍO GUADIANA NR GUADIANA, NARANJITO PR	17	13,160	17,930	16,890	23,220	11,600
50051800	RÍO GRANDE DE LOIZA AT HWY 183 SAN LORENZO, PR	28	10,060	12,120	67,620	110,200	17,500
50055750	RÍO GURABO BLW EL MANGO, PR	27	21,660	40,540	30,300	49,190	18,000
50064200	RÍO GRANDE NR EL VERDE, PR	42	27,960	33,410	30,390	46,070	19,200
50106100	RÍO COAMO AT HWY 14 AT COAMO, PR	31	82,650	127,900	91,740	243,900	27,700
50112500	RÍO INABON AT REAL ABAJO, PR	54	11,400	22,010	11,990	23,260	5,870

Estación	Descripción	Período de Registro del Estación (años)	Período de recurrencia hasta 2016 (pcs)		Período de recurrencia incluyendo 2017 (pcs)		Caudal Máx. de Sept. de 2017 (pcs)
50124200	RÍO GUAYANILLA NEAR GUAYANILLA, PR	36	31,810	62,020	34,910	69,080	17,000
50126150	RÍO YAUCO ABV DIVERSION MONSERRATE NR YAUCO, PR	23	20,900	29,900	41,640	71,930	24,300
50136400	RÍO ROSARÍO NR HORMIGUEROS, PR	32	16,420	26,000	18,440	29,760	12,200
50138000	RÍO GUANAJIBO NR HORMIGUEROS, PR	42	114,000	31,400	138,800	380,400	64,600
50144000	RÍO GRANDE DE ANASCO NR SAN SEBASTIAN, PR	54	137,300	265,600	161,300	324,800	132,000
50148890	RÍO CULEBRINAS AT MARGARITA DAMSITE NR AGUADA, PR	19	5,583	6,147	5,963	6,659	5,580

3.1.2.4 Ajustes con las Estaciones de Caudal y Caudales del FIS

Los caudales de regresión calculados se compararon con los caudales de la estación del Boletín 17B, así como los caudales del FIS en los cauces principales. Para los cauces con estaciones donde las diferencias fueron significativas y los años de registro eran largos, los caudales de regresión fueron ajustados para que fuesen más parecidos a los caudales de la estación. Además, los caudales basados en regresión fueron ajustados cuando se encontraban diferencias notables entre los caudales del FIS en los cauces principales. Para ser conservador en el desarrollo de ABFE, se hizo mayor énfasis en ajustar el caudal de regresión donde los caudales de FIS eran más altos.

El método para ajustar el caudal de regresión en caudales con estaciones, presentado en el informe de regresión (Ramos-Ginés, 1999), no fue aplicado porque hubiese causado que los caudales disminuyeran en la dirección de aguas abajo. Debido a que el procedimiento de ponderación del USGS parecía dar resultados poco realistas, las descargas estimadas en la estación de caudal del cauce se transfirieron a otras ubicaciones del cauce usando el área de drenaje en la ubicación de interés.

Se ejecutó una regresión de cuadrados mínimos ponderados, donde la variable explicativa fue el logaritmo del área de drenaje, y la variable dependiente fue el logaritmo de la descarga de la estación del caudal y / o el caudal del FIS. El peso de cada estación de caudal para la regresión de cuadrados mínimos ponderados fue el número de años válidos en el registro de caudal

máximo. Los caudales del FIS tenían un peso de uno. Se evaluó la razonabilidad de los caudales finales y se hicieron algunos ajustes a las estimaciones de regresión ponderada.

Los caudales máximos de los huracanes de septiembre de 2017 fueron menores que el caudal máximo final de 100 años, excepto en la Estación de Caudal 50026025, Río Caonillas en Paso Palma. Para esta estación, el caudal de los huracanes se encontraba entre los caudales probables anuales de 1 por ciento y 0.2 por ciento y, por lo tanto, se refleja en los mapas del valle de inundación y las elevaciones superficiales calculadas del agua.

La **Tabla 3-4** enumera los cauces donde se ajustaron los caudales e identifica dónde se usaron las estaciones de caudal y los caudales del FIS. El ID del cauce (Stream ID) representa la identidad de la(s) ruta(s) de la(s) línea(s) de flujo hidrológica que el cauce sigue en el *_basinpaths_0.1_join.shp. El ID del cauce de un tramo corresponde al nombre del modelo HEC-RAS. La **Tabla 3-4** también proporciona los IDs del cauce de los modelos HEC-RAS y sus nombres de cauces (ríos) correspondientes.

Tabla 3-4: Lista de Ríos y Método de Ajustes de Caudal

ID del Cauce en el Modelo HEC-RAS	Nombre del Cauce	Método de Ajuste de Caudal
17263	Quebrada Blanca at El Jagual	Datos de estaciones
16050, 16054	Quebrada Margerita	Caudales del FIS
17283	Quebrada Salvatierra Nr San Lorenzo	Datos de estaciones
17725	Río Bairoa	Caudales del FIS
2027	Río Bucana rio bajo del embalse	Datos de estaciones
17646	Río Caguitas	Datos de estaciones y Caudales del FIS
9956	Río Camuy	Datos de estaciones
10355	Río Caonillas/Río Saliente	Datos de estaciones
17315	Río Cayaguas	Datos de estaciones
13347, 13406	Río Cibuco	Datos de estaciones
3810, 3955	Río Coamo	Datos de estaciones y Caudales del FIS
7132, 7143	Río Culebrinas	Datos de estaciones y Caudales del FIS
15363, 15382,15385	Río De Bayamon	Datos de estaciones
14093	Río De La Plata	Datos de estaciones
13251, 13252	Río Duguao	Caudales del FIS
16857, 16860	Río Espiritu Santo	Datos de estaciones
16941	Río Grande	Datos de estaciones
12119	Río Grande de Manati	Datos de estaciones
6353, 6359, 6362	Río Guamani	Caudales s del FIS
2498	Río Guanajibo	Datos de estaciones y Caudales del FIS
8407	Río Guayanes	Caudales del FIS

ID del Cauce en el Modelo HEC-RAS	Nombre del Cauce	Método de Ajuste de Caudal
1552	Río Guayanilla	Datos de estaciones
17805	Río Gurabo	Datos de estaciones y Caudales del FIS
9741	Río Humacao	Datos de estaciones y Caudales del FIS
7002	Río Jacaboa	Caudales del FIS
3504	Río Jacaguas	Caudales del FIS
4878	Río Lapa	Datos de estaciones
4771	Río Majada-Nagua en Coco	Datos de estaciones y Caudales del FIS
16599	Río Mameyes	Datos de estaciones y Caudales del FIS
7690	Río Manubo	Datos de estaciones
6558	Río Nigua at Arroyo and Pitahaya	Caudales del FIS
2166	Río Portugues	Datos de estaciones
11940, 11954	Río Santiago	Caudales del FIS
7989	Río Tanama	Datos de estaciones
3382	Río Toa Vaca and Jacaguas	Caudales del FIS
17465	Río Turabo	Datos de estaciones y Caudales del FIS
17970	Río Valenciano	Datos de estaciones

Los archivos espaciales desarrollados se describen en la tabla a continuación.

Tabla 3-5: Archivos Espaciales y Datos Relacionados para los Caudales Máximos Ajustados Finales para el Área de Alto Drenaje y Regulación por Grandes Presas

Nombre del Archivo	Tipo	Descripción
*_adj_streams.shp	polilínea	Polilíneas que muestran dónde se realizaron los ajustes de flujo regulados para grandes presas
gage.shp	punto	Shapefile con los flujos de frecuencia de la estación PEAKFQ y / o flujos FIS. Los últimos dígitos del nombre del archivo corresponden al ID del cauce (Stream ID).
_adj_stream_regress_eqs_.shp	polilínea	Shapefile con los resultados de la regresión para cada período de retorno usando los datos de la estación y/ datos de flujo y el área de drenaje. Los últimos dígitos del nombre del archivo corresponden al período de retorno.

Nombre del Archivo	Tipo	Descripción
*_Q10_final.tif	cuadrícula	Flujos de corriente pico final con estaciones y ajustes de flujo FIS el evento de 10 años
*_Q25_final.tif	cuadrícula	Flujos de corriente pico final con estaciones y ajustes de flujo FIS el evento de 25 años
*_Q50_final.tif	cuadrícula	Flujos de corriente pico final con estaciones y ajustes de flujo FIS el evento de 50 años
*_Q100_final.tif	cuadrícula	Flujos de corriente pico final con estaciones y ajustes de flujo FIS el evento de 100 años
*_Q100_plus1_final.tif	cuadrícula	Flujos de corriente pico final con estaciones y ajustes de flujo FIS el evento de 100 años y más
*_Q500_final.tif	cuadrícula	Flujos de corriente pico final con estaciones y ajustes de flujo FIS el evento de 500 años

3.1.2.5 Comparación de Caudales

Como se describe en las secciones a continuación, los caudales calculados fueron comparados con los análisis seleccionados de las estaciones de caudal y caudales del FIS. Shapefiles con las comparaciones están incluidas con los datos electrónicos.

3.1.2.5.1 HUC 2101000202 – Cuenca del Río Cibuco

Usando la metodología descrita anteriormente, dos estaciones de caudal se usaron en el Río Cibuco para ajustar los caudales de regresión en el Río Cibuco y el Río de Los Negros. La siguiente tabla muestra que el caudal de la estación de probabilidad anual de 1 por ciento y el caudal de probabilidad anual del 1 por ciento utilizado en este estudio coinciden.

Estación	Nombre de la Fuente de Inundación	Caudal de la Estación para 1% de Probabilidad Anual (pcs)	Caudal BLE para 1% de Probabilidad Anual (pcs)
50038320	Río Cibuco	27,200	27,345
50039500	Río Cibuco	67,920	63,260

Los caudales calculados de probabilidad anual de 1 por ciento y los caudales del FIS para aquellos cauces que no forman parte del ajuste de la estación de caudal anterior, fueron similares a los de la Quebrada Honda. Aparentemente, existía un problema de conversión de unidad o error tipográfico en los caudales del FIS en el Río Morovis y en el Río De Los Negros y los resultados no eran comparables. El caudal de regresión anual calculado de 1 por ciento de probabilidad en el Río Indio era más alto que el caudal del FIS. Dado que los mapas ABFEs estaban siendo desarrollados, el caudal mayor y más conservador fue utilizado en este estudio.

3.1.2.5.2 HUC 2101000202 – Cuenca del Río Grande de Manatí

Tres estaciones en Río Grande de Manatí se usaron para ajustar los caudales de regresión en este río para áreas de drenaje de menos de 50 millas cuadradas. La tabla siguiente muestra que el caudal de la estación del 1 por ciento de probabilidad anual y el caudal del 1 por ciento de

probabilidad anual utilizado en este estudio coincide. El caudal de regresión anual del 1 por ciento de probabilidad anual y el caudal de la estación en Río Orocovis se encontraban dentro del 7 por ciento, por lo que los caudales de regresión no fueron ajustados. El caudal de regresión de 1 por ciento de probabilidad anual fue menor que el caudal de la estación en Río Bauta. Sin embargo, los caudales no fueron ajustados porque el Río Bauta no fue modelado en este estudio.

Estación	Nombre de la Fuente de Inundación	Caudal del Estación para 1% de Probabilidad Anual (pcs)	Caudal BLE para 1% de Probabilidad Anual (pcs)
50031200	Río Grande de Manatí	77,290	76,415
50035000	Río Grande de Manatí	151,000	160,701
50038100	Río Grande de Manatí	227,800	208,769
50030460	Río Orocovis	10,690	9,935
50038100	Río Bauta	35,450	28,632

Los caudales calculados en el Río Grande de Manatí fueron menores que los caudales del FIS. Sin embargo, los caudales coinciden con los datos de la estación de caudal y no se realizaron más ajustes. Los caudales calculados en Río Orocovis fueron mayores que los caudales del FIS, pero estuvieron de acuerdo con los datos de la estación de caudal. Por lo tanto, tampoco se hicieron ajustes.

3.1.2.5.3 HUC 2101000204 – Río Grande de Arcibo

Una comparación de los caudales de la estación y los caudales finales calculados se incluye en la tabla a continuación. Los caudales fueron ajustados con los datos de la estación de caudal aguas arriba del Lago Caonillas. Los caudales de regresión fueron mayores pero todavía dentro del 20 por ciento para Río Limón y Río Tanamá, por lo que no se hicieron ajustes.

Estación	Nombre de la Fuente de Inundación	Caudal del Estación para 1% de Probabilidad Anual (pcs)	Caudal BLE para 1% de Probabilidad Anual (pcs)
50025155	Río Saliente	35,580	35,673
50026025	Río Caonillas	59,030	58,996
50038100	Río Limón	40,540	47,465
50030460	Río Tanamá	17,250	19,211

Los caudales de regresión fueron comparados con los caudales del FIS aguas abajo del Lago Dos Bocas. Los caudales de regresión del 1 por ciento de probabilidad anual estaban dentro del 10 por ciento de los caudales del FIS, por lo que no se hicieron ajustes.

3.1.2.5.4 HUC 2101000205 – Quebrada Los Cedros al Río Camuy

Los caudales en el Río Camuy se ajustaron con los datos de la estación de caudal que tenía la información de caudal más prolongada en tiempo. La comparación de caudal se muestra en la tabla a continuación.

Estación	Nombre de la Fuente de Inundación	Caudal del Estación para 1% de Probabilidad Anual (pcs)	Caudal BLE para 1% de Probabilidad Anual (pcs)
50014800	Río Camuy	13,460	13,460
50015700	Río Camuy	14,950	14,950

El caudal de regresión fue un poco mayor pero similar al caudal medido en la estación en la boca del río. No se realizaron ajustes adicionales a los caudales.

3.1.2.5.5 HUC 2101000301 – Río Culebrinas

Los caudales en el Río Culebrinas se ajustaron con una estación de caudal (ver la tabla a continuación) y con los caudales del FIS. Los caudales calculados resultaron dentro del 5 por ciento de los caudales del FIS en este cauce (río).

Estación	Nombre de la Fuente de Inundación	Caudal del Estación para 1% de Probabilidad Anual (pcs)	Caudal BLE para 1% de Probabilidad Anual (pcs)
50047800	Río Culebrinas	46,850	54,309

Los caudales de regresión a lo largo de los afluentes fueron mayores que los caudales del FIS. Se usaron los caudales de regresión más conservadores.

3.1.2.5.6 HUC 2101000302 – Río Grande de Añasco

La siguiente tabla compara los caudales calculados y los caudales de los estaciones. Los caudales de regresión resultaron un poco más altos pero dentro del 15 por ciento de los caudales del FIS y fueron similares a la estación en Río Grande de Añasco, por lo que no se realizaron ajustes.

Estación	Nombre de la Fuente de Inundación	Caudal del Estación para 1% de Probabilidad Anual (pcs)	Caudal BLE para 1% de Probabilidad Anual (pcs)
50141000	Río Blanco	18,000	26,182
50144000	Río Grande de Añasco	161,300	160,860

3.1.2.5.7 HUC 2101000303 – Río Yagüez

No hubo estaciones con un período largo de información registrada en esta cuenca. El caudal de regresión y el caudal del FIS fueron similares, por lo que no se realizaron ajustes.

3.1.2.5.8 HUC 2101000304 – Río Guanajibo

Una comparación de los caudales calculados y los caudales de las estaciones se muestra en la tabla a continuación.

Los caudales en el río Guanajibo se ajustaron basados en las dos estaciones de caudal presentadas a continuación y los caudales del FIS en la boca del río cerca de la PR-347, en la PR 2, y el límite de estudio aguas arriba.

Los caudales en el Río Guanajibo no se ajustaron ya que los caudales disminuyeron con el área de drenaje. Se usaron los caudales de regresión más altos.

Estación	Nombre de la Fuente de Inundación	Caudal del Estación para 1% de Probabilidad Anual (pcs)	Caudal BLE para 1% de Probabilidad Anual (pcs)
50131990	Río Guanajibo	59,620	59,278
50138000	Río Guanajibo	138,800	139,250
50136000	Río Rosario	27,320	31,243
50136400	Río Rosario	18,440	32,547

Los caudales del FIS y de regresión difieren en los cauces pequeños, generalmente dentro del remanso del Río Guanajibo. Los caudales no fueron ajustados en estos lugares.

3.1.2.5.9 HUC 2101000401 – Quebrada Boquerón hasta Río Loco

No se encontraron estaciones con un largo período de información registrada en esta cuenca. El caudal de regresión y los caudales del FIS fueron similares en el Río Loco, aguas arriba de la confluencia con el Canal Este de Drenaje del Valle de Lajas. El área de drenaje para el canal (~ 50 millas cuadradas) fue utilizado en el método de regresión de caudal. Los caudales de regresión fueron mayores que los caudales del FIS aguas abajo de la confluencia. No se hicieron ajustes al caudal y los valles de inundación no fueron significativamente diferentes.

3.1.2.5.10 HUC 2101000402 – Río Yauco hasta Río Tallaboa

La comparación de los caudales calculados y los caudales de la estación se muestran en la tabla a continuación.

Los caudales en el Río Guayanilla fueron ajustados basados en los dos estaciones de caudal presentados.

Los caudales en el Río Tallaboa no se ajustaron a la estación de caudal porque el caudal calculado fue similar al flujo FIS en esta ubicación. Los caudales calculados fueron mayores que los caudales del FIS aguas abajo de la estación. Para ser conservador, los caudales no fueron ajustados.

Estación	Nombre de la Fuente de Inundación	Caudal del Estación para 1% de Probabilidad Anual (pcs)	Caudal BLE para 1% de Probabilidad Anual (pcs)
50124200	Río Guayanilla	34,910	34,731
50124500	Río Guayanilla	46,970	42,614
50121000	Río Tallaboa	42,320	36.455

Aunque aparecieron algunas diferencias entre los caudales del FIS y los de regresión en otros lugares, no se realizaron ajustes porque estas diferencias no deben resultar en valles de inundación notablemente diferentes.

3.1.2.5.11 HUC 2101000403 – Río Matilde hasta Río Descalabrado

Una comparación de los caudales calculados y los caudales de la estación se muestran en la tabla a continuación.

Los caudales en el Río Portugués se ajustaron basados en los caudales de la estación. Dado que la regresión de la estación de caudal fue ponderada por el período de retorno, los caudales coinciden muy de cerca con los de la Estación de Caudal 50115000.

Caudales en el Río Jacaguas fueron ajustados en base a los caudales del FIS.

Caudales en el Río Bucana fueron ajustados aguas abajo del Lago Cerrillos en base a los datos de la estación de caudal.

Estación	Nombre de la Fuente de Inundación	Caudal del Estación para 1% de Probabilidad Anual (pcs)	Caudal BLE para 1% de Probabilidad Anual (pcs)
50108000	Río Descalabrado	25,930	19,355
50110900	Río Toa Vaca	15,070	22,999
50112500	Río Inabón	11,990	17,095
50113800	Río Cerrillos	18,480	20,850
50114000	Río Cerrillos	31,290	15,486
50114390	Río Bucana	20,010	19,831
50114900	Río Portugués	7,784	12,350
50115000	Río Portugués	19,840	14,586
50115900	Río Portugués	26,280	28,832

Se intentó ajustar los caudales en el Río Descalabrado en base a la estación de caudal mencionada arriba y otras estaciones de caudal cercanos. Los resultados del análisis de la estación de caudal no fueron razonables, por lo que no se ajustó ni se utilizó el caudal de regresión.

Los caudales de regresión más conservadores fueron usados en el Río Toa Vaca.

Los caudales de regresión FIS para el Río Inabón fueron razonables, por lo que no se realizaron ajustes.

La Estación de Caudal 50113800 en el Río Cerrillos estaba aguas arriba del Lago Cerrillos, y la diferencia entre la estación de caudal y los caudales de regresión eran pequeños. La Estación de Caudal 50114000 estaba río abajo del Lago Cerrillos, y el registro de la estación reflejaba caudales antes de la construcción de la represa. Dado este hecho, no se realizaron ajustes de caudal en esta estación.

Para los cauces restantes, se usaron los cauces de regresión generalmente más altos y más conservadores.

3.1.2.5.12 HUC 2101000404 – Río Coamo hasta Río Seco

Una comparación de los caudales calculados y los caudales de la estación se muestran en la tabla a continuación.

Los caudales en el Río Coamo se ajustaron usando el caudal de la estación y los caudales del FIS. La Estación de Caudal 50106500 no fue usada porque el caudal del 1 por ciento de probabilidad anual disminuyó con el área de drenaje.

Los caudales en el Río Lapa se ajustaron en base a los datos de la estación de caudal.

Los caudales en el Río Majada y Río Nigua se ajustaron usando la estación de caudal y los caudales del FIS.

Estación	Nombre de la Fuente de Inundación	Caudal del Estación para 1% de Probabilidad Anual (pcs)	Caudal BLE para 1% de Probabilidad Anual (pcs)
501002000	Río Lapa	23,210	23,319
50100450	Río Majada	42,120	40,741
50106100	Río Coamo	91,740	91,811
50106500	Río Coamo	62,590	94,834

3.1.2.5.13 HUC 2101000405 – Río Guamaní hasta Río Jacoboa

Sólo había una estación de caudal (ver la tabla a continuación) en esta cuenca hidrográfica que tenía un largo período de información registrada. Los caudales de la estación y regresión estuvieron dentro del 2 por ciento, por lo que los caudales de regresión no fueron ajustados.

Estación	Nombre de la Fuente de Inundación	Caudal de la Estación para 1% de Probabilidad Anual (pcs)	Caudal BLE para 1% de Probabilidad Anual (pcs)
50092000	Río Grande de Patillas	29,330	28,815

El Río Guamaní, el Río Jacoboa, y el Río Nigua fueron ajustados en base a los caudales del FIS.

3.1.2.5.14 HUC 2101000501 – Río Maunabo hasta Río Humacao

Una comparación de los caudales calculados y los caudales de la estación se muestran en la tabla a continuación.

Los caudales en el Río Humacao se ajustaron en base a los caudales de la estación y del FIS.

Los caudales en el Río Maunabo se ajustaron en base a los datos del caudal de la estación.

Estación	Nombre de la Fuente de Inundación	Caudal del Estación para 1% de Probabilidad Anual (pcs)	Caudal BLE para 1% de Probabilidad Anual (pcs)
50081000	Río Humacao	17,130	19,181
50090500	Río Maunabo	17,630	17,407
50091000	Río Maunabo	34,900	35,039

Los caudales en el Río Guayanes fueron ajustados usando a los caudales FIS.

Hubo diferencias en los caudales de regresión y los del FIS para los cauces restantes con áreas de drenaje pequeñas. Las diferencias en los caudales del FIS y de regresión no deberían afectar notablemente las delineaciones de los valles de inundación.

3.1.2.5.15 HUC 2101000502 – Río Antón Ruiz hasta Río Fajardo

Hubo una estación de caudal en un cauce analizado que tuvo un largo período de información registrada: Estación de Caudal 5007100 en Río Fajardo. El caudal de la estación del 1 por ciento de probabilidad anual fue de 26,080 pcs y el caudal de regresión fue de 31,280 pcs. El caudal de regresión más conservador fue utilizado.

Los caudales en el Río Daguao y el Río Santiago fueron ajustados en base a los caudales del FIS.

Hubo diferencias en los caudales de regresión y del FIS para los cauces restantes con áreas de drenaje pequeñas. Las diferencias en los caudales del FIS y de regresión no deberían afectar notablemente las delineaciones del valle de inundación.

3.1.2.5.16 HUC 2101000503 – Río Herrera hasta Las Cabezas de San Juan

Una comparación de los caudales calculados y los de la estación se muestran en la tabla a continuación.

Los caudales en el Río Espíritu Santo y Río Grande fueron ajustados únicamente usando los datos del caudal de la estación. Los caudales en el Río Mameyes se ajustaron usando los datos de los caudales de la estación y del FIS. Los caudales no fueron ajustados en el Río Sabana porque los caudales de calibración y regresión eran similares.

Estación	Nombre de la Fuente de Inundación	Caudal del Estación para 1% de Probabilidad Anual (pcs)	Caudal BLE para 1% de Probabilidad Anual (pcs)
50063300	Río Espíritu Santo	13,550	13,608
50063800	Río Espíritu Santo	25,880	26,562
50064200	Río Grande	28,190	24,532
50062500	Río Herrera	5,446	7,908
50065700	Río Mameyes	46,710	43,263
50065500	Río Mameyes	26,720	26,477
50067000	Río Sabana	12,380	10,771

En general, los caudales de regresión fueron mayores que los del FIS. Para ser más conservador, se usaron los caudales de regresión.

3.1.2.5.17 HUC 2101000504 – Río Grande de Loíza

Una comparación de los caudales calculados y los de la estación se muestra en la tabla a continuación.

Los datos de los caudales de la estación fueron usados para ajustar los caudales de Quebrada Blanca, Quebrada Salvatierra, Río Cayaguas y Río Valenciano.

Los datos de los caudales de la estación y los del FIS fueron usados para ajustar los caudales en Río Gurabo, Río Turabo y Río Caguitas.

Ya que los caudales de la estación y de regresión en el Río Canovanas eran similares, no se hizo ajuste alguno.

Los caudales de regresión coinciden cercanamente con los caudales del FIS en Río Grande de Loíza. Por lo tanto, no se realizaron ajustes en los datos del caudal de la estación.

Estación	Nombre de la Fuente de Inundación	Caudal del Estación para 1% de Probabilidad Anual (pcs)	Caudal BLE para 1% de Probabilidad Anual (pcs)
50051150	Quebrada Blanca	13,240	15,008
50051180	Quebrada Salvatierra	18,170	16,309
50055225	Río Caguitas	32,700	29,864
50062500	Río Canas	8,646	13,515
50065700	Río Canovanas	23,610	25,451
50065500	Río Cayaguas	26,440	26,952
50055000	Río Grande de Loíza	80,460	114,240
50051800	Río Grande de Loíza	67,620	62,957
50050900	Río Grande de Loíza	36,830	12,779
50057000	Río Gurabo	115,200	114,954
50053025	Río Turabo	18,780	19,004
50056400	Río Valenciano	44,530	44,173

Los caudales del FIS fueron usados para ajustar los caudales en el Río Bairoa.

En general, los caudales del FIS y los calculados estuvieron en acuerdo razonable, excepto en un par de cauces más pequeños donde dominaba el remanso del tallo principal. Los efectos en el valle de inundación deben ser pequeños.

3.1.2.5.18 HUC 2101000505 – Estuario de la Bahía de San Juan

No hubo estaciones de caudal con largos períodos de información registrada en esta cuenca.

Los caudales en el Río Quebrada Margarita fueron ajustados usando los caudales del FIS.

Las diferencias entre los caudales de regresión y del FIS no fueron grandes y no se realizaron ajustes adicionales.

3.1.2.5.19 HUC 2101000507 – Río de Bayamón hasta Río Hondo

Una comparación de los caudales calculados y los de la estación se muestran en la tabla a continuación.

Los datos de la estación de caudal se usaron para ajustar los caudales en el Río De Bayamón.

Estación	Nombre de la Fuente de Inundación	Caudal del Estación para 1% de Probabilidad Anual (pcs)	Caudal BLE para 1% de Probabilidad Anual (pcs)
50047535	Río de Bayamón	2,025	2,198
50047560	Río de Bayamón	30,050	18,461
50047850	Río de Bayamón	49,300	58,337
50048000	Río de Bayamón	91,450	86,876

Los caudales del FIS y de regresión eran similares para los otros tramos.

3.1.2.5.20 HUC 2101000506 – Río de La Plata

Una comparación de los caudales y los de la estación se muestran en la tabla a continuación.

Los datos de la estación de caudal fueron usados para ajustar los caudales en el Río de La Plata. No hubo suficientes datos de la estación de caudal aguas abajo del embalse para ajustar los caudales. Los caudales calculados fueron conservadores y muestran el efecto de lo que sucedería si el embalse estuviera a capacidad total durante las condiciones de inundación.

Estación	Nombre de la Fuente de Inundación	Caudal del Estación para 1% de Probabilidad Anual (pcs)	Caudal BLE para 1% de Probabilidad Anual (pcs)
50043000	Río de La Plata	127,200	133,921
50043800	Río de La Plata	229,900	200,048
50045010	Río de La Plata	247,700	265,806

Las diferencias entre los caudales del FIS y los de regresión en los afluentes fueron razonables.

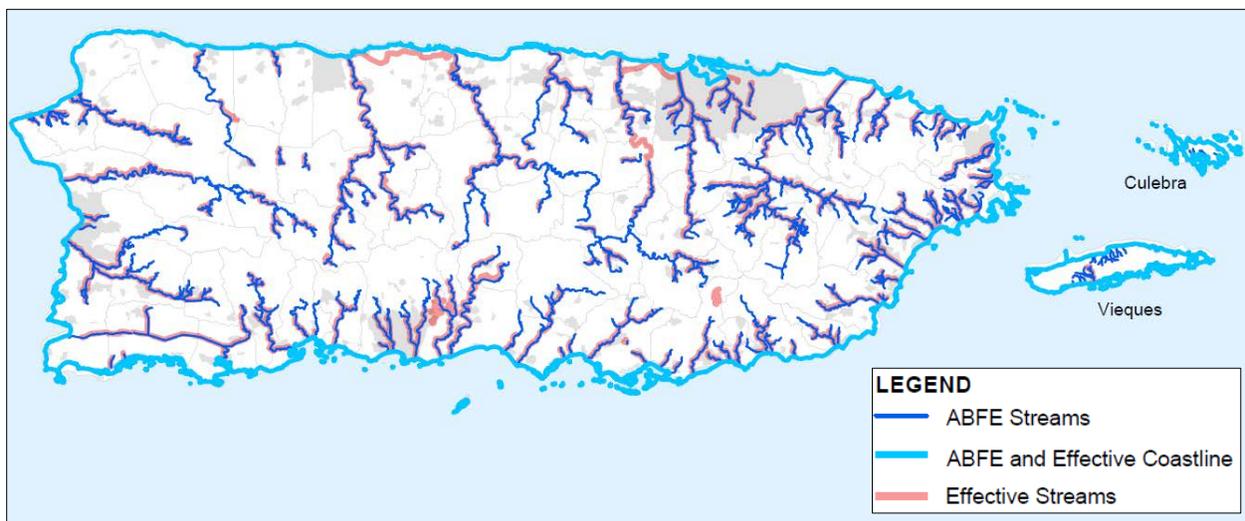
3.1.3 Análisis Hidráulicos

El ámbito de los análisis hidráulicos era el de desarrollar información de riesgo no regulatoria de inundación (es decir, Ingeniería de Nivel de Base) para 950 millas de cauces CNMS existentes, así como para 500 millas adicionales de áreas no trazadas/dibujadas. Una red de flujo fue desarrollada aprovechando los ejes (líneas centrales) CNMS de FEMA y los datos de resolución alta a media de NHD para áreas no trazadas. La **Figura 3-2** proporciona la ubicación espacial del análisis BLE de 1,400 millas. El **Apéndice A** proporciona la lista de los cauces donde se completó el análisis hidráulico junto con la nomenclatura del modelo HEC-RAS. El total de millas final fue ligeramente menor que el propuesto originalmente debido a varios factores que se detallan a continuación:

1. Parcialmente o completamente influenciado por la costa en los siguientes HUC-10s:
 - 2101000507 - Cuenca Río de la Plata
 - 2101000505 - Cuenca Estuario de la Bahía de San Juan
 - 2101000203 - Cuenca Costal Caño Tiburones
 - 2101000502 - Cuenca Río Antón Ruiz a Río Fajardo Cuenca
 - 2101000503 - Cuenca Río Herrera a Cuenca Costal Las Cabezas de San Juan

2. Imposible localizar claramente las rutas de las líneas de flujo por medio de LiDAR o fotografía aérea en los segmentos aguas arriba de los cauces propuestos en los siguientes HUC-10:
 - 2101000403 - Cuenca Río Matilde a Cuenca Río Descalabrado
 - 2101000504 - Cuenca Río Grande de Loíza
 - 2101000506 - Cuenca Río de Bayamón a Cuenca Río Hondo
3. Los Ejes (líneas centrales) de los cauces fueron ajustados para ser mejor adaptados a los datos LiDAR o fotografías aéreas de la fuente original de la base de datos CNMS o los ejes (líneas centrales) NHD de los cauces.

Figura 3-2: Ubicación Espacial del Análisis Hidráulico



Los modelos hidráulicos de flujo estacionarios ("HEC-RAS") fueron desarrollados para los eventos de inundación de 10 por ciento, 4 por ciento, 2 por ciento, 1 por ciento, más de 1 por ciento y 0.2 por ciento de probabilidad anual. El evento de inundación de más del 1 por ciento de probabilidad fue incluido para ser consistente con las próximas guías del BLE para respaldar el proceso futuro de validación de CNMS de FEMA. El modelo de geometría y cartografía se desarrollaron automáticamente utilizando herramientas y secuencias de comando del SIG y luego fueron refinados según era necesario. Una práctica de modelaje común no incluida en este análisis fue la inserción de datos de levantamiento para puentes, alcantarillas y diques de tierra. Sin embargo, las estructuras hidráulicas (como puentes y alcantarillas) fueron incluidas utilizando el Inventario Nacional de Puente ("NBI"). El análisis de flujo divergente tampoco fue incluido.

Las líneas de flujo de alta definición del NHD se usaron para crear los ejes (líneas centrales) de entrada hidráulicas para los modelos. Estas líneas luego fueron revisadas y modificadas para seguir más de cerca la vaguada (thalweg) del cauce. Una sola área de propagación para cada sección transversal fue utilizada, p.ej. las estaciones de los bancos se establecieron en los límites exteriores de la sección transversal. Se encontró que este método redundó en buenos resultados,

especialmente cuando los valores n de Manning se establecieron en función de la cobertura de los usos de terrenos.

No se permitieron caudales supercríticos en los modelos, por lo que la elevación posible más baja de la superficie del agua para cualquier sección transversal fue la profundidad crítica.

Después de que se desarrollaron los modelos hidráulicos automatizados, los valles de inundación y las secciones transversales fueron revisadas visualmente. Las secciones transversales con cambios inusuales en los parámetros hidráulicos (pendientes de la superficie del agua y del nivel de energía, elevaciones de la superficie del agua y velocidad) fueron examinadas. En varios casos, las secciones transversales fueron eliminadas o modificadas para mejorar la calidad del modelo hidráulico.

Las cuadrículas de aguas superficiales y los valles de inundación (para eventos de inundación de 0.2 y 1 por ciento de probabilidad anual) fueron procesadas tan pronto los modelos fueron finalizados.

3.1.3.1 Caudal de Descarga

Los caudales de descarga para todos los eventos se importaron a HEC-RAS utilizando herramientas automatizadas. Un caudal de descarga de regresión rural USGS calculado fue asignado para cada ubicación correspondiente a la sección transversal. Los detalles del cálculo del caudal de descarga se proporcionan en la sección 3.1.2.

3.1.3.2 Condiciones de Frontera

La condición de frontera aguas abajo para casi todos los modelos fue establecida en la profundidad crítica. Para las áreas de interés donde la línea de flujo no terminó en una confluencia con otro río, el tramo fue extendido aproximadamente 3,200 pies aguas abajo. Esto permitió que la superficie del agua se estabilizara y aseguró que el área de interés estuviese fuera de la influencia del límite aguas abajo del modelo. En las extensiones del modelo aguas abajo de las confluencias, el caudal de descarga aplicada no se incrementó para representar el caudal calculado de descarga incrementada para el canal principal, sino que se utilizó el caudal calculado de descarga más alto localizado en aguas arriba de la confluencia. Este proceso permitió una transición gentil en la elevación de la superficie del agua y, por lo tanto, en los valles de inundación entre los afluentes y los canales principales.

La profundidad "normal" es usada típicamente en modelos hidráulicos como condición de frontera aguas abajo. Sin embargo, el uso de la profundidad normal requirió una estimación de la "pendiente normal", que dependía del método utilizado para estimarla. Los métodos completamente automatizados para estimar la pendiente normal para un gran número de tramos no tenían un nivel alto de confianza. En particular, existía el riesgo de que la pendiente se estimaría demasiado baja, lo que hubiese causado una condición de remanso poco realista al comienzo del modelo, una que podría perpetuarse a una gran distancia aguas arriba. Cuando la profundidad crítica es usada, los modelos se estabilizarán típicamente a una profundidad "normal" dentro de unas pocas secciones transversales.

La única circunstancia en la que se usaron los resultados del modelo en esta región de estabilización fue cuando el extremo aguas abajo del tramo estaba en el área de confluencia con otro cauce modelado. Para la mayoría de las confluencias, el canal principal aguas abajo también fue modelado. Típicamente, la mayor elevación de la superficie del agua (remanso) del canal principal gobernaría cuando las cuadrículas de la superficie del agua y los valles de inundación fueran fusionadas, anulando cualquier ambigüedad asociada con la condición crítica de la frontera de profundidad en el cauce afluente.

Un análisis de sensibilidad adicional fue completado para evaluar la suposición anterior para aquellos cauces que desembocan al océano si la elevación del Promedio Mayor de Agua Alta (Mean Higher High Water, "MHHW") era mayor. Las elevaciones ribereñas BLE fueron desarrolladas utilizando una suposición de inicio de elevación crítica. Esto puede no haber sido una suposición apropiada para aquellos cauces que desembocan en el océano, si la elevación de MHHW hubiera sido mayor. Para verificar si la suposición de profundidad crítica era válida como una condición de frontera, las elevaciones iniciales de los cauces que desembocan al océano fueron comparadas con la elevación de MHHW. Se revisaron 92 arroyos porque desembocaban al océano. El sitio web VDATUM de NOAA se usó para obtener las elevaciones de MHHW.

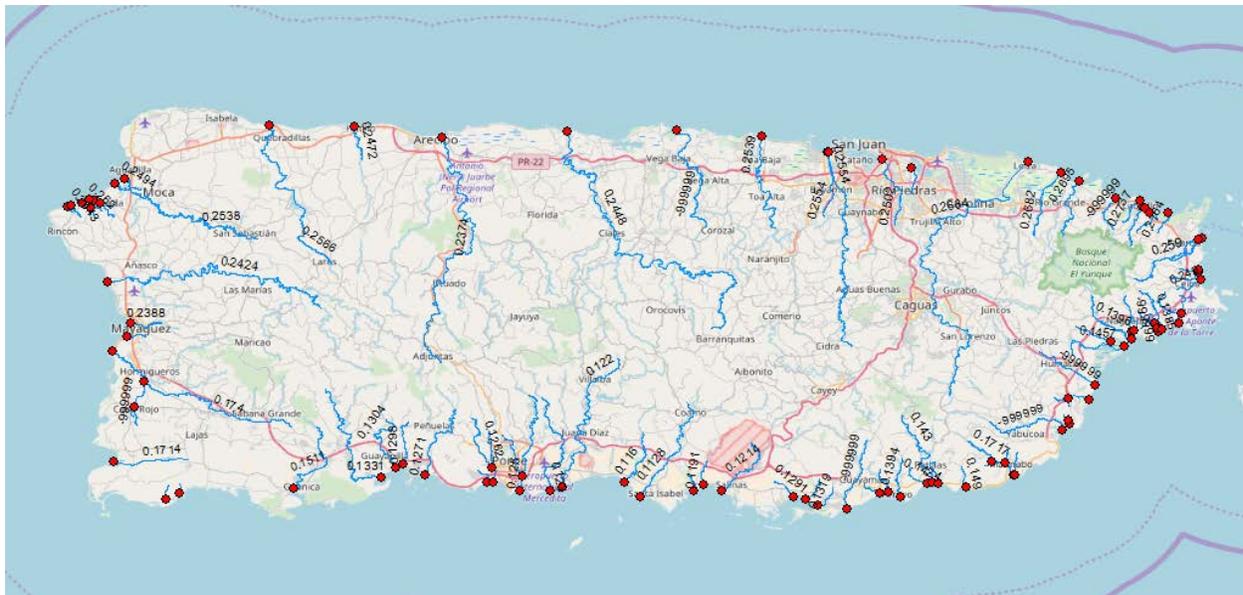
Se completaron dos tareas para esta evaluación:

1. **TAREA 1:** Se estimó la elevación de MHHW para los cauces que desembocaban al océano y se determinó si esta elevación era menor que la elevación de probabilidad anual de 1 por ciento calculada para la sección transversal más cercana aguas abajo (elevación de inicio de RAS).
 - Las ubicaciones de la sección transversal aguas abajo para los 92 cauces se extrajeron del archivo shapefile para el estudio. Los cauces que desembocan hacia el océano y las ubicaciones más cercanas aguas abajo se muestran en la **Figura 3-3**.
 - La elevación de MHHW para cada ubicación de cauce cruzado aguas abajo se estimó usando <https://vdatum.noaa.gov/vdatumweb/>.
 - La elevación de MHHW estimada se comparó con la elevación de probabilidad anual de 1 por ciento de la sección transversal más aguas abajo. Los resultados de la comparación se resumen en el **Apéndice B**.
2. **TAREA 2:** Para aquellos cauces en los cuales la elevación MHHW era más alta que la elevación de inicio del RAS, se determinó la sección transversal aguas arriba con una elevación igual o mayor que ($=$ o $>$) la elevación MHHW.
 - Encuentre la sección transversal de RAS aguas arriba, donde la elevación de inundación anual de 1 por ciento es $=$ o $>$ MHHW.
 - Si la elevación de inundación de probabilidad anual de 1 por ciento de la sección transversal más aguas abajo es menor que la MHHW estimada, se localiza la sección

transversal aguas arriba donde se encuentra la elevación de probabilidad anual de 1 por ciento = o > MHHW.

- Sólo hay un cauce, Río Sin Nombre (Modelo nro. 189), ID del Cauce (Stream ID) = 40100189, que tiene una elevación de la superficie del agua en el extremo aguas abajo debajo del MHHW. El siguiente XS en este cauce por encima de MHHW es XS_ID = 40100037.

Figura 3-3: Desembocadura de Ríos al Océano y Ubicaciones Aguas Abajo más Cercana



La prueba de sensibilidad indicó que la suposición crítica de inicio profundo era apropiada para todas las secuencias de estudio, a excepción de una - Río sin Nombre. La profundidad normal se utilizó para Río sin Nombre.

3.1.3.3 Secciones Transversales

Aunque algunas secciones transversales se editaron manualmente, la ubicación de secciones transversales fue primordialmente automatizada. Las secciones transversales fueron colocadas perpendiculares a la dirección del flujo. El espaciamiento de la sección transversal era típicamente de 250 pies o menos. Las geometrías de sección transversal se obtuvieron superponiendo la sección transversal en la topografía DEM.

Después de la colocación automática, se realizó una serie de comprobaciones para buscar cambios inusuales en la elevación superficial del agua, pendiente o velocidad para el perfil de la superficie del agua entre las secciones transversales para el evento de exceso de probabilidad anual de más 1 por ciento. Los lugares marcados que mostraban un comportamiento inusual se examinaron, y las secciones transversales a veces fueron modificadas (o eliminadas) en estas áreas. Este proceso dio como resultado la ubicación y orientación de la sección transversal final, sin embargo, el ancho o extensión de la sección transversal fue determinada usando un proceso separado basado en los límites estimados de caudal efectivo.

3.1.3.4 Áreas Inefectivas

Límites de caudales ineficaces no fueron utilizados. En cambio, las secciones transversales se recortaron a la medida de la región de caudal efectivo estimado. Las extensiones de la sección transversal fueron determinadas primero usando el evento de más de 1 por ciento tal que, en condiciones normales, la sección transversal sería lo suficientemente amplia como para contener el caudal de descarga determinada para esa sección transversal. En algunos casos, el ancho de la sección transversal fue limitado basado en un estimado del cambio permitido en el ancho de la sección transversal para la contracción o expansión del ancho superior efectivo. Las proporciones permitidas para la contracción y expansión del flujo se establecieron como 1:1 y 4:1, respectivamente.

La determinación final de la orientación y ancho de la sección transversal resultante de la revisión y el análisis hidráulico utilizando el evento de 1 por ciento más, fue aplicada a todos los demás eventos, con la excepción del evento de 10 por ciento de probabilidad anual. Para el evento de del 10 por ciento de probabilidad anual, se completó una segunda iteración para disminuir el ancho máximo efectivo de las secciones transversales. Esto obligó a que el cauce se contuviera principalmente dentro del canal de flujo bajo, si tenía una capacidad significativa para permitirlo. Debido a que las secciones transversales previamente determinadas del evento de más de 1 por ciento se usaron como secciones de insumo para este proceso, las secciones transversales para el evento de 10 por ciento de probabilidad anual sólo pueden ser más cortas y deben ser una sección de la sección transversal creada en el modelo hidráulico de más de 1 por ciento.

3.1.3.5 Valores de rugosidad del canal

Los valores n de Manning se asignaron a cada clase en la Base de Datos Nacional de Cobertura de Tierras 2011 (National Land Cover Database, "NLCD") que se encuentra en http://www.mrlc.gov/nlcd11_data.php. La correlación entre los códigos de uso del terreno y los valores n de Manning son proporcionados en el **Apéndice C**. Para cada modelo de sección transversal, se calculó un valor n único al combinar los valores n de Manning de la cobertura de terrenos a lo largo de una sección transversal utilizando el método Lotter (Chow, 1959, p.136-137). Esto incluyó un estimado de la elevación de la superficie del agua del más de 1 por ciento, y permitió que las extensiones mojadas se utilizaran para realizar la composición. Debido a este método, los valores n de Manning variaron significativamente de una sección transversal a otra, dependiendo del uso de terrenos en su alrededor. La composición se realizó por cada sección transversal utilizando los caudales de descarga de más de 1 por ciento y las extensiones mojadas estimadas. Estos valores n compuestos se usaron luego para todas las demás simulaciones de eventos, incluyendo el evento de 10 por ciento para el cual se usan secciones transversales más cortas para limitar el flujo al ancho total más pequeño que pueda proporcionar contención.

3.1.3.6 Expansión y Contracción

Los valores predeterminados de los coeficientes de contracción y expansión (0.1 y 0.3) fueron usados para las secciones transversales de los cauces/ríos. En áreas donde el cambio en el área efectiva de la sección transversal era abrupto (p.ej., en puentes), coeficientes de contracción y expansión de 0.3 y 0.5 fueron usados.

3.1.3.7 Temas Especiales

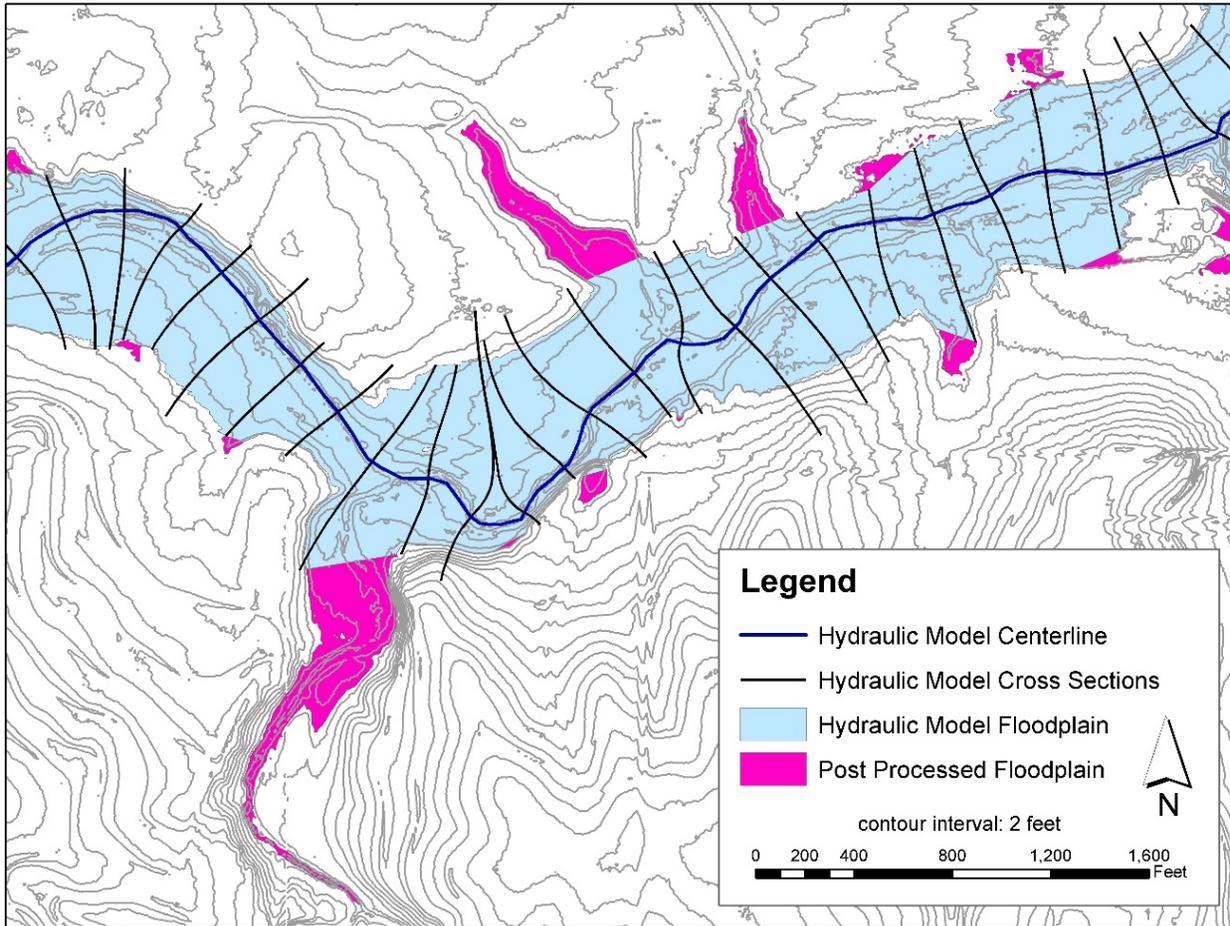
El caudal no fue disminuido debido a los brotes del modelo, ni se modificaron los modelos para tenerlos en cuenta.

3.1.4 Mapa de Valles de Inundación y Cuadrícula de Elevación de Aguas superficiales

Los valles de inundación fueron generados para los eventos de excedencia de probabilidad anual de 1 por ciento y 0.2 por ciento en los tramos del modelo hidráulico. El **Apéndice A** proporciona la lista de los cauces donde se desarrollaron los valles de inundación y las cuadrículas de las elevaciones de la superficie del agua. Estos valles de inundación se utilizaron para determinar si los resultados del modelo hidráulico parecían razonables y si no, para ajustar los modelos.

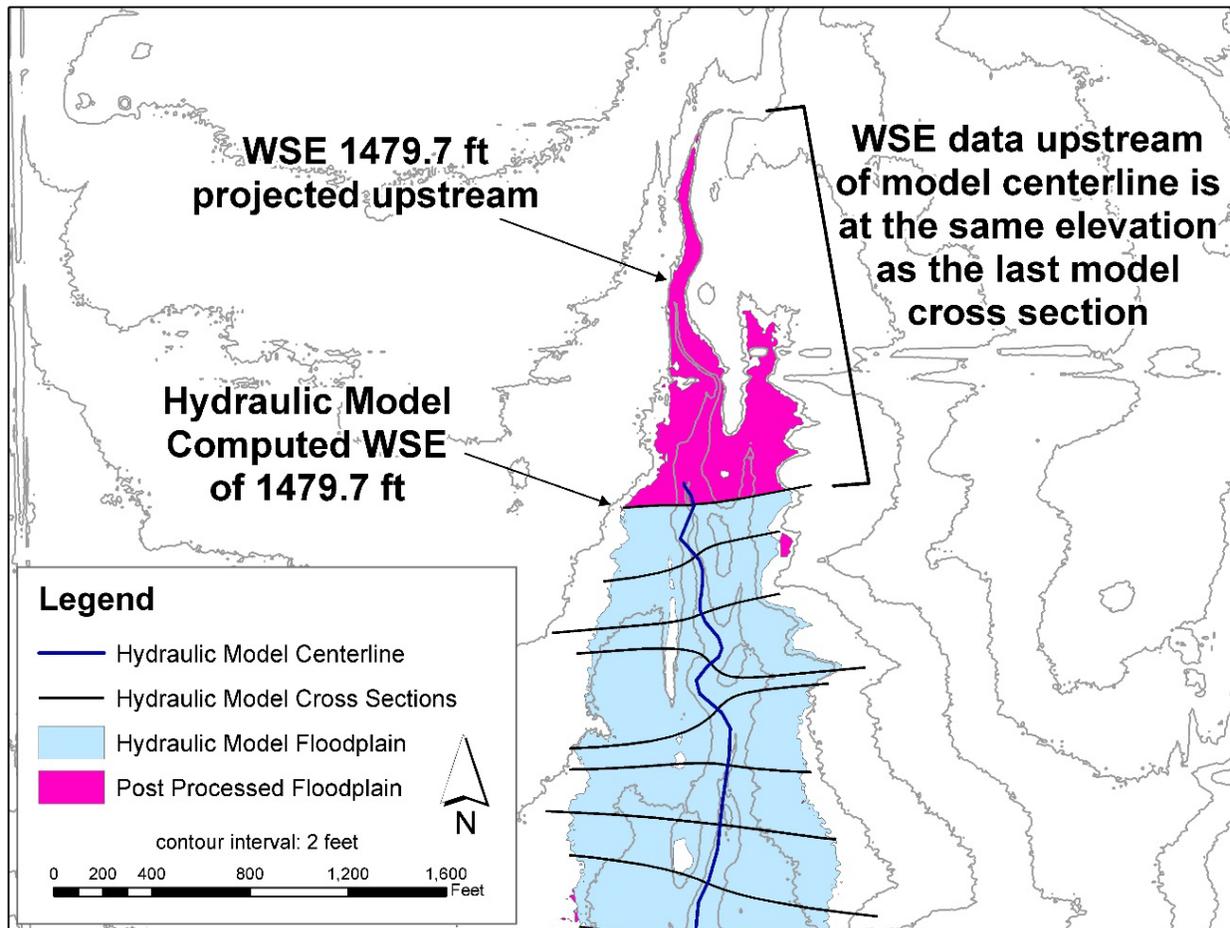
Los valles de inundación se basaban en superficies de agua interpoladas partiendo de las secciones transversales del modelo hidráulico. En la mayoría de los lugares donde la contención de caudal fue perdida en los límites de los modelos, se consideraron las condiciones de remanso y los valles de inundación se ajustaron con un paso automático de post-procesamiento para incluir áreas de remanso adicionales. La **Figura 3-4** muestra agua de remanso que fue agregada más allá de los límites del modelo hidráulico. La **Figura 3-5** muestra un ejemplo de remanso que requirió una área adicional debido a que las elevaciones de la superficie del agua se extienden aguas arriba más allá de los límites aguas arriba de la mayoría de los modelos.

Figura 3-4: Valle de Inundación Post-procesado



Añade áreas de aguas de remanso a lo largo de un tramo modelado que se inundaría pero que no se reflejaría en el modelo hidráulico, generalmente estas ocurren cuando afluentes pequeños se unen a un tramo mayor.

Figura 3-5: Valle de Inundación Post-procesado



El post-procesamiento de los valles de inundación también añade áreas de aguas de remanso aguas arriba del modelo hidráulico, estas áreas tienen la superficie del agua proyectada desde la sección transversal más aguas arriba.

Para las ubicaciones donde los modelos se superponen (p.ej., en las confluencias), la elevación mayor de la superficie del agua dominó en todos los modelos y resultó en el valle de inundación más grande delineado por definición.

Las represas y los embalses fueron contabilizados simplemente colocando un modelo de sección transversal a lo largo de la cara aguas arriba de la represa a la misma elevación que el aliviadero de emergencia.

Una consideración especial fue proporcionada para eliminar los perfiles de cruce sólo para los eventos de probabilidad anual de 1 por ciento y 0.2 por ciento.

3.1.5 Limitaciones / Suposiciones del Producto en el Valle de Inundación Ribereño del 1 Por Ciento de probabilidad

La información del 1 por ciento de probabilidad producida por este esfuerzo debe proporcionar un recurso útil en apoyo a áreas residenciales sujetas a riesgos fluviales dentro del valle de inundación del 1 por ciento. Los datos se sometieron a revisiones por un equipo interno y luego otro equipo independiente para identificar y corregir problemas y garantizar la calidad general del producto. El producto tiene las siguientes limitaciones/suposiciones debido a un error inherente en los recursos de datos y el enfoque de producción:

1. Análisis Hidrológicos

- La recolección de los caudales de descarga máximos en los estaciones de caudal en los cauces se vio interrumpida por fallas de medición durante los huracanes Irma y María. USGS está trabajando actualmente para desarrollar estimados utilizando todos los datos disponibles. Una vez se publiquen los estimados del USGS, los análisis de las estaciones de caudal en los cauces pueden producir resultados diferentes a los estimados por este estudio.
- Los caudales máximos estimados para el evento de probabilidad anual de 1 por ciento (y los de eventos más frecuentes) no utilizaron la ecuación de regresión USGS efectiva de 1999. Sin embargo, los estimados de la ecuación de regresión de 1979 compararon bien con respecto a los caudales máximos obtenidos estadísticamente en las ubicaciones de las estaciones de caudal en el cauce.
- El impacto del almacenamiento no se tomó en cuenta para los tramos del cauce sin estaciones aguas abajo de las presas reguladas y no reguladas. Es probable que los caudales máximos estimados para estos tramos sean mayores en comparación con los estimados que reflejan la regulación y el almacenamiento del caudal.
- La ponderación del resultado del análisis del caudal de la estación en el cauce con la regresión estimada se realizó utilizando un procedimiento desarrollado para este estudio. El procedimiento recomendado por el USGS en el informe de la ecuación de regresión de 1999 no arrojó resultados confiables.

2. Análisis Hidráulicos

- Las secciones transversales submarinas no se basan en levantamientos del terreno. Esto puede causar que el canal invertido del cauce esté a una mayor elevación.
- Las estaciones del banco del cauce se establecieron en el límite exterior de las secciones transversales. El cauce de mayor flujo no es identificado en la geometría de sección transversal utilizada por el modelo hidráulico. Sin embargo, los efectos adversos significativos de esta suposición se mitigan en cierta medida mediante el uso del coeficiente de rugosidad compuesto de Manning.
- El modelaje de caudal ineficaz generalmente no es incorporado ni refinado.
- Los valles de inundación se extienden tierra adentro más allá de todos los diques de tierra; los diques de tierra no fueron considerados en el modelaje como entidades que restringen el caudal para permanecer dentro del río o como protección.

- Los flujos divergentes no fueron modelados por separado.
 - Estructura de modelación:
 - Solo las estructuras hidráulicas incluidas en el NBI son reflejadas en los modelos hidráulicos
 - El impacto de estas estructuras en el valle de inundación fue modelado sin ningún tipo de datos correspondientes a un levantamiento de tierras.
3. Delineación del Valle de Inundación, Elevación de Inundación Etiquetada y empate con el Valle de Inundación costero.
- Las Elevaciones de Inundación Base (BFE) de tipo FIRM no fueron desarrolladas. Las secciones transversales analizadas se recortaron en la extensión del límite de frontera del valle de inundación donde fuese posible, y se usaron como representaciones para representar las elevaciones de la superficie del agua.
 - Se completó una limpieza mínima basada en inspecciones visuales de los mapas de valles de inundación.

3.2 Desarrollo de Datos Costeros Recomendados

Los productos finales recomendados de desarrollo de datos costeros incluyen:

1. Un shapefile de línea SIG que representa el límite delineado del 1 por ciento de probabilidad anual con el nuevo USGS 2017 LiDAR, así como los polígonos SIG que cubren el valle de inundación del 1 por ciento de probabilidad. Estos productos también están acompañados de un nuevo ráster de Elevación de Aguas Tranquilas Total ("SWEL") de 1 por ciento de probabilidad anual que incluye la configuración de las olas.
2. Un shapefile de línea SIG que representa el Límite de Acción Moderada de las Olas ("LiMWA") así como un shapefile de polígono SIG que identifica la zona "Costera A" o la Acción Moderada de Olas ("MoWA") para los niveles de inundación del 1 por ciento y 0.2 por ciento de probabilidad anual. Junto con estos se incluye un shapefile de punto SIG mostrando las ubicaciones del LiMWA correspondientes al resultado del modelo de Análisis de Altura de Ola para Estudios de Seguros de Inundación ("WHAFIS").
3. Un shapefile de polígono SIG que proporciona cartografía digital para niveles de pies enteros con delineaciones de zona y límites de valles de inundación para el riesgo de olas de 0.2 por ciento de probabilidad anual.
4. Un shapefile de polígono SIG que identifica áreas sujetas a erosión de 30 y 60 años. El shapefile de polilínea SIG de los transectos de análisis de erosión atribuidos a los cambios del litoral a largo plazo y el error evaluado.
5. Shapefiles de polígono SIG que representan la erosión inducida por la tormenta, incluyendo las áreas identificadas en base al análisis de erosión que respalda el modelaje

de riesgos de olas de 1 por ciento y 2 por ciento, así como el análisis visual de las imágenes post-tormenta.

Estos productos se prepararon para ser entregados y difundidos digitalmente en plataformas SIG (programa instalado en la computadora) y Web-SIG. Las siguientes secciones proveen información sobre las fuentes de datos y las limitaciones, los procedimientos de producción y la orientación de uso para cada uno de los productos recomendados de información costera.

3.2.1 Procesamiento del Terreno

El modelo actualizado de análisis de riesgo de inundación en este estudio se basó en los datos topográficos de alta resolución recientemente obtenidos de LiDAR. Esta información de datos fue transformado al sistema de coordenadas del proyecto y luego se combinó con los datos batimétricos del estudio existente. Una superficie actualizada DEM Sin Costuras/Bordes Topo-batimétrica fue creada, para ser utilizada como la base de la subsiguiente modelación de riesgo de inundación y cartografía.

3.2.1.1 Sistemas de Coordenadas y Conversión de Unidades

Las dos fuentes de datos utilizadas para el DEM actualizado Sin Costuras/Bordes Topo-batimétrica fueron el estudio topo-batimétrico DEM existente y los nuevos datos topográficos LIDAR del USGS 2017. Ninguna de estas fuentes de datos utilizaba el sistema de coordenadas, unidades y resolución del proyecto. Dado esto, las fuentes de datos se volvieron a proyectar, a muestrear y fueron convertidas en las unidades y sistemas de coordenadas deseados. Las reproyecciones del sistema de coordenadas se llevaron a cabo utilizando la herramienta de ESRI Project Raster, mientras que las conversiones de metros a pies se realizaron utilizando la definición estándar de 1 metro que es exactamente igual a 3.28084 pies. Los detalles de los datos de fuente y los sistemas de coordenadas deseados y unidades se ilustran en la **Tabla 3-6**.

Tabla 3-6: Resolución, Datum Vertical y Sistemas de Coordenadas Asociadas a Cada Fuente de Datos y DEM Topo-batimétricos final

Datos Ráster	Resolución	Datum Vertical	Sistema de Coordenadas
Estudio existente	25 pies	pies, LMSL	NAD_1983_StatePlane_Puerto_Rico_Virgin_Islands_FIP_5200_feet
2017 USGS LiDAR	1 metro	metros, PRVD02	NAD_1983_StatePlane_Puerto_Rico_Virgin_Islands_FIP_5200_feet
Proyecto actualizado DEM	10 pies	pies, PRVD02	NAD_1983_StatePlane_Puerto_Rico_Virgin_Islands_FIP_5200_feet

3.2.1.1.1 Creación de Superficie de Conversión

Con el fin de convertir los datos del estudio existente de un datum vertical de Nivel Medio Marino Local (Local Mean Sea Level , "LMSL") al sistema PRVD02, una superficie de conversión de ráster que cubre por completo el área de estudio fue creada utilizando el programa NOAA, VDATUM. El proceso a través del cual se creó esta superficie se describe a continuación.

El primer paso en el proceso fue crear una máscara de shapefile de polígono que cubriera el estudio. A esta máscara se le asignó un atributo "MSL" con un valor de 0. La máscara de polígono fue luego convertida a un ráster GeoTIFF con un valor uniforme de 0 del atributo "MSL" y con un tamaño de celda de 300 pies. El ráster GeoTIFF se volvió a proyectar desde el sistema de coordenadas del proyecto, a WGS84, y fue convertido a un ráster ASCII para poder trabajar con el programa VDATUM.

El archivo de ráster uniforme ASCII luego fue convertido de LMSL a PRVD02 mediante el programa VDATUM. Esto resultó en una superficie de conversión ráster ASCII que se usó para convertir datos verticales de unidades de pies por sobre LMSL a pies PRVD02 simplemente agregando el ráster de conversión al archivo de datos ráster en pies sobre LMSL. La superficie de conversión recién creada se convirtió de WGS84 a las coordenadas de Puerto Rico y del formato ráster ASCII a GeoTIFF.

Aunque se requirió una conversión de LMSL a PRVD02 para todas las áreas del interior de Puerto Rico, Vieques y Culebra, esta conversión no existe en la actualidad para todas las áreas internas. Para convertir datos entre los dos datum verticales en áreas donde no existe una conversión estándar, los datos de conversión existentes fueron interpolados utilizando una interpolación de distancia inversa ponderada (Inverse distance weighted, "IDW"). Para lograr esto, el archivo ráster GeoTIFF en las coordenadas del plano estatal de Puerto Rico fueron convertidas a puntos. Estos puntos luego se usaron con la herramienta ArcGIS IDW para crear un archivo ráster de conversión ráster con una cobertura total del área de estudio. Esta superficie fue sometida a una verificación de Control de Calidad (Quality Control Check, "QC") y una vez se encontró aceptable fue utilizada para todas las transformaciones de datum verticales en el resto de los datos del estudio.

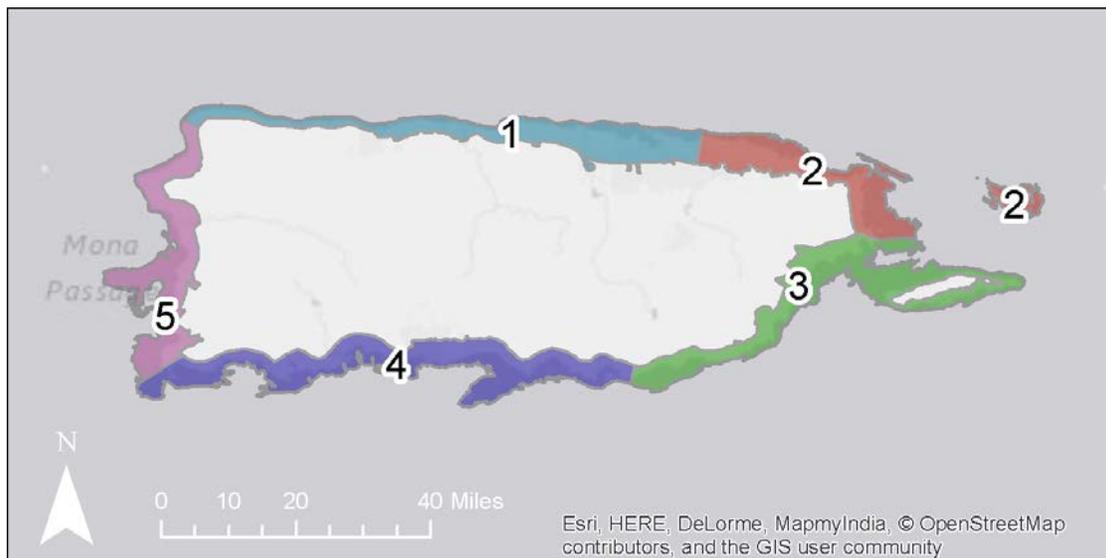
3.2.1.2 Delineación del Litoral

Un nuevo litoral de PRVD02 de 0 pie fue delineado para recortar los nuevos datos topográficos LiDAR. La herramienta de contorno ArcGIS Contour List fue utilizada para extraer un litoral costero PRVD02 de 0 pie. Este litoral luego fue visualmente inspeccionado, los contornos desconectados fueron eliminados y las secciones del litoral demasiadas complejas se volvieron a dibujar manualmente. El litoral editado fue suavizado a una tolerancia de 20 pies utilizando el algoritmo PAEK en la herramienta ArcGIS Smooth Polyline. El litoral suavizado fue simplificado a una tolerancia de 5 pies utilizando la herramienta ArcGIS Simplify Geometry. Luego, este litoral pasó por un esfuerzo de QC y, cualquier revisión, de ser necesaria, fue completada.

3.2.1.3 Datos de Máscaras

El estudio Sin Costuras/Bordes Topo-batimétrica DEM existente se divide en cinco subregiones (ver **Figura 3-6**), e incluye las Islas de Puerto Rico, Vieques y Culebra. Cada uno de estos cinco DEM topo-batimétrico fueron convertidos en polígonos, utilizando la herramienta ArcGIS raster to polygon, para crear máscaras para extraer datos topográficos actualizados. La máscara topo-batimétrica completa para cada región luego fue dividida en máscaras de datos topográficos y batimétricos separados utilizando el litoral recién delineado de la línea de 0 pie de PRVD02. Los nuevos datos topográficos LiDAR del USGS 2017 se recortaron a la máscara topográfica para cada región, mientras que los datos del estudio existente se recortaron utilizando las máscaras batimétricas.

Figura 3-6. Subregiones Utilizadas para Crear Datos Sin Costuras/Bordes Topo-batimétrica DEM



3.2.1.4 Terreno Batimétrico

Los datos batimétricos fueron convertidos a un terreno con el fin de garantizar una transición consistente entre los nuevos datos topográficos LiDAR del USGS 2017 y los datos batimétricos existentes. Esto primero fue hecho convirtiendo los datos ráster batimétricos recortados a puntos. Todos los puntos con elevaciones positivas cerca del litoral que no fueron atribuibles a rocas expuestas u otras características geomórficas visibles en imágenes aéreas fueron eliminados. Los puntos restantes para cada región fueron importados en un archivo Geodatabase de ESRI junto con la máscara de datos batimétricos para esa región y el nuevo litoral, que fue utilizado como una línea delimitadora final con una elevación de 0 pie PRVD02. Un nuevo terreno batimétrico fue construido utilizando estos datos y luego fueron revisados en un proceso de QC interno. Si puntos de datos erróneos se encontraban durante este proceso, como puntos que representan datos profundos poco realistas, estos se eliminaban individualmente del conjunto de puntos batimétricos y el terreno era reconstruido. El terreno ESRI final fue convertido a un ráster de coma flotante de ESRI en el sistema de coordenadas del proyecto.

3.2.1.5 Modelo DEM Mosaico Topo-batimétrico

El último paso en el proceso de creación de DEM Sin Costuras/Bordes Topo-batimétrica fue combinar los rústeres de datos topográficos y batimétricos en un solo archivo ráster utilizando la herramienta ESRI Mosaic a New Raster. Este archivo ráster DEM sin costuras/bordes topo-batimétrica combinado luego fue revisado a través de un proceso QC. Si se encontraban discontinuidades o problemas de calidad en los datos, la razón de cada problema fue resuelta y la superficie actualizada se revisó una vez más. El DEM Sin Costuras/Bordes Topo-batimétrica final para cada región era archivado en formato ráster GeoTIFF.

3.2.2 Redeliniación del 1 Por Ciento de Probabilidad anual del Límite de Frontera del Valle de Inundación

El análisis efectivo no incluyó la práctica común de realizar modelaje de ola 2D junto con el análisis de oleaje. Como resultado, la configuración de ola solo se calculó en cada transecto utilizando la fórmula del Cuerpo de Ingenieros del Ejército (USACE's Shore Protection Manual). Esto significa que el ráster SWEL del 1 por ciento desarrollado para el estudio anterior no incluye la configuración de ola. Las siguientes secciones describen el procedimiento de producción para desarrollar el nuevo ráster SWEL del 1 por ciento, incluyendo la configuración de ola, el límite actualizado del valle de inundación de 1 por ciento de probabilidad anual y los polígonos de los valles de inundación.

3.2.2.1 Configuración de Extracción

La configuración de ola asociada con el nivel de 1 por ciento de probabilidad se extrajo del modelaje WHAFIS previo en cada transecto a través del siguiente proceso:

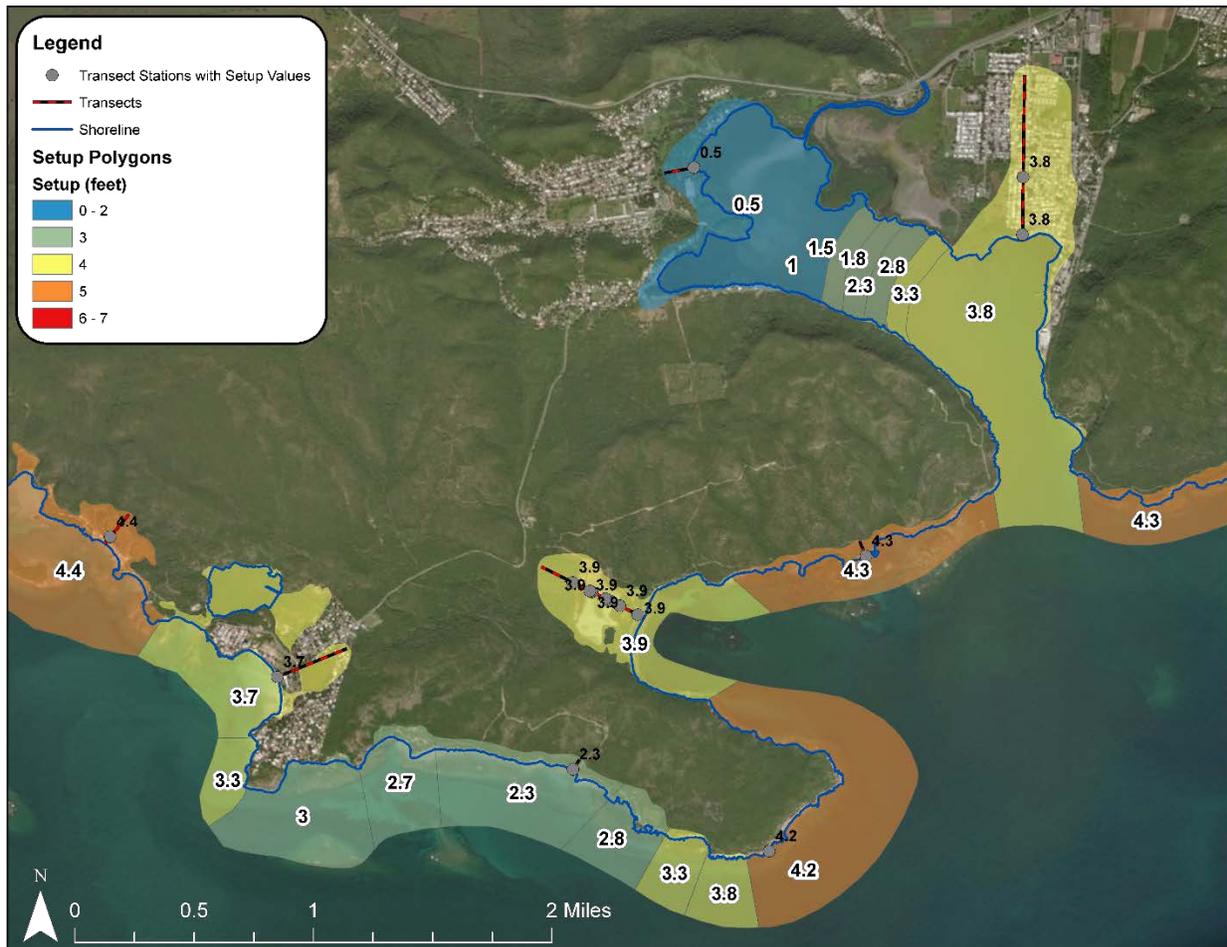
1. Una secuencia de comandos fue utilizada para extraer las elevaciones totales del 1 por ciento (incluyendo la configuración) del modelaje efectivo WHAFIS (WHAFIS PARTE 4). Los transectos del modelaje efectivo PDGB se usaron como insumo para la secuencia de comandos. El resultado de la herramienta fue un shapefile de estación de transecto con el valor total del nivel de 1 por ciento en cada estación.
2. La herramienta Extract Values to Points fue utilizada para extraer valores de 1 por ciento de SWEL (sin incluir la configuración) a cada punto en el shapefile de la estación.
3. El componente de configuración en cada estación de transecto se calculó tomando la diferencia entre el nivel total de 1 por ciento y los valores de SWEL de 1 por ciento. Tenga en cuenta que el valor de configuración no tiene datum, ya que tanto el nivel total original de 1 por ciento como el de SWEL de 1 por ciento están referenciados a pies por encima de MSL.
4. Para los transectos donde el oleaje permanece constante a lo largo del transecto, indicado en los archivos de salida de texto WHAFIS (WHAFIS PARTE 4), se asumió que el valor de configuración documentado en el estudio efectivo FIS (Ver Tabla 7 en el FIS efectivo) se mantuvo constante a través de la longitud del transecto. Un punto fue agregado al shapefile de la estación en la estación cero (litoral) con el valor de configuración correcto.
5. Surgieron varios transectos con valores negativos muy pequeños que oscilaban alrededor de cero hacia la extensión tierra adentro del transecto. Estos valores negativos fueron convertidos con la suposición de que la configuración completamente se reduce en ese punto hacia el interior de la tierra. También resultaron varios transectos que mostraron pequeñas oscilaciones o incluso una ligera regeneración sobre la tierra. Estos valores también se convirtieron a cero tierras adentro de la reducción de configuración inicial, ya que la configuración es un proceso de mar abierto y no debe regenerarse por tierra. Las pequeñas oscilaciones en los cálculos de WHAFIS son probablemente residuales del redondeo.

3.2.2.2 Interpolación y Superficie de Configuración

Los valores de configuración en las estaciones de transecto fueron manualmente interpolados entre transectos como se hizo originalmente en el análisis costero efectivo. Los polígonos de riesgo de inundación efectivos y sus BFEs asociados se utilizaron como base para la interpolación, ya que estas zonas ya reflejaban la interpretación original de los analistas de las transiciones de configuración de ola entre los transectos. Contornos topográficos en un intervalo de 2 pies usados en conjunto con los saltos de zona efectivos y BFEs se usaron como guía para ajustar la cobertura de un polígono para los valores de configuración de ola. Los límites se establecieron para seguir las diferencias de configuración entre transectos adyacentes y reflejar la extensión de configuración tierra adentro. Se agregaron zonas de transición para asegurar que las diferencias entre los polígonos de configuración adyacentes variaran en menos de ½ pie. También se utilizó un mapa base aéreo para guiar la interpolación a fin de garantizar que se considerara el uso del terreno y la vegetación. La **Figura 3-7** muestra un ejemplo de los polígonos de configuración de ola.

El polígono de configuración se convirtió en un ráster (tamaño de celda de 25 pies) y luego a puntos. Una IDW fue utilizada para interpolar los puntos de configuración para que coincidan con la extensión de la superficie efectiva SWEL. Esto se hizo para garantizar que el nuevo límite de 1 por ciento de probabilidad anual del valle de inundación no fuese cortado demasiado cerca tierra adentro. La interpolación se limitó a un polígono que representaba tramos del litoral costero asesor.

Figura 3-7: Configuración del Polígono de Interpolación



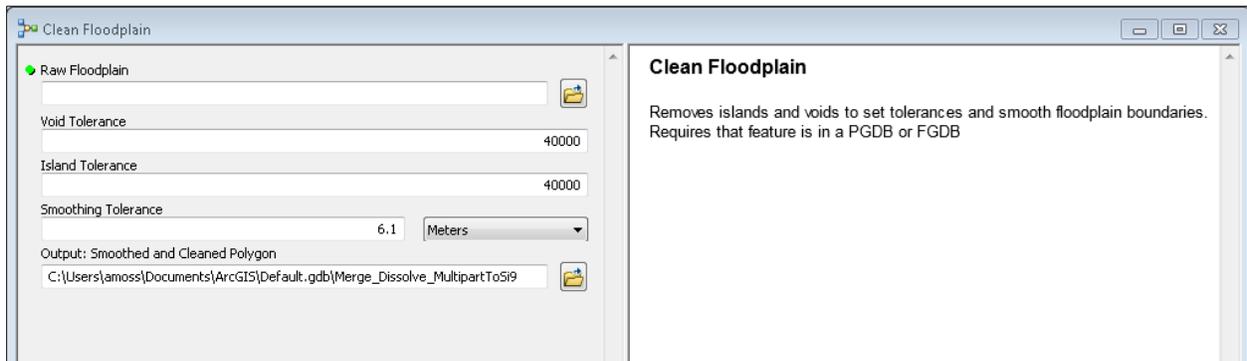
3.2.2.3 Nuevo Ráster SWEL Total

La superficie original SWEL de 1 por ciento fue convertida de MSL a PRVD02 usando la superficie de conversión creada para este proyecto utilizando la herramienta VDATUM de NOAA. La superficie de configuración fue agregada a la superficie original SWEL de 1 por ciento (PRVD02) para obtener un nuevo ráster SWEL total que incluye la configuración.

3.2.2.4 Creación del Valle de Inundación

El nuevo ráster SWEL total fue intersecado con el 2017 USGS LiDAR para crear un nuevo límite anual de valles de inundación de 1 por ciento. Una herramienta de limpieza del valle de inundación fue utilizada en el valle de inundación sin pulir para eliminar las islas y los espacios vacíos y alisar los límites del valle de inundación. Las tolerancias utilizadas en la herramienta se muestran en la **Figura 3-8**.

Figura 3-8: Herramienta de Limpieza del Valle de Inundación



3.2.2.5 Limitaciones / Suposiciones del 1 Por Ciento de Probabilidad del Producto del Valle de Inundación

Los productos del 1 por ciento producidos por este esfuerzo proporcionan un recurso útil en apoyo de áreas residenciales sujetas a riesgos costeros dentro del valle de inundación del 1 por ciento. Los datos fueron sometidos a revisión por un equipo interno y a una revisión independiente para identificar y corregir problemas y garantizar la calidad general del producto. El producto tiene las siguientes limitaciones/suposiciones debido a un error inherente en los recursos de datos y el enfoque de producción:

1. Para mantener un producto de límite del 1 por ciento que fuese lo más continuo posible (sin secciones pequeñas con espacios intermedios), fue necesario generar una delineación continua SWEL a través de/entre las zonas de WHAFIS.
 - Para las áreas de tramos muy grandes de Runup a lo largo del litoral, se eliminó el límite del 1 por ciento del valle de inundación.
 - En algunas áreas (donde la eliminación de dunas se aplicó en el estudio efectivo y el polígono de mapeo actualizado no estaba conectado a la inundación detrás de una cresta), estas brechas tuvieron que ser rellenadas. En las áreas donde la información topográfica actualizada mostraba una característica de cresta o duna alta con elevaciones altas que evitarían el paso del agua, las brechas del valle de inundación fueron dejadas. Muchos de estos tipos de áreas se muestran en el mapa efectivo como casos de erosión de retroceso. Para el producto final, el efectivo se fusionará con el nuevo límite de 1 por ciento. Las áreas donde el valle de inundación se extienden hasta el límite tierra adentro de la duna frontal primaria se rellenarán tal como se muestra en la cartografía efectiva.
2. El límite de 1 por ciento no siempre sigue el valor de configuración de SWEL + valor indicado de configuración por las notas de cartografía o los resultados del modelaje.
 - El alcance de este producto no incluía cálculos de reducción de configuración, por lo que las siguientes suposiciones fueron utilizadas:
 - El valor de configuración en el límite tierra adentro del transecto modelado continuaría en la medida de la superficie efectiva de SWEL 1 por ciento.

- Para áreas donde las notas cartográficas efectivas indicaron delineación sin configuración, el SWEL original fue utilizado.
3. Debido a que el límite efectivo de 1 por ciento fue utilizado para delinear el producto LiMWA de 1 por ciento, existen ocasiones en que se muestra fuera del límite actualizado del 1 por ciento.
- Para mitigar esto, se utilizó el límite efectivo del 1 por ciento en el producto fusionado para las áreas donde se ha reducido el límite actualizado del 1 por ciento. Esto eliminó las áreas de solapamientos y cruces del LiMWA y el límite del 1 por ciento para el producto final.

3.2.3 Cartografía del LiMWA

LiMWA fue mapeado de acuerdo a los resultados del modelaje WHAFIS Parte 2 de los productos del modelaje efectivo terrestre costero de 1 por ciento y productos del modelaje terrestre costero de 0.2 por ciento descrito de acuerdo con la Guía Operativa No. 13-13 (FEMA 2013b).

El equipo de estudio utilizó los datos efectivos del modelaje terrestre de 1 por ciento y los resultados del modelaje costero de 0.2 por ciento para generar líneas LiMWA totalmente derivadas del modelo de 1 por ciento y 0.2 por ciento y polígonos de zona "Costera A". La línea LiMWA correspondiente al 1 por ciento representó la ubicación donde las alturas de las olas costeras equivalían 1.5 pies bajo condiciones de inundación base. El LiMWA de 0.2 por ciento representó la ubicación donde las alturas de las olas costeras equivalían 1.5 pies bajo la condición de recurrencia de 0.2 por ciento. El estudio efectivo realizó el análisis de propagación de olas terrestres utilizando WHAFIS en cada transecto utilizado en el análisis. El modelaje de olas terrestres del 0.2 por ciento se realizó utilizando WHAFIS en los transectos efectivos del FIS. Esos resultados de modelaje se utilizaron para delinear líneas LiMWA de 1 por ciento y al 0.2 por ciento, respectivamente, a través del siguiente proceso:

1. Una secuencia de comandos fue desarrollada para identificar las ubicaciones donde las alturas de las olas equivalían a 1.5 pies a lo largo de cada transecto WHAFIS. La secuencia de comandos utilizó el shapefile de la estación del transecto (punto) como insumo, definiendo la altura de ola usando los resultados del modelo WHAFIS en cada estación. Las ubicaciones donde las alturas de las olas equivalían a 1.5 pies fueron encontradas por interpolación lineal entre estaciones adyacentes con alturas de ola confinadas a 1.5 pies. El resultado de la herramienta es un shapefile de punto que contiene ubicaciones de altura de ola de 1.5 pies con elevación del terreno, altura de ola y cresta de ola como los atributos.
2. A lo largo de cada transecto de estudio, la ubicación con olas de 1.5 pies de altura inmediatamente tierra adentro de la zona efectiva VE fue seleccionada como la ubicación LiMWA según el reporte Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping – Coastal Floodplain Mapping (FEMA, 2015). Una línea que seguía el contorno de la elevación del terreno con una ubicación de 1.5 pies de altura de ola fue delineada como la línea LiMWA. Las áreas sin transectos de modelaje se dedujeron de áreas adyacentes con características similares del litoral costero y la elevación del terreno.

3. Lateralmente, las líneas LiMWA de 1 por ciento se vincularon al límite de la zona X o la zona Runup/PFD VE, mientras que las líneas LiMWA de 0.2 por ciento se vincularon al límite del valle de inundación de 0.2 por ciento en función del terreno.

Una vez que las líneas LiMWA se delinearon, se generaron polígonos de zona "Costera A" asociados con una línea LiMWA de 1 por ciento siguiendo los siguientes pasos:

1. Polígonos de zona AE de la base de datos efectiva de mapas fueron seleccionados y fusionados en SIG utilizando el análisis de fusión (merge).
2. Los polígonos sin una línea LiMWA fueron identificados y verificados para determinar si la línea LiMWA faltaba o estaba omitida intencionalmente porque el área no era compatible con la delineación de la línea LiMWA.
3. Los polígonos restantes fueron divididos por medio de las líneas LiMWA, y la porción de terrenos adentro de las líneas LiMWA fue eliminada, lo que dio como resultado al polígono de la zona "Costera A".

3.2.4 Modelaje y Cartografía Costera de 0.2 Por Ciento de Probabilidad

Un análisis de la altura de las olas terrestres fue realizado y aplicado a los transectos de modelaje efectivos del FIS para generar BFEs de probabilidad anual de 0.2 por ciento. Esto se hizo usando el modelo WHAFIS. El modelo WHAFIS fue incorporado al Programa de Modelaje de Análisis de Riesgos Costeros ("CHAMP") y el resultado del modelo fue incluido en un formato de base de datos CHAMP.

Una capa tipo polígono de valles de inundación similar a FIRM, que cubre áreas solamente con inundación terrestre, con extensión de inundación y BFEs se generó utilizando procedimientos estándar de modelaje y cartografía del FIS. La cartografía de riesgo de inundación fue completada y se le atribuyó un 0.2 por ciento de BFE de los resultados del modelo WHAFIS. El procedimiento de producción se compuso de múltiples tareas, que se explican en las siguientes secciones.

3.2.4.1 Condiciones de Inicio de Olas de 0.2 Por Ciento de Probabilidad

Las características de olas costa afuera que representan una tormenta de probabilidad anual de 0.2 por ciento fueron desarrolladas usando las ecuaciones del Manual de Protección de Costa (USACE, 1984) (ecuaciones 3-59 y 3-60) para huracanes de trayectoria lenta. Las variables requeridas para estas ecuaciones fueron la presión central del huracán P_0 , el radio máximo del viento R y la velocidad de avance V_F para cada tormenta. Sus valores se obtuvieron de la base de datos de huracanes ("HURDAT") desarrollada por NOAA (P_0 es directamente de HURDAT ; V_F es calculada utilizando el cambio espacial de puntos de datos HURDAT dados cada 6 horas; R es calculado utilizando la velocidad del viento y el valor de latitud de los puntos de datos HURDAT).

Un total de 37 tormentas (**Tabla 3-7**) fueron seleccionadas de HURDAT para representar el rango de diferentes magnitudes de tormenta que impactan el área de estudio (mostradas en la siguiente tabla). Las tormentas fueron seleccionadas usando los siguientes criterios: El evento debió haber pasado dentro de un radio de 250 millas de Puerto Rico; la duración de la tormenta dentro de

este radio debía ser mayor de 6 horas (para así tener por lo menos dos puntos de datos en HURDAT de esta tormenta para calcular la velocidad de translación); y la misma estar clasificada como un huracán de categoría 1-5 que pudiese haber causado daños a la isla.

Tabla 3-7: Lista de Huracanes Seleccionados para el Cálculo de la Condición de Oleaje de Inicio Costa Afuera

Nombre de la Tormenta	Año	Nombre de la Tormenta	Año
UNNAMED_1867	1867	EDITH	1963
UNNAMED_1871	1871	FLORA	1963
UNNAMED_1876	1876	CLEO	1964
UNNAMED_1899	1899	INEZ	1966
UNNAMED_1921	1921	FAITH	1966
UNNAMED_1924	1924	BEULAH	1967
UNNAMED_1928	1928	DAVID	1979
UNNAMED_1931	1931	HUGO	1989
UNNAMED_1932	1932	MARILYN	1995
DOG	1950	BERTHA	1996
BAKER	1950	HORTENSE	1996
CHARLIE	1951	GEORGES	1998
CAROL	1953	LENNY	1999
CONNIE	1955	DEBBY	2000
BETSY	1956	JEANNE	2004
ELLA	1958	OMAR	2008
FIFI	1958	EARL	2010
ABBY	1960	IRENE	2011
DONNA	1960		

Estadísticas de resumen para la correspondiente velocidad de translación, radio máximo del viento y presión central fueron calculadas para crear un rango de combinaciones variables. Para todas las combinaciones y para cada variable, los parámetros de olas costa afuera fueron calculados con este rango. Después de realizar un análisis estadístico de estos resultados, se seleccionó una distribución logarítmica para predecir los períodos de retorno de los parámetros de ola (los detalles de la metodología y el programa para calcular las estadísticas de la condición de ola se suministran en los archivos del análisis técnico). Esta metodología proporcionó los siguientes valores:

Altura de ola significativa en Alta Mar = 31.54 pies;
Período Significativo de Ola en Alta Mar = 12.01 s

Para los puertos y otras áreas terrestres protegidas, un análisis de alcance limitado fue realizado utilizando la Técnica de Predicción de Olas de ACES para determinar las condiciones de inicio de olas para los transectos y parámetros de olas asociados. La **Tabla 3-8** enumera las condiciones de inicio de ola para transectos de alcance limitado.

Tabla 3-8: Condición de Inicio de Ola Costa Afuera para Transectos de Alcance Limitado

Transecto Nro.	Longitud del Fetch (milla)	Altura de la Ola (pie)	Período de la Ola (s)	Profundidad de Ruptura de la Ola (pie)
44	2.47	5.81	3.75	7.4
45	3.87	7.27	4.36	9.3
46	3.63	7.04	4.27	9.0
47	2.07	5.32	3.54	6.8
48	2.17	5.44	3.60	7.0
49	1.61	4.69	3.26	6.0
180	3.81	7.21	4.34	9.2
194	1.6	4.67	3.25	6.0

3.2.4.2 Cálculos de configuración de Ola de 0.2 Por Ciento de Probabilidad

Las islas de Puerto Rico, debido a sus altos acantilados y lugares expuestos a las olas oceánicas, están sujetas a olas más voluminosas que las costas del Atlántico Oriental, y los procesos inducidos por las olas cercanas a la costa (como el Runup de la ola y la configuración de olas) constituyen la mayor parte del entorno de ola combinada, mucho más que el de la marejada ciclónica.

Para este entorno en particular, la configuración de ola en una costa abierta fue calculada siguiendo el reporte Atlantic Ocean and Gulf of Mexico Draft Coastal Guideline (FEMA, 2006). Las pautas en este reporte establecieron el Método Integrado Directo ("DIM") para ser utilizado para determinar la configuración estática de ola a lo largo del litoral costero.

Las variables requeridas para este cálculo fueron la altura significativa de la ola en alta mar, la longitud de ola y la pendiente del perfil. La pendiente fue determinada desde la ubicación de la profundidad de rompimiento significativa de la altura de ola en alta mar, o de la altura de ola significativa de alcance limitado, hasta una elevación en tierra definida por la elevación de agua quieta de 0.2 por ciento (0.2 por ciento SWEL).

Para las áreas costeras protegidas por arrecifes, se indujo una variación localizada en los valores de configuración de las olas. Un enfoque de configuración de ola modificada fue aplicado en aquellos lugares donde los arrecifes se extendían por encima de la profundidad de ruptura de la altura incidente de ola. El método propuesto para la determinación de la configuración de ola en el arrecife se basó en la metodología descrita por Gourlay M.R. (1996) titulada: "Wave set-up on coral reef 2. Set-up on reefs with various profiles", Coastal Engineering Journal, Vol. 28. La figura

12 del documento previamente mencionado utilizó dos curvas para determinar la configuración de ola en los arrecifes. La Curva A fue sugerida para los arrecifes donde el agua, bombeada durante el proceso de instalación, escapaba sobre el borde de sotavento del arrecife. La curva B fue sugerida para los arrecifes donde la ausencia de un cauce permitía que el agua se amontonara en la orilla y, finalmente, volviera a fluir sobre el borde del arrecife.

Las variables requeridas para este cálculo fueron condiciones de ola en alta mar (el documento sugiere que las olas irregulares sustituyan a H_o - altura de ola en alta mar con H_{orms} - altura media cuadrada de la altura de ola en alta mar) y la inmersión de arrecife (profundidad del arrecife + 0.2 por ciento SWEL). El cálculo asumió un valor de configuración de ola conocido, ya que la variable de configuración de ola aparecía en ambos parámetros en la gráfica (Curva A o B). Una solución iterativa fue requerida hasta que la convergencia de los dos parámetros fue alcanzada.

Si el arrecife se extendía tierra adentro (Curva B), la energía de las olas se disiparían por medio del rompimiento de ola en la cresta del arrecife donde la configuración máxima de la ola ocurriría.

Para los casos en que el arrecife queda separado de tierra firme a través de un cauce profundo (Curva A), las olas no sólo rompen en el arrecife, sino que se transmiten, regeneran y eventualmente también rompen en tierra a una profundidad relacionada con la altura máxima de ola capaz de viajar por encima del arrecife. En esta situación, se requirió el cálculo de un segundo componente de configuración de la ola. La altura de ola significativa (capaz de viajar en una profundidad de agua descrita como la profundidad de la cresta del arrecife + 0.2 por ciento SWEL) descrita en alta mar se usaría para graficar una nueva curva de configuración siguiendo el Método DIM. El valor de configuración de ola en tierra se determinaría ingresando la curva con un valor de pendiente medido entre la profundidad de rompimiento de ola que viaja hacia el arrecife y una elevación hacia tierra definida por el SWEL de 0.2 por ciento + la configuración de ola en el arrecife previamente determinado. El valor de configuración de la ola final, asociado a ese perfil particular, vendría dado por la suma de la configuración de la ola en el arrecife y la configuración de la olea en tierra.

Los valores de configuración de ola para todos los transectos son enumerados en el **Apéndice D**.

Vale notar que no todos los transectos enumerados en el **Apéndice D** se usaron para modelar el evento de 0.2 por ciento con WHAFIS.

3.2.4.3 Nueva Superficie Total SWEL de 0.2 Por Ciento de Probabilidad

Al igual que con los valores de configuración de ola del 1 por ciento, los valores de configuración de ola de 0.2 por ciento requerían ser interpolados entre las ubicaciones de los transectos. Los polígonos de configuración desarrollados para la superficie SWEL de 1 por ciento se utilizaron como punto de partida para corroborar la coherencia entre las técnicas de interpolación para las superficies de configuración de 1 por ciento y el 0.2 por ciento. Los polígonos se actualizaron para los cálculos de configuración de 0.2 por ciento calculados en el desarrollo de la data recomendada en las ubicaciones de los transectos. Luego, los valores se trasladaron entre los transectos de forma coherente como en la superficie de 1 por ciento. Zonas de transición

adicionales fueron agregadas, cuando era necesario, para asegurar que las diferencias entre los polígonos adyacentes de configuración no excedieran ½ pie.

La superficie original SWEL de 0.2 por ciento fue recortada hasta un punto que termina justo más allá del área efectiva de riesgo de inundación costera. Para garantizar que la nueva superficie SWEL se extendiera lo suficientemente tierra adentro para obtener áreas de valles de inundación potencialmente expandidas de 0.2 por ciento, la superficie original SWEL de 1 por ciento fue interpolada para coincidir con la superficie efectiva SWEL de 1 por ciento (entre 1-3 millas tierra adentro desde la orilla/litoral). La superficie interpolada de 0.2 por ciento se convirtió de MSL a PRVD02 utilizando la superficie de conversión creada para este proyecto utilizando la herramienta VDATUM de NOAA.

Los polígonos de configuración de 0.2 por ciento fueron convertidos a un ráster (tamaño de celda de 25 pies) y luego en una cobertura de puntos. Se usó una interpolación de IDW para interpolar los puntos de configuración para que coincidan con la extensión de la superficie extendida de SWEL de 0.2 por ciento (descrita anteriormente). La superficie de configuración fue agregada a la superficie SWEL original (extendida) de 0.2 por ciento para obtener un nuevo ráster SWEL total que incluye la configuración.

3.2.4.4 Análisis de Erosión de Tormenta de 0.2 Por Ciento de Probabilidad

Se llevaron a cabo evaluaciones para determinar la erosión de las playas durante los huracanes a lo largo del litoral costero de Puerto Rico. Las playas arenosas caracterizadas por dunas fueron analizadas para determinar la Duna Frontal Primaria ("PFD") utilizando la metodología estándar de FEMA. Un memorando reciente de procedimiento de FEMA reemplazó la guía original sobre la elevación de entrada de la superficie del agua. La Guía de Operación No. 15-13 establece que el agua quieta (oleaje + configuración de ola) debería ser usada en los modelos de erosión de dunas (FEMA 2013d). La metodología de erosión estándar de FEMA permite que el área transversal de la duna se evalúe en comparación con el criterio de 1,030 pies cuadrados. Si el depósito frontal de la duna tenía menos de 1,030 pies cuadrados de área de sección transversal, la entidad se eliminaría del perfil; si el área de la sección transversal de la duna era mayor a 1,030 pies cuadrados, la entidad tendría 1,030 pies cuadrados de dunas frontal erosionado, esto es conocido como retrocesión de dunas.

También se aplicó una metodología de erosión no estándar para determinar la erosión en playas arenosas caracterizadas por una capa de arena que se superpone a superficies rocosas. A través del examen de fotografías previas y posteriores a la tormenta, se ha determinado que una porción de esta capa arenosa (0.3-1 metro) fue removida mediante la acción de las olas exponiendo la dicha superficie rocosa. Esta suposición fue verificada mediante una revisión de la literatura disponible, tales como, Hubbard (1991), conversaciones con especialistas en el campo (Dr. Dennis Hubbard, 4 de Noviembre de 2002) e investigación de campo (agosto de 2002). El **Apéndice E** proporciona detalles de la metodología de erosión no estándar aplicada a cada transecto en el área de estudio.

3.2.4.5 Revisión y actualización de obstrucciones

La información sobre el uso de terrenos del estudio efectivo del seguro contra Inundaciones de Puerto Rico se utilizó para crear parámetros de obstrucciones y áreas de alcance abierto para el

modelaje de propagación de olas sobre tierra utilizando WHAFIS. El enfoque de STARR II fue el de revisar los polígonos de obstrucción en un entorno SIG para codificar consistentemente la cobertura terrestre representativa. El proceso de aplicar tarjetas de obstrucción (Obstruction carding) se utilizó en áreas donde los transectos de WHAFIS se extendieron para abarcar el valle de inundación de probabilidad anual de 0.2 por ciento. Estos datos del uso de terrenos incluyeron valores representativos para la vegetación y parámetros de construcción que se verificaron a lo largo de los transectos de modelaje de olas sobre tierra existentes a través del reconocimiento de campo que ocurrió durante el estudio de seguro de inundación efectivo y/o fueron interpretados desde imágenes aéreas donde los datos de reconocimiento de campo no estaban disponibles. Las áreas donde el uso del terreno aparenta haber cambiado significativamente desde que se presentó el estudio efectivo fueron actualizadas para representar las condiciones actuales.

Los transectos que se originan a lo largo de cualquier litoral costero abierto de Puerto Rico se codificaron como ("OF") para reflejar la velocidad de viento WHAFIS predeterminada de 100 mph para el crecimiento de ola. La tarjeta OF fue mantenida excepto en las áreas de obstrucción de edificación ("BU"), vegetación ("VE") o pantano ("VH") o áreas donde la topografía del terreno excedía la elevación total de agua quieta (más de 0.2 por ciento de oleaje en la configuración de ola 0.2-percent surge plus wave set-up) dando como resultado una tarjeta de sobre-marejada ("AS"). Tarjetas tipo OF fueron utilizadas para representar las áreas directamente expuestas a los fuertes vientos que llegan a la costa, donde la regeneración de onda de viento no se vería obstaculizada. El valle de inundación costera de Puerto Rico tuvo una exposición directa a los fuertes vientos provenientes del Mar Caribe y el Océano Atlántico debido a las tormentas tropicales. Todos los transectos de estudio de Puerto Rico se originaron de la costa del Caribe o el Atlántico o desde una bahía costera expuesta. Como consecuencia de esto, no se identificaron áreas protegidas por el viento, lo que justifica el uso de tarjetas IF (viento de 75 mph).

3.2.4.5.1 Edificaciones

Además de la información recopilada durante el reconocimiento de campo, STARR II usó imágenes disponibles para obtener información sobre obstrucción de edificaciones para la modelación costera de WHAFIS. Estas fuentes de datos se usaron para digitalizar polígonos alrededor de áreas de densidad de construcción relativamente uniforme. La relación de construcción a espacio abierto (espacio abierto en pies/longitud total en pies) y el número de hileras de edificaciones se obtuvieron principalmente de imágenes aéreas y notas del campo durante el reconocimiento completado durante el estudio eficaz de riesgo de inundación costera. La presencia de estructuras elevadas fue revisada para la modelación de 0.2 por ciento a lo largo de la costa de Puerto Rico. El tratamiento de estructuras elevadas en el modelaje terrestre se basa en sus cimientos. Si la estructura estaba elevada sobre cimientos abiertos (pilas, muelles, columnas, etc.), era eliminado de las obstrucciones y era tratado como espacio abierto ya que la cimentación abierta permitía el paso de ola que por debajo de la estructura no obstruida; si la estructura estaba elevada sobre cimientos cerrados (relleno, espacio de acceso, pared de fundación, etc.), entonces era tratada como una obstrucción. Aunque había estructuras que se encontraban elevadas, se determinó (después de revisar las notas de reconocimiento de campo efectivas y Google Street View) que la mayoría de las casas a lo largo de la costa abierta no contenían estructuras continuas elevadas o donde las estructuras estaban elevadas tienen

recintos significativos (sin ruptura) al nivel del suelo y, por lo tanto, fueron tratados como obstrucciones dentro del modelo WHAFIS.

3.2.4.5.2 Vegetación y Humedal

En lugares donde una vegetación rígida estaba presente, los polígonos se atribuyeron usando varias combinaciones de los parámetros de altura, diámetro y espaciado para áreas vegetativas (tarjetas VE), principalmente tomados de las notas e imágenes efectivas de reconocimiento de campo. Los parámetros del humedal de altura, diámetro y espaciado se registraron durante la fase de reconocimiento de campo. Esos parámetros se agregaron a las tarjetas VE para garantizar que los humedales se capturaran en el modelaje de olas. La región principal utilizada para las tarjetas VH era la región del Sur de la Florida y el tipo de humedal primario era grama de pradera salobre (saltmeadow cordgrass). Los parámetros de grama del humedal (marsh grass) se anotaron durante el reconocimiento de campo y coincidieron estrechamente con los valores predeterminados proporcionados por el modelo WHAFIS, por lo tanto, los valores predeterminados se usaron en las tarjetas VH/MG en WHAFIS.

3.2.4.6 Modelaje WHAFIS de 0.2 Por Ciento de Probabilidad

La orientación general proporcionada por FEMA G&S, específicamente relacionada con la propagación de las olas terrestres, fue utilizada para calcular las alturas de las olas terrestres.

El análisis de la altura de las olas terrestres fue realizado con el modelo WHAFIS. El modelo WHAFIS fue incorporado al Programa CHAMP y el resultado del modelo fue incluido en un formato de base de datos CHAMP.

La base de datos digital CHAMP y los archivos correspondientes digitales de entrada/salida WHAFIS se incluyeron como parte de la presentación.

3.2.4.7 Extracción de Estacionamiento de Zona WHAFIS

El resultado WHAFIS define la designación de zona y la transformación de altura de ola a lo largo de cada transecto. El resultado WHAFIS fue proporcionado como estación a lo largo de cada transecto; estos puntos de datos fueron convertidos a coordenadas geográficas para que pudieran ser utilizados con el programa SIG. Estos puntos de estación extraídos se usaron para delinear las zonas de inundación costera y los ABFEs (que se describen en la sección a continuación).

La frontera (entorno) del valle de inundación de probabilidad anual de 0.2 por ciento se generó utilizando servicios del SIG para encontrar la intersección de la superficie ráster SWEL con la topografía. La frontera resultante del valle de inundación fue suavizada para crear una línea más limpia sin la oscilación asociada con los datos topográficos de resolución fina. La frontera luego fue editada para eliminar las áreas bajas que no estaban conectadas hidráulicamente a las áreas de inundación costera y para eliminar las entidades de sobre-marejada demasiado pequeñas para la escala del mapa.

3.2.4.8 Zonas de inundación de 0.2 Por Ciento de Probabilidad

Los ABFEs costeros fueron una combinación del 0.2 por ciento de probabilidad anual de SWEL y la configuración de olas (total de aguas quietas).

Las zonas costeras de inundación y los BFE se separaron mediante líneas de canaletas que delineaban la interpolación de los puntos de elevación de salida entre transectos en función de la elevación del terreno, los cambios en la superficie de las marejadas y el uso del terreno.

Se delinearon mapas para las áreas inundadas por el evento de probabilidad anual de 0.2 por ciento en una de dos zonas: VE o AE. La zona VE (zona de alta velocidad) representaba áreas donde la altura de ola que gobernaba era mayor o igual a 3 pies. La elevación de la cresta de la ola en relación con el agua quieta total fue del 70 por ciento de la altura de la ola que gobernaba. En consecuencia, en la Zona VE, el ABFE era al menos 2.1 pies más alto que el agua quieta total. La zona AE representa las áreas donde la altura de ola que gobernaba era de menos de 3 pies.

La línea base del transecto para los análisis WHAFIS representó el contorno de 0 pie referenciado a PRVD02 como fue derivado del DEM Sin Costuras/Bordes Topo-batimétrica.

El producto de WHAFIS definió la designación de zona y la transformación de altura de ola a lo largo de cada transecto. El producto de WHAFIS se proporcionó como estaciones a lo largo de cada transecto; estos puntos de datos fueron convertidos a coordenadas geográficas para que pudiesen ser utilizadas con el programa SIG. Las zonas y ABFEs fueron separados dibujando líneas de canaletas que delineaban la interpolación de los puntos producidos de elevación entre transectos basados en la elevación del terreno, los cambios en la superficie de oleaje y el uso del terreno.

Los EMPs usaban 70 pies como el ancho mínimo de la zona, y cualquier zona más estrecha usualmente se fusionaba en una zona adyacente con un ABFE más alto. Hay una excepción a esta regla; en lugares donde la ruptura entre las zonas VE y AE se cambiaría aplicando dicha regla pero existían zonas estrechas adyacentes, las zonas estrechas AE fueron fusionadas con otras zonas estrechas AE para preservar el límite de zona VE/AE. Por ejemplo, si el modelado terrestre produce un AE12 de 20 pies de ancho entre un VE13 de 200 pies de ancho y un AE11 de 150 pies de ancho, el AE12 se fusionaba con el AE11 para preservar la designación de Zona AE para representar con mayor precisión el riesgo de ola. El proceso de Enmienda de Carta de Mapa (Letter of Map Amendment) no permite que los propietarios de una edificación eliminen la estructura de VE a AE; por lo tanto, los EMPs prestaron atención especial a las áreas con estructuras y pudieron haber delineado zonas de hasta 25 pies de ancho para adecuadamente designar la ubicación de la estructura.

3.2.4.9 Límites/Suposiciones del Producto del Valle de Inundación de 0.2 Por Ciento de Probabilidad

El producto de 0.2 por ciento desarrollado por este esfuerzo debe proporcionar un recurso útil para identificar instalaciones críticas sujetas a riesgos costeros dentro del valle de inundación de 0.2 por ciento. Los datos se sometieron a una revisión por un equipo interno y una segunda revisión independiente con el fin de identificar y corregir problemas y garantizar la calidad general

del producto. El producto tiene las siguientes limitaciones/suposiciones debido a errores inherentes en los recursos de datos y el enfoque de producción:

1. Se usó una altura de ola única calculada en alta mar y un período de ola única para todos los transectos expuestos siguiendo la metodología utilizada en el estudio efectivo. Las siguientes suposiciones fueron hechas:
 - La altura de la ola en alta mar estaba a una distancia significativa costa afuera donde muy poca protección podría hacerla cambiar.
 - Durante el paso de una tormenta tropical, en algún momento durante el paso, la dirección del viento sería tal que conduciría la ola hacia la costa adentro.
 - El modelo WHAFIS no es sensitivo a estas condiciones de oleaje en alta mar. La profundidad como el insumo en el litoral limitó la altura de la ola propagada a lo largo del transecto en WHAFIS.
 2. El modelaje de la metodología de tarjetas de obstrucción de 0.2 por ciento siguió los métodos usados en el estudio efectivo. Lo siguiente se puede resaltar sobre el modelaje:
 - Las tarjetas OF se capturaron durante el modelaje WHAFIS entre tarjetas BU en áreas bien desarrolladas.
 - Las tarjetas VE a veces se extraviaron en áreas urbanizadas. Sin embargo, se determinó que el esquema no afectaba significativamente los resultados o la cartografía.
 - Uso de la tarjeta DU en áreas de PFD. Dado que el estudio efectivo no utilizó la tarjeta DU, no se usó como parte de este modelo para lograr consistencia.
 3. Se adoptaron los métodos de erosión del estudio efectivo con la excepción del aumento de los criterios de erosión de 540 pies cuadrados a 1,030 pies cuadrados, según las pautas de modelaje y cartografía de 0.2 por ciento.
 4. Los datos topográficos utilizados en el modelaje y cartografía efectivas para esta región fueron mucho menos detallados que los que se usaron para producir estos productos recomendados. Como resultado, pueden haber discrepancias entre la cartografía de 1 por ciento y 0.2 por ciento. Las áreas pueden estar dentro del valle de inundación considerado como Área Especial de Riesgo de Inundación (Special Flood Hazard Area, "SFHA") de 1 por ciento pero fuera del valle de inundación de 0.2 por ciento. El nuevo límite del valle de inundación de 1 por ciento se fusionó con el efectivo, de modo que sólo se muestran las áreas que aumentaron de tamaño en el valle de inundación. En áreas donde el límite efectivo de 1 por ciento, delineado en el estudio original de topografía, está más tierra adentro que el nuevo límite del 1 por ciento, delineado en la nueva topografía de 2017, es posible que el límite de 0.2 por ciento, también delineado para la nueva topografía de 2017, está más hacia el mar del límite efectivo del 1 por ciento. *Por ejemplo*, las áreas que son AE dentro del valle de inundación de 1 por ciento podrían ser una Zona X basada en el mapeo de 0.2 por ciento. Los datos recomendados de 1 por ciento serán usados para apoyar las áreas residenciales y los del 0.2 por ciento se usarán para apoyar instalaciones críticas.
-

5. Debido a la falta de transectos densamente espaciados en el estudio efectivo (y limitado al uso de estos transectos para este producto), la cartografía en estas áreas se basó en gran medida en la topografía, elevaciones de aguas quietas (basadas en modelos) y datos de uso de terreno.
6. Las áreas dominadas por el Runup en el producto de 0.2 por ciento no eran parte del ámbito del estudio para ser modeladas. Por lo tanto, se utilizó el siguiente método para trazar las áreas de Runup de 0.2 por ciento (en lugar de dejar las áreas en blanco).
 - Adopción de la elevación máxima de la cresta de la ola de 0.2 por ciento desde los transectos WHAFIS adyacentes modelados de 0.2 por ciento.
 - El límite en las áreas Runup luego fueron trazadas a la elevación de la cresta de la ola de 0.2 por ciento y el ABFE asignó esta elevación como una zona VE.

3.2.5 Cambio Costero a Largo Plazo

El cambio costero a largo plazo en Puerto Rico, Culebra y la costa norte de Vieques fue examinado por un período de 16 años (2000-2016). El análisis aprovechó las representaciones costeras basadas en LiDAR para establecer el cambio anual de litoral, y produjo para áreas expuestas a la erosión costera, proyecciones para los próximos 30-60 años. Estos productos informarán los esfuerzos de recuperación de peligros de erosión costera potencial a largo plazo.

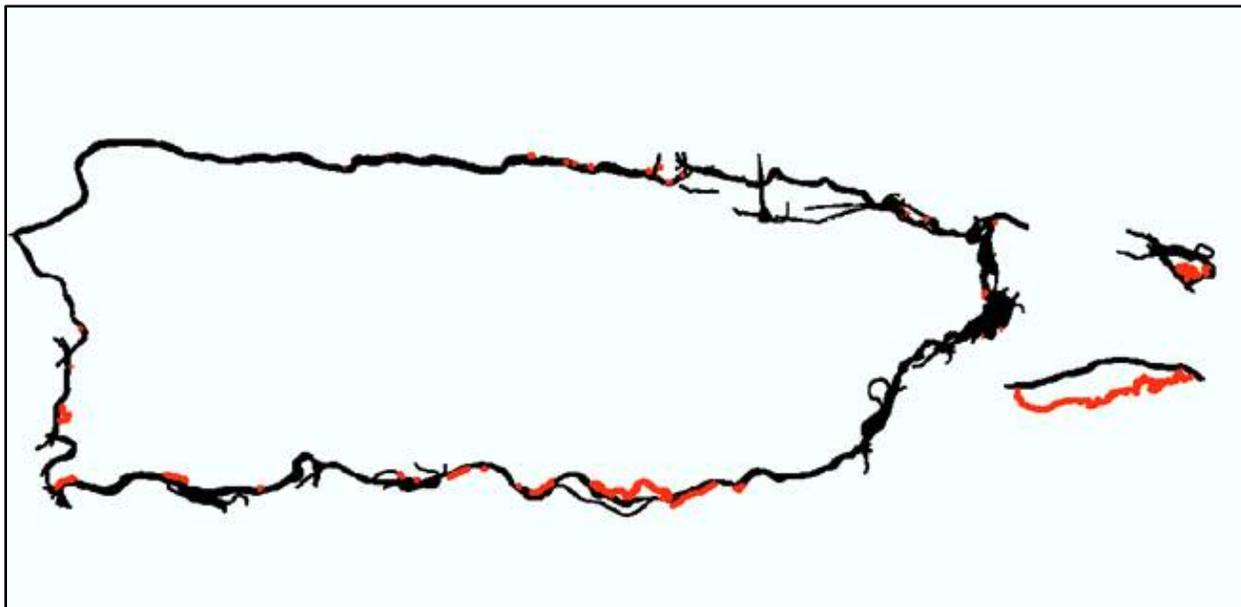
La recuperación requirió un enfoque que proporcionara cambios de litoral razonablemente precisas dentro de un plazo de producción de 1 mes. Esto impidió la lenta recolección y rectificación de fotografías aéreas históricas y la posterior digitalización de los vectores del litoral costero. Los litorales derivados de LiDAR se han utilizado cada vez más para el análisis del cambio del litoral y han proporcionado una representación objetiva para las líneas de altura máxima del agua (high water lines) tradicionales y visualmente identificadas (Morton et al., 2004). En las siguientes subsecciones se proporciona una descripción de los recursos de datos y el enfoque para el análisis de erosión a largo plazo.

3.2.5.1 Topografía de base

El análisis de cambio costero aprovechó el uso de la topografía 2016 USGS LiDAR, la topografía base utilizada para el resto de los datos recomendados, en conjunción con la topografía 2000 USGS/NASA LiDAR. Una Evaluación LiDAR Aerotransportada del USGS / NASA se llevó a cabo en Diciembre de 2000 con la intención de dibujar la topografía de las playas y las elevaciones costeras en Puerto Rico, Culebra y Vieques. Ambos conjuntos de datos corresponden al datum vertical PRVD02. La cobertura se limitó a una franja a lo largo del litoral para la isla de Puerto Rico, Culebra y la costa norte de Vieques (**Figura 3-9**).

El LiDAR del USGS de 2000 se utilizó sobre otros datos existentes, como la topografía efectiva FIS, ya que proporcionó una cobertura casi completa de las islas a partir de un conjunto único de datos de alta calidad. Por ejemplo, la topografía FIS efectiva fue una combinación de la topografía del Cuerpo de Ingenieros del Ejército (U.S. Army Corps of Engineers) de 2003, la topografía aérea fotogramétrica de 1996-1998 y los datos de elevación nacional de USGS de los años 1970 y 1980.

Figura 3-9. Alcance del 2000 USGS / NASA DEM (áreas sin cobertura del litoral se muestran en rojo)



3.2.5.2 Delineación del Litoral

El litoral costero se define como el límite donde una masa de agua entra en contacto con tierra firme. Las condiciones que cambian en los ambientes marinos y terrestres modifican la posición del litoral en periodos que varían entre segundos a siglos, dando como resultado numerosas fluctuaciones tan mínimos como pulgadas o hasta cientos de pies. Para comparar con precisión las sucesivas posiciones del litoral en el campo, se debe establecer una definición del litoral consistente (Kraus y Rosati 1997).

La delineación del litoral para este esfuerzo se enfocó inicialmente en utilizar el dato de agua mareal MHHW, el cual es definido por NOAA como el “promedio máximo de la cota de agua para cada día de marea” (NOAA 2000). En otras palabras, MHHW representa la mayor elevación de las mareas diarias. El paquete del programa vertical de NOAA, VDATUM, se utilizó junto con una cuadrícula regularmente espaciada generada en ESRI SIG ArcMap para crear una superficie de elevación de marea en toda el área de estudio. La superficie se usó para generar litorales a lo largo de la intersección de la elevación MHHW con cada DEM. Los litorales resultantes se compararon visualmente contra las imágenes aéreas para garantizar que su ubicación apareciese según lo esperado en función de la línea de marea húmeda/seca visualmente aparente. La revisión encontró que las costas de MHHW estaban inesperadamente más hacia el mar de su ubicación esperada. Los cálculos, datums y unidades de las fuentes de datos se revisaron y se encontraron correctos y consistentes alrededor los conjuntos de datos.

Dada la mala calidad de los resultados, se decidió basar la elevación del litoral en una muestra de elevaciones de cresta de berma. La cresta de la berma marca el límite superior general de la subida de la ola en una playa, y es un punto de transición a la berma más plana. La cresta de la berma se puede utilizar como una representación de líneas de altura máxima del agua, un indicador costero común para el análisis del cambio costero. Esta interpretación no debe

confundirse con la zona "húmeda/seca" o agua-saturada, que se produce cerca de la línea del agua (water line) (Leatherman 2003). Para evaluar la altura representativa de una berma en Puerto Rico, se examinaron visualmente 93 elevaciones de las secciones transversales en 12 lugares alrededor del área de estudio. La elevación promedio de la berma fue de 1.97 pies PRVD02 - este valor fue redondeado a 2.0 pies para ser aplicado. Litorales representativos luego fueron extraídos de cada DEM como el contorno de elevación de 2 pies de los DEM de 2000 y 2016.

Los litorales se volvieron a examinar visualmente para consistencia con la posición proyectada en las fotografías aéreas. La revisión sí encontró algunos lugares donde el litoral del LiDAR 2000 estaba ubicado más hacia el mar de lo esperado. Se descubrió que estos casos eran el resultado de la vegetación presente en el LiDAR 2000 (no puramente en tierra). Se descubrió que las áreas de humedales, o con vegetación esporádica o árboles en el litoral, estaban parcializadas por las altas elevaciones adicionales introducidas en el DEM por esas entidades. Estas áreas fueron identificadas y excluidas del análisis de cambio costero. En algunos casos en los que el litoral sólo fue periódicamente influenciado por estas identidades, una precaución adicional fue tomada para ubicar adecuadamente los transectos de análisis donde el litoral no se vio afectado. La ubicación del litoral costero de 2000 también se revisó contra imágenes históricas en Google Earth en áreas que muestran mayores cantidades de cambios. Esta revisión corroboró principalmente la ubicación del litoral; sin embargo, en algunos casos marcó tramos del litoral para ser excluidos. En general, se encontró que la ubicación fue mejorada con respecto al enfoque de MHHW y adecuada para el análisis de cambio costero.

3.2.5.3 Análisis de cambio costero

El análisis de cambio costero se completó en las ubicaciones de los transectos en las tres islas. El diseño de los transectos, los cálculos de cambio, los errores asociados y la clasificación de los transectos en función de las tendencias de cambio de litoral costero y el grado relativo del riesgo de erosión se completaron y se describen en el siguiente texto.

3.2.5.3.1 Diseño del Transecto

Las posiciones del litoral fueron tomadas para el análisis de cambio costero en transectos costeros perpendiculares. Un total inicial de 2,296 transectos se espació a un intervalo de 750 pies (229 m) a lo largo de una línea de base alrededor de las tres islas (**Figura 3-10**). La línea de base se estableció a partir de una versión simplificada del litoral de 2016. Los IDs de transectos se asignaron en números ascendentes siguiendo el sentido de las manecillas del reloj alrededor de cada una de las tres islas. La colocación inicial del transecto se realizó a través de una herramienta automatizada. Los transectos fueron luego revisados y ajustados para lograr una colocación aceptable. Esta revisión incluyó:

1. Colocación perpendicular de los transectos a los dos litorales y orientación general de la costa;
2. Localización de una ubicación del litoral representativo adecuado para el análisis de cambio costero. Por ejemplo, no ubicado inmediatamente adyacente a la desembocadura de un río;

3. La colocación de transectos para evitar las áreas sospechosas en el litoral, es decir, no localizado en un artefacto aparente del LiDAR, especialmente el DEM de 2000 que incluía vegetación y;
4. La colocación de transectos para evitar las áreas con una geometría del litoral muy complicada que daría lugar a múltiples intersecciones del transecto con los litorales costeros.
5. Colocación de transectos en costas visiblemente rocosas o estabilizadas. Se revisaron los transectos para ubicarlos en costas no erosionables. En general, la calidad de imágenes disponible de ESRI o Google Earth permitió esta clasificación y eliminación de transectos. En los casos en donde las estructuras de protección del litoral consistían en enroscados o escombros colocados en la costa, los transectos no fueron eliminados para transmitir el riesgo potencial de erosión.

El recuento final de transectos después de este proceso de revisión fue de 1,669.

Figura 3-10. Ejemplo de colocación y espaciado de transectos



3.2.5.3.2 Cálculos de Cambio Costero

Los cambios costeros se calcularon muestreando la ubicación de cada litoral a lo largo de cada transecto. La distancia entre los dos litorales fue luego dividido por el intervalo de tiempo entre

la recolección de los dos DEMs para derivar el cambio costero sin tratar. Cada recolección LiDAR ocurrió durante varios días. El punto medio de la recopilación de datos se utilizó como la fecha representativa para el análisis de cambio costero. Las fechas de recolección y las fechas representativas se proporcionan en la tabla a continuación:

Tabla 3-9: Información de recolección

Conjunto de Datos (Dataset) LiDAR	Plazo de la recolección	Fecha Representativa
2000	2000-12-01 to 2000-12-08	2000-12-04
2016 – Western Collection Area	2016-01-26 to 2016-05-15	2016-03-21
2016 – Eastern Collection Area	2016-12-08 to 2017-03-16	2017-01-26

3.2.5.3.3 Error de Cambio Costero

La Raíz del Error Cuadrático Medio ("RMSE") de los cambios costeros se estimó compilando los valores de error asociados con la precisión horizontal de la ubicación del litoral. Dichos valores de error se compilaron por separado para los DEM de 2000 y 2016 y luego se sumaron para representar el error total dentro del cambio costero. Las posibles fuentes de error en el cálculo del cambio costero incluyen:

1. Precisión horizontal de cada DEM – proporcionada por los metadatos de DEM y cuantificada en el momento de la recopilación de datos.
2. Error de extracción del vector litoral – introducido por la varianza en el algoritmo de extracción geoespacial ESRI. Estimado extrayendo el contorno del litoral con 3 extensiones geoespaciales diferentes. Medida de dispersión en la posición del litoral de los 3 contornos extraídos en 20 ubicaciones y tabulado el error promedio. El error promedio fue de 1.4 pies, este valor se utilizó para ambos DEMs dado su tamaño de celda idéntico y el uso del mismo proceso de extracción.
3. Error de posicionamiento horizontal debido a la precisión vertical – estimado al revisar las pendientes en el DEM en 25 ubicaciones seleccionadas al azar en las 3 islas dentro de la tolerancia de error vertical promedio de los dos DEMs (+/- 0.4 pies). Para la elevación del contorno de 2 pies, se identificó la ubicación de las elevaciones de 1.5 y 2.5 pies. La distancia entre las dos elevaciones representaba la incertidumbre potencial. Los valores muestreados se promediaron para un solo número representativo para ambos DEMs, y el error se incluyó para cada fecha del litoral. Este error promedio de este elemento fue de 10.4 pies

Los componentes de error fueron combinados en cuadratura para proporcionar una medida del error de posición total para la posición del litoral (ϵ) como:

$$\epsilon = \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \epsilon_3^2}$$

Donde:

ε = error de recesión del litoral de posición horizontal total

ε_1 = precisión horizontal del DEM

ε_2 = error de extracción del vector del litoral

ε_3 = error de posición horizontal debido a la precisión vertical

El error de posición total fue dividido por el intervalo de cada análisis de cambio para el área de estudio para proporcionar el error de cambio (ε_R):

$$\varepsilon_R = \frac{\varepsilon_{\text{Litoral 1}} + \varepsilon_{\text{Litoral 2}}}{\text{intervalo de tiempo entre litorales, año}}$$

Basado en esta metodología, el error de cambio fue estimado en 1.3 pies/año. Teniendo en cuenta los resultados del análisis de error, se decidió redondear el cambio sin tratar al número entero más cercano para eliminar la precisión no garantizada de los resultados.

3.2.5.3.4 Clasificaciones de tasas de cambio

Dos tipos de clasificación de cambios fueron realizados, una para la clasificación simple y otra para reflejar el riesgo de erosión. Ambas clasificaciones se basaron en los cambios redondeados y reflejaron el error de cambio evaluado.

La primera categorización general estaba destinada para proporcionar una evaluación simple del cambio de las direcciones del litoral alrededor de las tres islas, como se muestra en la **Tabla 3-10**:

Tabla 3-10: Clasificación de Estado General para los Transectos de Cambio del Litoral.

Clasificación	Tasas de cambio redondeadas incluidas	Descripción	Porcentaje de Transectos
Acreción	>1 pie/año	Litoral acumulando sedimento y avanzando	10
Estable	0 pie/año	No o poca cantidad de cambio	38
Erosión	<-1 pie/año	Litoral pierde sedimentos y retrocede	52

Un segundo esquema se centró en el esfuerzo de recuperación y clasificó los cambios costeros en 5 categorías relativas de riesgo de erosión. La intención aquí era comunicar de forma conservadora el grado de riesgo de cada ubicación a la recesión del litoral como se presenta en la **Tabla 3-11** a continuación:

Tabla 3-11: Esquema de Clasificación de Riesgo de Erosión para Transectos de Cambio Costero

Clasificación de Riesgo de Erosión	Tasas de Cambio Redondeadas Incluidas	Descripción	Porcentaje de Transectos
Riesgo Insignificante	>1 pie/año	No hay riesgo de erosión dado el error en el cambio costero	20
Riesgo leve (bajo)	0 pie/año	Riesgo mínimo de erosión, pero se indica como bajo debido a un error de cambio costero. No se ha dibujado ningún polígono de riesgo de erosión.	28
Riesgo Moderado	-1 pie/año a -3 pie/año	Basado en el error y la distribución de las tasas de cambio. Polígono de riesgo de erosión dibujado.	48
Riesgo Alto	-4 pie/año a -5 pie/año	Basado en el error y la distribución de las tasas de cambio. Polígono de riesgo de erosión dibujado.	3
Riesgo Severo	<-5 pie/año	Basado en el error y la distribución de las tasas de cambio. Polígono de riesgo de erosión dibujado.	1

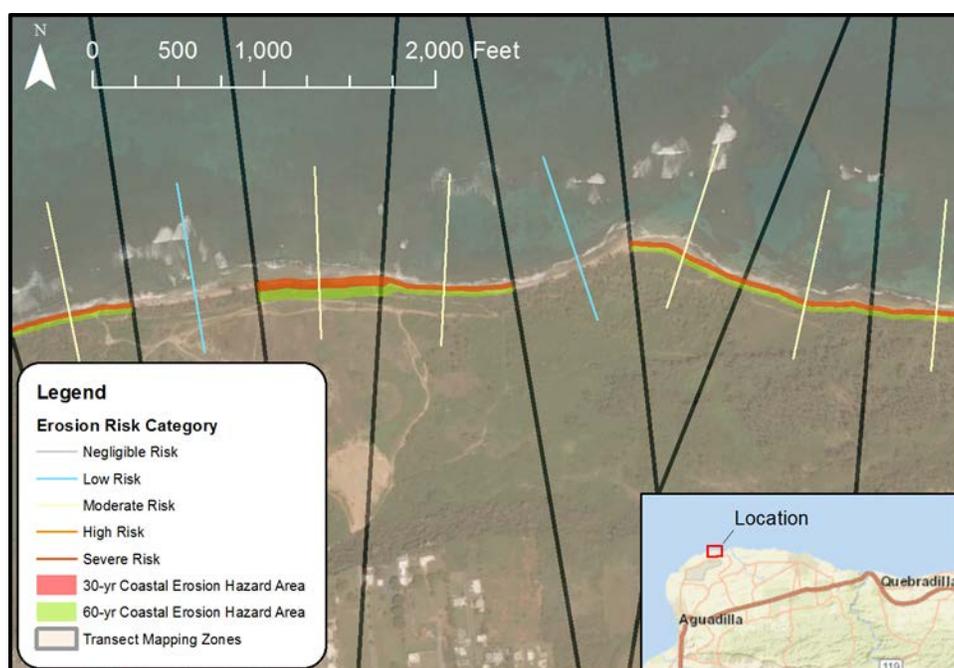
3.2.5.4 Proyección de Polígonos de Área de Riesgo de Erosión Futura

Para facilitar el uso del análisis de cambio en el esfuerzo de recuperación del Huracán María, se generaron polígonos de área de riesgo de erosión. Estos polígonos representan áreas proyectadas para ser erosionadas en los próximos 30 y 60 años. Dichas áreas deberían estar protegidas o tener actividades de recuperación ubicadas fuera del área de peligro indicada en función de su ciclo de vida. Los polígonos se crearon para áreas que tienen un cambio costero redondeado igual o superior a -1 pie/año. Este criterio fue asignado para generar polígonos para áreas que tienen tendencias de erosión significativas para cambios aproximados al RMSE

calculado. Cabe señalar que las proyecciones se basan en el período aproximado de 16 años de análisis proporcionado por este esfuerzo y están sujetas a las limitaciones inherentes de ese período de registro limitado.

Los polígonos se generaron a partir de las distancias de retroceso calculadas en cada transecto al multiplicar el cambio redondeado por el período de retroceso (30 o 60 años) para los transectos en las categorías de riesgo moderado, alto y severo. El cambio redondeado se usó para reflejar el error inherente en los cálculos de cambio. El primer paso en el proceso fue establecer "Zonas de Dibujo de Transecto" ("Transect Mapping Zones"). Estas zonas definieron el punto medio entre los transectos. Esta simplificación fue requerida para producir las capas de polígono para la totalidad de las tres islas dentro de la ventana de producción. Las Zonas de Dibujo de Transecto se aplicaron al litoral de 2016 para dividirla en segmentos, cada una de las cuales se usó para el proceso de amortiguación para crear las zonas de riesgo de erosión proyectadas. La distancia de retroceso para cada marco de tiempo futuro luego fue aplicada como un amortiguador a cada segmento litoral costero para generar los polígonos. Los bordes de las áreas amortiguadas se redondearon para mejorar la estética cartográfica del producto final. Se realizó una revisión visual y una edición adicional para eliminar transiciones y artefactos extraños o para recortar los polígonos en los tramos correspondientes de la costa. Un ejemplo de las Zonas de Dibujo de Transecto y los polígonos del área de riesgo de erosión costera se provee en la **Figura 3-11**.

Figura 3-11. Áreas Proyectadas de Riesgo de Erosión Costera trazados con la "Zona de Mapeo de Transectos" (un área que proporcionó cobertura a los puntos medios aproximados entre transectos)



3.2.5.5 Comparación de Datos Existentes

Una revisión de los estudios existentes durante la fase de determinación del ámbito de este esfuerzo no identificó ningún otro estudio moderno en toda la isla sobre el cambio costero en

Puerto Rico. Durante la ejecución inicial del alcance técnico, se notificó a FEMA que el reporte “Assessment of Beach Morphology at Puerto Rico Island” (Barreto, et al. 2017) había sido recientemente completado por la Red de Playas de Puerto Rico y el Caribe en la Escuela de Planificación en la Universidad de Puerto Rico (Puerto Rico and Caribbean Beach Network, Planning School, University of Puerto Rico). El estudio ofrece análisis completados por una entidad de investigación familiarizada con Puerto Rico, y para un período de registro más prolongado (1977 a 2016). Otras diferencias notables de este estudio, por el esfuerzo liderado por Barreto incluyen:

1. Uso de un indicador de litoral digitalmente identificado y visualmente identificado - la línea "húmedo/seco"
2. Espaciado de transectos a un intervalo de 20 m (~ 65 pies)

Se hicieron esfuerzos para adquirir y utilizar los datos generados por el estudio de Barreto para el esfuerzo de recuperación; sin embargo, los datos cambio costero no estuvieron disponibles para FEMA. Hacia el final del esfuerzo de la cartografía recomendada, los datos limitados incluyeron las clasificaciones del litoral se hicieron disponibles en una hoja de cálculo con ubicaciones geográficas, pero los valores específicos de cambio costero fueron excluidos.

Se compararon los cambios costeros recomendados y los estudios de Barreto. Se siguieron los siguientes pasos en esta comparación:

1. Reasignando los valores de cambio costero en las ubicaciones de punto proporcionadas a cada una de las clasificaciones proporcionadas por Barreto utilizando su documentación de informe.
2. Ejecutando una unión espacial entre ubicaciones de puntos provenientes de Barreto a los transectos asesores de cambio costero.
3. Comparando el rango de valores de Barreto, basado en la clasificación, con el transecto recomendado más cercano.
4. Evaluando y compilando valores mínimos de diferencia basados en los rangos en cada transecto recomendado.

En general, la comparación encontró que el 80 por ciento de los valores recomendados calculados estaban de acuerdo con Barreto. El recuento de transectos y la diferencia mínima se presentan en la **Tabla 3-12**. El 62 por ciento de los transectos tenían una diferencia mínima de "0", mientras que el otro 18 por ciento tenía una diferencia mínima de 1 pie. También consideramos que el 18 por ciento adicional estaban en acuerdo, dados los errores de cambio asociados de este y los estudios de Barreto. De esta comparación, podemos concluir que los cambios costeros recomendados son consistentes con Barreto.

Tabla 3-12: Resumen de Comparación del Esfuerzo Consultor y los Cambios Costeros Barreto

Diferencia mínima en el Cambio Costero, pie/año	Conteo de Transectos	Porcentaje de Transectos
0	137	62%
1	39	18%
2	12	5%
3	11	5%
4	11	5%
5	2	1%
6	0	0%
7	4	2%
8	1	0%
9	0	0%
10	0	0%
11	2	1%
12	1	0%

3.2.5.6 Limitaciones del Producto de Erosión a Largo Plazo

La información sobre el riesgo de erosión costera producida por este esfuerzo debe proporcionar un recurso útil para identificar áreas sujetas a riesgos de erosión costera en apoyo del esfuerzo de recuperación. Los datos fueron revisados por un equipo interno y a una revisión independiente para identificar y corregir problemas y garantizar la calidad general del producto. El producto tiene las siguientes limitaciones debido a un error inherente en los recursos de datos y el enfoque de producción:

1. El análisis realizado para la erosión costera a largo plazo se limitó a dos litorales costeros durante un período aproximado de 16 años. Los cambios calculados y los polígonos resultantes estaban sujetos a las limitaciones de los datos de origen y las condiciones previas que pueden haber influido en la posición del litoral antes de los datos de la encuesta en 2000 y 2016/2017. El análisis aquí se simplificó para los efectos del esfuerzo de recuperación. La precisión general de los cambios mejoraría si el período de registro fuera más largo, o si se incluyeron litorales costeros adicionales. Idealmente, los cambios se derivarían de 4-5 litorales en un período de 30 años para derivar un método de regresión lineal de cambio que incluyera todos los puntos de datos del litoral para cada transecto.
2. Los transectos de velocidad de cambio se eliminaron de las áreas con litoral aparentemente no erosionable, como aquellas con sustratos de roca o estructuras de estabilización de litoral significativas, tales como revestimientos de ingeniería y muros de contención. La calidad de las imágenes disponibles y el calendario de producción

limitaban una revisión completa y detallada de todas las áreas. Como tal, los polígonos podrían mostrarse para áreas que los residentes locales consideraran estables debido a la colocación de estructuras de enroscamiento que consisten en grandes piezas de materiales mezclados.

3. Se recomienda que los usuarios finales utilicen los cambios costeros redondeados de valor entero para fines de recuperación, que se presentan como la "Tasa de Cambio" ("Change Rate") en el archivo shapefile de Transecto (Transect shapefile). Los cambios calculados tienen un error estimado de 1.3 pies/año. Este error refleja el error horizontal y vertical en la topografía LiDAR de origen y el error al extraer los litorales de la topografía. Como tal, los cambios presentados se redondearon al pie entero más cercano. Los cambios brutos (sin tratar) se proporcionan sólo con fines informativos. Cuando se necesiten tarifas más fiables y/o precisas, se recomienda que los usuarios finales aprovechen la información de Barreto (2017) o realicen análisis detallados específicos del campo.
4. Los polígonos del Área de Riesgo de Erosión Costera a lo largo de la costa, proyectados a 30 años y 60 años, no son representaciones espaciales explícitas del grado del riesgo de erosión costera. Los polígonos se generaron en el punto medio entre los transectos de análisis. La cobertura no se ajustó a la ubicación específica del sitio de la transición en la tendencia de cambio costero, como aparenta desde las posiciones del litoral. Los usuarios finales deben revisar las posiciones del litoral para identificar la extensión completa del riesgo de erosión a lo largo de la costa, o realizar análisis adicionales detallados cuando sea necesario.
5. El borde de tierra de los polígonos proyectados a 30 y 60 años del Área de Riesgo de Erosión Costera no eran una representación explícita del posible riesgo de erosión futuro. Los polígonos se generaron a partir de los cambios redondeados para permitir a los usuarios finales identificar fácilmente las áreas sujetas a la erosión costera con fines de recuperación posterior a María. No se recomienda que los usuarios finales usen el borde explícito de las zonas al ubicar las estructuras cercanas a los polígonos. Se debe considerar la precaución adecuada y un retroceso adicional desde el borde para tales áreas en ausencia de otros esfuerzos de estabilización del litoral.
6. Los polígonos estaban destinados a informar los esfuerzos de recuperación y no son para uso regulatorio.

3.2.6 Erosión Costera Inducida por Tormenta

Las costas de Puerto Rico experimentaron una erosión significativa debido a los huracanes María e Irma. Algunas áreas puede que no hayan tenido un problema significativo de inundación, pero, sin embargo, debido a la erosión inducida por la tormenta, estructuras experimentaron daños en los cimientos. Para facilitar la identificación de las áreas que experimentaron erosión debido a los huracanes María e Irma, se identificaron las áreas sujetas a un riesgo potencial mayor debido a la erosión inducida por tormenta. Este producto ayudará a identificar las áreas donde los proyectos de mitigación podrían ser deseados. Esta tarea consistió en los siguientes componentes.

3.2.6.1 Áreas de Erosión Significativa Inducida por Tormenta por el Huracán María

Las áreas de erosión de tormenta inducida significativa causada por el Huracán María se identificaron haciendo una revisión visual de fotografías aéreas verticales posteriores al desastre en comparación con el litoral delineado de las encuestas de LiDAR de USGS de 2017 anteriores a la tormenta, utilizadas en la tarea de erosión a largo plazo e imágenes previas disponibles a la tormenta. Las áreas aparentes de erosión significativa de tormenta inducida se capturaron con un polígono dibujado manualmente, delimitado por el litoral y el área sujeta a erosión. El litoral costero se dibujó a lo largo de la línea húmeda/seca en las fotografías aéreas para proporcionar una delineación uniforme del litoral erosionada. Los polígonos de revisión aérea no siguen el litoral delineado actualizado porque los eventos del huracán alteraron los litorales en algunas áreas de manera tan drástica que no tiene sentido tratar de correlacionarlas. En cambio, este producto tiene como objetivo resaltar áreas de cambio significativo basadas en imágenes previas y posteriores. Las extensiones se basaron en el grado de cambio de diferentes fuentes de fotografía aérea.

Los polígonos se delinearon basados en una evaluación visual de todas las fuentes de datos. Las imágenes después del evento se obtuvieron de Vexcel y NOAA. Las imágenes previas al evento se obtuvieron de NOAA. Las áreas de erosión a largo plazo y las áreas naturalmente dinámicas no se tuvieron en cuenta en función de los indicadores de vegetación y perturbación del suelo, así como las imágenes históricas de Google Earth Pro. Se tuvo cuidado de distinguir entre las variaciones engañosas en el brillo y la saturación de las imágenes aéreas. Además, las áreas donde las copas de árboles y arbustos fueron simplemente despojadas, exponiendo el substrato debajo fueron evaluadas caso por caso. Estas áreas pueden aparecer erosionadas, pero muchas veces la remoción de vegetación simplemente expuso los materiales naturales subyacentes existentes.

Se recolectaron tres tipos de procesos de erosión costera: erosión, deposición y desbordamiento de oleaje (overwash). La erosión ocurre cuando la arena es removida del sistema de playa, la deposición ocurre donde la arena es transportada y almacenada en nuevas barras de arena, y el desbordamiento de oleaje ocurre cuando las olas inducidas por la tormenta y el oleaje transportan y depositan arena hacia tierra.¹ En los casos donde los procesos de erosión ocurrieron cerca de las estructuras, la distancia en pies se midió a la estructura más cercana en riesgo.

3.2.6.2 Potencial de Áreas de Erosión Leves y Severas Inducidas por Tormentas

El estudio FIS efectivo se utilizó para identificar áreas de potencial de erosión inducida por tormentas. Las áreas que no tenían erosión modelada durante el estudio efectivo no fueron cubiertas. Se creó una cobertura de polígono para identificar tres áreas de gravedad de erosión: retirada, removida y no estándar. Los polígonos estaban limitados por el litoral actualizado de este estudio y el área sujeta a erosión.

Durante el estudio efectivo, las áreas de retiro de dunas y remoción de dunas fueron identificadas y delineadas siguiendo la regla estándar de FEMA de 540 pies cuadrados como se especifica en

¹ USGS St. Petersburg Coastal and Marine Science Center.

el **Apéndice D** de *Guidelines and Specifications for Flood Hazard Mapping Partners*. Para las áreas costeras donde la capa de arena se superpone a las repisas rocosas, se aplicó una metodología de erosión no estándar y la capa de arena fue removida. El **Apéndice E** describe la erosión no estándar del estudio costero efectivo y contiene una tabla que describe la erosión aplicada a todos los transectos en Puerto Rico. Consulte el estudio efectivo para obtener más información sobre la metodología de erosión no estándar.

Los polígonos se delinearon tierra adentro en función del grado de erosión identificado en los transectos efectivos de la base de datos CHAMP, o por medio de la documentación del estudio efectivo, y la extensión hacia el mar se dibujó a lo largo del litoral actualizado de este estudio. A lo largo del litoral, los polígonos se interpolaron utilizando la ubicación primaria de las dunas frontales, las descripciones del litoral y los datos topográficos.

3.2.6.3 Limitaciones del producto de erosión inducida por la tormenta

La información producida por este esfuerzo sobre el riesgo de erosión inducida por tormenta costera proporcionará un recurso útil para identificar las áreas sujetas a erosión por tormentas costeras en apoyo al esfuerzo de recuperación. Los datos se sometieron a revisiones por un equipo interno y luego a otro equipo independiente para identificar y corregir problemas y garantizar la calidad general del producto. El producto tiene las siguientes limitaciones/suposiciones debido a un error inherente en los recursos de datos y el enfoque de producción:

1. Las áreas de erosión inducida por las tormentas María e Irma se basan únicamente en el análisis de imágenes aéreas, sin verificación en el terreno. Las áreas que experimentan erosión por tormentas están limitadas por las observaciones en las imágenes aéreas.
2. No se tomaron imágenes aéreas en el periodo de tiempo entre las dos tormentas y por ende, no se distinguen diferencias en las áreas de erosión inducida por María o Irma.
3. Las áreas que sufrieron erosión de las tormentas de María e Irma, pueden recuperarse a medida que pase el tiempo. Arena puede ser transportada nuevamente a una playa desde depósitos en alta mar. De la misma manera, arena puede ser removida por desbordamiento de oleaje.
4. Las áreas potenciales de erosión debido a tormenta se basan en el análisis realizado en el estudio costero efectivo; no se realizaron cambios en el tipo de erosión y análisis. Las condiciones actuales pueden cambiar la evaluación de la erosión de tormenta si se realiza con información topográfica más reciente.
5. Las áreas potenciales de erosión debido a tormenta se basan en el espaciamiento de los transectos del estudio efectivo. En este esfuerzo, las nuevas áreas entre los transectos no se evaluaron para la erosión de tormenta. Los datos actuales del transecto se interpolaron a las áreas entre los transectos donde era apropiado.

3.3 Productos Secundarios Recomendados

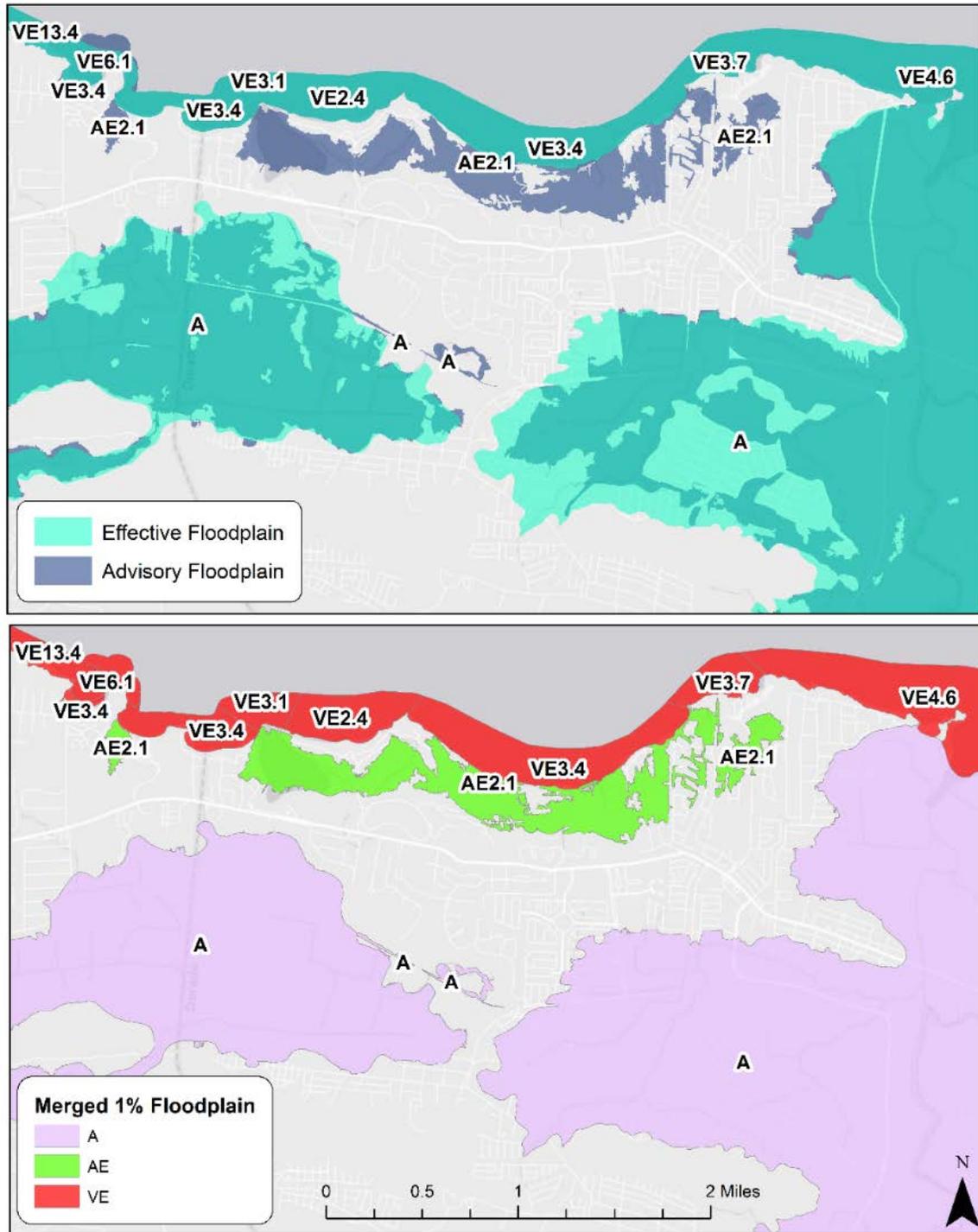
3.3.1 Producto de Desarrollo de Valle de Inundación

3.3.1.1 Proceso de Generación de Valle de Inundación Fusionada de 1 por ciento y 0.2 por ciento

Con fines de mostrar la imagen más conservadora correspondiente al riesgo de inundación y generar productos recomendados sin fisuras de 1 por ciento y 0.2 por ciento, los nuevos valles de inundación recomendados se fusionaron con los valles de inundación efectivos. El objetivo de esta tarea era el de mantener expansiones en el valle de inundación recomendado, asegurando que no se eliminarían las áreas regulatorias de SFHA. Esta tarea se llevó a cabo mediante la fusión de las áreas de polígono efectivas y recomendadas de 1 por ciento y 0.2 por ciento donde el BFE costero más conservador se mantuvo y se atribuyó a los polígonos fusionados del valle de inundación. Debido a la nueva información topográfica que se utilizó para trazar los límites recomendados de valles de inundación de 0.2 por ciento, resultaron áreas donde los valles de inundación de 0.2 por ciento eran menores que los valles de inundación efectivos del 1 por ciento. En estas áreas, las áreas del 1 por ciento fueron adoptadas para el límite del valle de inundación del 0.2 por ciento. Al hacer esto, el valle de inundación de 0.2 por ciento cubre también el área correspondiente a los valles de inundación de 1 por ciento.

Se realizó una limpieza manual para eliminar áreas astilladas, colgantes y solapadas del producto fusionado. Adicionalmente, las áreas de unión costeras-riberañas se volvieron a revisar para garantizar transiciones sin fisuras del producto fusionado. La **Figura 3-12** a continuación muestra un ejemplo del proceso de fusión.

Figura 3-12: Ilustración del Proceso de Generación de Valle de Inundación Fusionado



3.3.1.2 Franjas de Valles de Inundación de 0.2 por ciento

Para los valles de inundación de 1 por ciento, se desarrolló una franja sombreada de Zona X de 0.2 por ciento, similar a los valles de inundación estándar FIRM. Estas áreas franjadas de 0.2 por ciento también se construyeron basadas en el valle de inundación más conservador del mapeo efectivo o nuevo recomendado de 0.2 por ciento. Debido a la nueva información topográfica utilizada para trazar los límites recomendados del valle de inundación de 0.2 por ciento, resultaron áreas donde los valles de inundación de 0.2 por ciento eran menores que los valles de inundación efectivos de 1 por ciento y, en estas áreas, no se mostró la franja del valle de inundación de 0.2 por ciento. Estas franjas sombreadas de Zona X se adjuntaron a los valles de inundación de 1 por ciento. Se eliminaron áreas pequeñas o astilladas de menos de 900 pies cuadrados.

3.3.1.3 Secciones Transversales Ribereñas Fusionadas

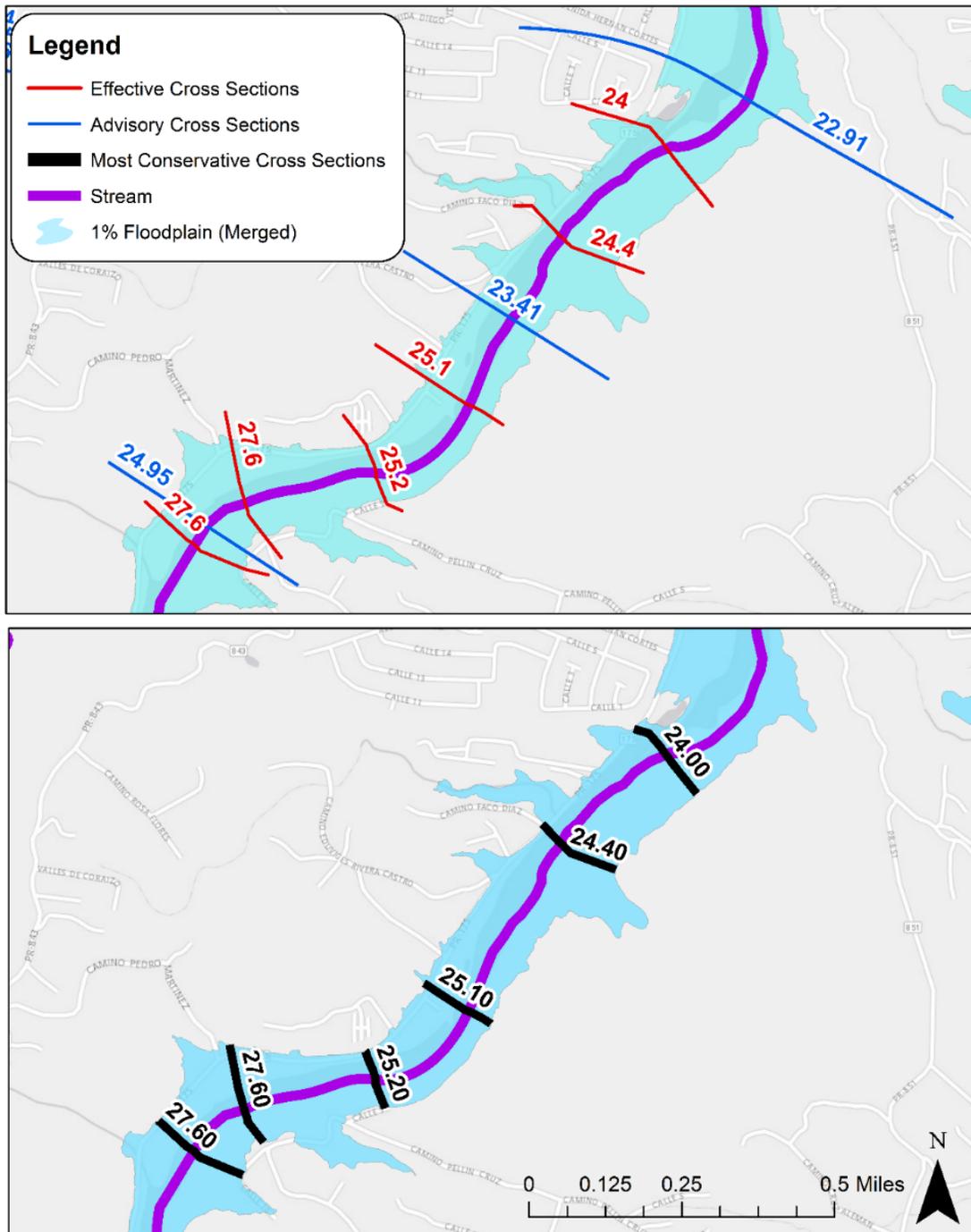
Los mapas recomendados de Puerto Rico contienen valles de inundación ribereños desarrollados basándolos en modelos múltiples, que utilizaron métodos BLE recomendados y efectivos detallados. En ciertas áreas, los productos ya existían para modelos múltiples y, por lo tanto, era necesario determinar cuáles elevaciones de inundación deberían ser atribuidas. Para esforzarnos a proporcionar un nivel conservador de preparación para el riesgo, se desarrolló un procedimiento para seleccionar cuál de los productos modelados se seleccionaría para los mapas recomendados.

1. Las secciones trasversales efectivas y recomendadas se combinaron (manteniendo la información de elevación) en una sola característica de "sección transversal fusionada".
2. Cuando las secciones transversales recomendadas cruzaban múltiples longitudes del cauce, estas secciones transversales se recortaron a la longitud del cauce apropiado.
3. Las elevaciones de la superficie del agua se convirtieron de MSL a PRVD02 usando la superficie de conversión desarrollada para este proyecto.
4. En el conjunto de datos de las secciones transversales fusionadas, el estacionamiento se asignó en la dirección de aguas arriba de cada longitud del cauce. Se utilizó la línea de flujo recomendada, ya que contenía todos los cauces de las áreas efectivas y actualizadas incluidas en el producto recomendado.
5. Se desarrolló una secuencia de comandos python que realizó el siguiente procedimiento en la sección trasversal fusionada (con nombre de cauce y número de estación):
 - a. Itera a través del conjunto de datos por el nombre del cauce que comienza con la primera estación (ascendente) y examina cada sección transversal. Si la elevación de la superficie del agua (WSE) era menor que la sección transversal anterior, elimina la sección transversal y continúa con la siguiente sección transversal aguas arriba. De esta manera, cuando existan dos secciones transversales de diferentes modelos, se usa el WSE más conservador para determinar cuál debe incluirse en el producto de mapeo final. El shapefile resultante era un conjunto de

datos completo y mezclado que proporciona un WSE conservador en áreas de datos contradictorios.

- b. Frecuencias interpoladas en los lugares donde las secciones transversales efectivas surgían solo del evento con probabilidad de 1 por ciento. En lugares donde las secciones transversales efectivas mostraban un WSE más alto que el modelo recomendado, y por ende, fueron seleccionadas para su inclusión en el shapefile combinado, estas secciones transversales sólo mostraban valores para el evento de 1 por ciento. Las secciones transversales recomendadas aguas arriba y aguas debajo de estas secciones transversales efectivas tienen 5 frecuencias. Para hacer un producto uniforme, se usó una interpolación lineal para poblar las frecuencias restantes. La metodología para esto fue la siguiente: 1) todas las frecuencias se interpolaron desde las secciones transversales recomendadas aguas abajo, 2) las elevaciones WSE de 1 por ciento de la sección transversal interpolada y la sección transversal efectiva en esta ubicación se usaron para crear un factor de normalización, y 3) Este factor de normalización se aplicó a todas las frecuencias en la sección transversal efectiva, lo que resultó en un WSE sin fisuras para la longitud del cauce, con todas las frecuencias atribuidas a todas las secciones transversales.
 - c. La interpolación se verificó para identificar espacios entre el estacionamiento que pueden haber mostrado una elevación de la superficie del agua más alta si se realizara la interpolación en los conjuntos de datos originales no fusionados. En las áreas donde estas interpolaciones hubiesen resultado en una mayor elevación de inundación, se hicieron ajustes manuales, y se introdujeron líneas BFE desde el efectivo. La **Figura 3-13** a continuación muestra un ejemplo del proceso de selección de línea BFE.
6. La limpieza manual se realizó de la siguiente manera:
- a. Donde las secciones transversales se cruzaron entre sí, se mantuvo la sección transversal más conservadora y se eliminó la menos conservadora o se alteró la orientación de la sección transversal para evitar cruces.
 - b. El polígono fusionado del valle de inundación se utilizó para recortar las secciones transversales, de tal forma que las secciones transversales no existiesen fuera del valle de inundación.
 - c. Cuando necesario, las secciones transversales se extendieron para cubrir el valle de inundación y se reorientaron para evitar la superposición de secciones transversales.
7. Una verificación QC se le aplicó a los valores interpolados, en los cruces, las ataduras y en ubicaciones muestreadas al azar.

Figura 3-13: Selección de las Elevaciones de la Superficie del Agua Ribereñas más Conservadoras



Water surface elevations are shown in meters.

3.3.1.4 Productos Finales del Valle de Inundación

Dos productos de valle de inundación resultaron de este esfuerzo. El primero es un producto de valle de inundación de 1 por ciento que incluye el valle de inundación y los BFEs ribereños más conservadores del modelo efectivo o recomendado, los BFEs costeros efectivos estáticos y las áreas del valle de inundación franjadas de 0.2 por ciento mostradas como Zonas X sombreadas. El segundo es un producto de valle de inundación de 0.2 por ciento que incluye el valle de inundación más conservador del mapeo del 0.2 por ciento efectivo, o del 1 por ciento efectivo (si era mayor que el de 0.2 por ciento recomendado) o del 0.2 por ciento recomendado, los BFEs ribereños más conservadores del modelo efectivo o recomendado y, los BFEs costeros efectivos estáticos recomendados del 0.2 por ciento.

3.3.2 Análisis de Cambio de Mapa

Los datos efectivos y los recomendados sin fisuras de riesgo de inundación del 1 por ciento se compararon para analizar los cambios en las zonas de riesgo de inundación. Los análisis se desarrollaron utilizando el programa ArcGIS de ESRI y sus herramientas de geoprocésamiento. La herramienta de superposición espacial "Unión" fue la función principal utilizada para estos análisis. La función "Unión" identificó las diferencias entre la información de zona de inundación efectiva y recomendada. Este análisis espacial dio como resultado aproximadamente 30 combinaciones de cambio de zona (AE a A, VE a AE, A a X, etc.). Para simplificar la visualización y comprensión de este producto, las combinaciones de cambio se agruparon en 7 categorías, atribuidos como "Descripción del Cambio". La **Tabla 3-13** a continuación resume las combinaciones de cambio de zona y las categorías.

Tabla 3-13: Combinaciones de Cambio de Zona y Categorías

Descripción del Cambio	Combinaciones de Cambio de Zona
Sombreada X a SFHA	X a A; X a AE; X a AO; X a VE
No sombreada X a SFHA	UX a A; UX a AE; UX a AO; UX a VE
Sin cambio a SFHA	A a A; A a AE; A a AO; A a VE; A99 a A; AE a A; AE a AE; AE a AO; AE a VE; AH a A; AO a A; AO a AE; AO a AO; VE a A; VE a AE; VE a VE
Sin cambio a Sombreada X	X a X
SFHA a No sombreada X	AE a UX
No sombreada X a Sombreada X	UX a X
Sombreada X a to No sombreada X	X a UX

El producto de cambio de mapa, que estaba en formato GIS poligonal, incluye los resultados de estos análisis. El conjunto de datos fue atribuido con el cambio de zona y las descripciones de cambio descritas anteriormente, incluyendo la atribución de la fuente de la zona de inundación de la zona de inundación efectiva y las capas de zonas de inundación recomendadas de 1 por ciento.

Además, se desarrolló un producto tipo hoja de cálculo (spreadsheet) que incluía resúmenes de área terrestre que se basaban en el producto de cambio SIG como insumo. Los productos tipo hoja de cálculo incluyen los siguientes resúmenes de área terrestre:

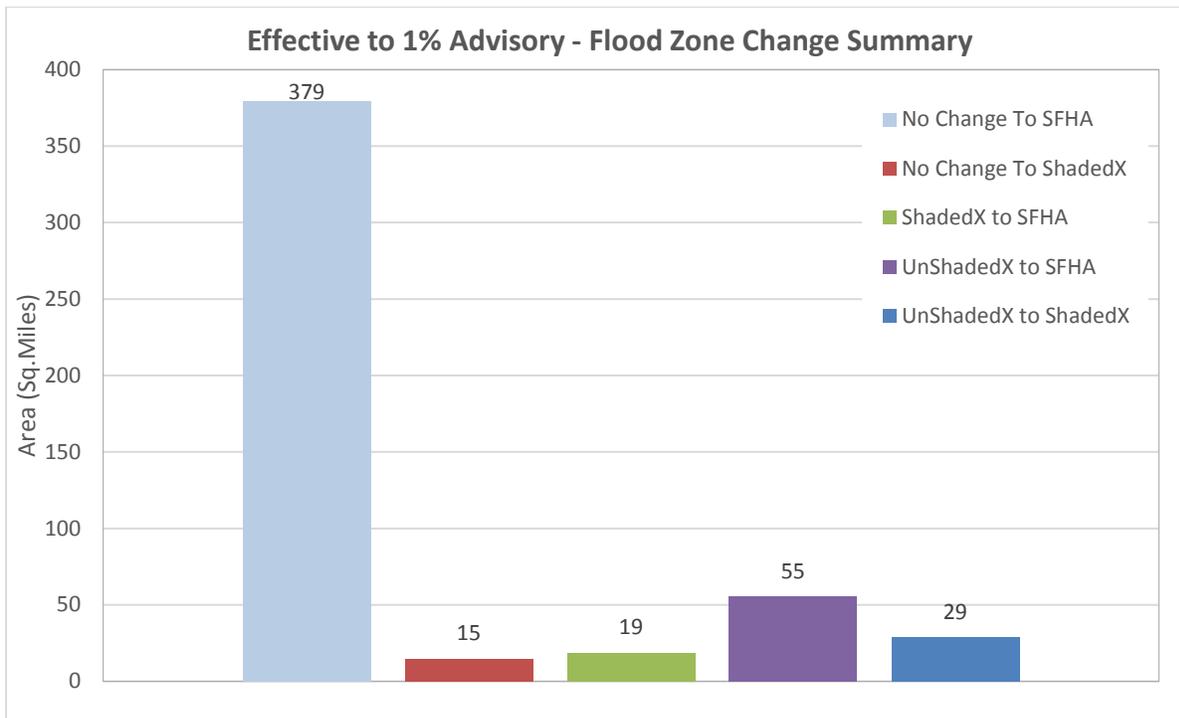
- Resumen del cambio del área especial de riesgo de inundación (hoja de cálculo: SFHA_Change)
- Resumen del cambio de la zona de inundación, en millas cuadradas (hoja de cálculo: Zone_Change_SqMiles)
- Resumen de cambio de zona de inundación en Acres (hoja de cálculo: Zone_Change_Acres)

A continuación se incluye un resumen consolidado de la discusión de alto nivel sobre estadísticas de cambio (en millas cuadradas).

- No se disminuye el Área del Valle de Inundación de 1 por ciento, con algunos cambios de zona notables
 - Incremento Ribereño (Costal a Ribereño): 0.1 millas cuadradas
 - VE to A: 0.1 Sq. miles
 - Incremento Costal (Ribereño a Costal): 1.3 millas cuadradas
 - A to AE: 1.3 Sq. miles
- Incremento Total del Área del Valle de Inundación de 1 por ciento (Áreas recientemente añadidas a SFHA): 74 millas cuadradas
 - Incremento Ribereño: 63 millas cuadradas
 - Incremento Costal: 11 millas cuadradas
 - Incremento en Zonas AE: 9.5 millas cuadradas
 - Incremento en AO: 0.8 millas cuadradas
 - Incremento en VE: 0.5 millas cuadradas
- Áreas cambiadas de No Sombreadas X a Sombreadas X: 29 millas cuadradas
- Incremento General del Área Costal de 1 por ciento: 12 millas cuadradas
- Incremento General del Área Ribereña de 1 por ciento: 63 millas cuadradas

Un resumen gráfico de los cambios en el valle de inundación también se presenta en la **Figura 3-14** a continuación.

Figura 3-14: Resumen de Cambio de Zonas de Inundación



3.3.3 Resúmenes de riesgo de inundación de instalaciones críticas

Una instalación crítica proporciona servicios y funciones esenciales para una comunidad, especialmente durante y después de un desastre. La *hoja informativa de FEMA: Instalaciones Críticas y Mayores Estándares (FEMA Fact Sheet: Critical Facilities and Higher Standards)* señala que las instalaciones críticas pueden incluir varios tipos de instalaciones, por ejemplo, estaciones de policía, estaciones de bomberos, instalaciones críticas de almacenamiento de vehículos y equipos, y centros de operaciones de emergencia. Las comunidades individuales generalmente determinan los tipos de instalaciones que se consideran parte de la lista de instalaciones críticas. Puerto Rico cuenta con setenta y ocho (78) municipios; sin embargo, el ámbito de trabajo de este proyecto no incluye el solicitar insumo a cada municipio sobre sus instalaciones críticas.

Más bien, el equipo del proyecto utilizó la hoja informativa mencionada para determinar los tipos de instalaciones. Se le dio prioridad a la identificación de edificios individuales y datos específicos para cada edificio individual en lugares de instalaciones críticas en la totalidad de Puerto Rico.

La **Tabla 3-14** incluye la lista de sitios prioritarios considerados.

Tabla 3-14: Sitios Prioritarios

Tipo de datos (Características de Campo de Datos Tipo Punto)	Fuente	Año Aprox.	Comentario
Banco (Institución Financiera)	PRPB	2018	Recibido el 8 de Febrero de 2018
Banco de Sangre	No aplica	No aplica	Datos no disponibles
Centro de Cuidado Infantil	PRPB Permits	2014	Desconocido si los permisos fueron aprobados o simplemente enviados
Instalación de Energía Eléctrica	Hazus Util	2014	Base de Data Existente en Hazus
Centro de Operaciones de Emergencia	Hazus EF	2014	Puntos del campo actualizados previamente por RAMPP
Instalación de Almacenamiento de Equipo	No aplica	2018	Identificado visualmente vía servicio Street-Level de Google
Estaciones de Bomberos	Hazus EF	2014	Puntos del campo actualizados previamente por RAMPP
hospital_service_Hospitals	DR 4339 AGOL		Usados para verificar datos de Hazus
Instalación Medica	Hazus EF	2014	Puntos del campo actualizados previamente por RAMPP
Instalación de Registros Médicos	No aplica	No aplica	Datos no disponibles
Asilo de ancianos	PRPB	2014	Usado como provisto
Estaciones de Policía	Hazus EF	2014	Puntos del campo actualizados previamente por RAMPP
PoliceDeptStatus_20171106	DR 4339 AGOL	2017	Usados para verificar datos de Hazus
Centro de Generación de Energía	PRPB	2014	Datos de infraestructura de Puerto Rico
Public_Schools_2017	DR 4339 AGOL	2017	Usados para verificar datos de Hazus
Escuela	Hazus EF	2014	Puntos del campo actualizados previamente por RAMPP
School_Openings_OCT_23_2017	DR 4339 AGOL		Usados para verificar datos de Hazus
Instalación de Almacenamiento de Vehículo	No aplica	2018	Identificado visualmente vía servicio Street-Level de Google
Instalaciones Volátiles / Inflamables / Explosivas / Tóxicas	Hazus HPLF	2014	Base de Data Existente en Hazus

Tipo de datos (Características de Campo de Datos Tipo Punto)	Fuente	Año Aprox.	Comentario
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	Hazus Util	2014	Base de Data Existente en Hazus
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	PRPB & Util Co.	2014	Datos de infraestructura de Puerto Rico
Planta de Tratamiento de Aguas	Hazus Util	2014	Base de Data Existente en Hazus
Planta de Tratamiento de Aguas	PRPB & Util Co.	2014	Datos de infraestructura de Puerto Rico

Los datos tipo puntos enumerados en la **Tabla 3-14** establecieron lugares de instalaciones críticas conocidas disponibles y fueron utilizados para establecer su ubicación. Los recursos primarios de datos del lugar incluyeron varios datos de instalaciones de FEMA Hazus-MH (p. ej., Base de Datos de Instalaciones Esenciales Hazus-MH, Base de Datos de Instalaciones de Servicios Públicos Hazus-MH), varios datos disponibles de la Junta de Planificación de Puerto Rico (Puerto Rico Planning Board, PRPB) y otros datos temáticos SIG disponibles por el Grupo Online 4339 de SIG (4339 ArcGIS Online) de la Ayuda por Desastre de FEMA (FEMA Disaster Relief, DR) (p. ej., Estatus Escolar o Estado del Departamento de Policía).

Después de identificar los lugares localizados en los Valles de Inundación Recomendados, se agregó un búfer adicional de 200 pies para tomar en cuenta otros posibles lugares que pueden existir en las proximidades. Las huellas de las edificaciones fueron extraídas para el lugar y luego procesadas para su inclusión. La mayoría de los tipos de instalaciones definidas incluyen una fotografía, con la excepción de algunos tipos de instalaciones. Los centros de cuidado infantil no incluyen fotografías porque los datos utilizados para identificar la instalación fueron adquiridos de una base de datos de permisos de la Junta de Planificación de Puerto Rico. La misma no discrimina en el carácter de los datos incluidos; a nuestro entender pueden representar tres opciones: 1) solicitudes únicamente, 2) combinación de solicitudes e instalaciones aprobadas o 3) instalaciones permitidas solamente. Dada la falta de claridad sobre esta data de los centros de cuidado infantil, no se incluyeron fotografías. La segunda excepción fueron los bancos debido al volumen de lugares y la incapacidad de distinguir con certeza si la entidad era realmente un banco o un cajero ATH (a veces localizado dentro de un edificio más grande, como un cajero ATH en una tienda o un banco dentro de un centro comercial). No se obtuvieron las fotos de bancos y el edificio fue analizado en su totalidad como una instalación bancaria. Las imágenes de origen están incrustadas en los datos del SIG, así como también se proveen rutas de discos de origen dentro de la tabla de atributos.

La existencia de atributos en los datos de origen como el nombre, la dirección, la ciudad y el código postal era esporádica. Aunque limitado en tiempo por las exigencias del cronograma del proyecto, se completaron muchos datos usando una variedad de fuentes como datos reversibles geocodificados del Servicio de Geocodificación Mundial ESRI (ESRI World Geocoding Service), así como aplicaciones de cartografía basadas en la web. La latitud y la longitud en grados decimales se basan en el centroide del área de edificación. El Grado Adyacente Más Bajo (Lowest Adjacent Grade, LAG) y Grado Más Alto Adyacente (Highest Adjacent Grade, HAG)

fueron extraídos del nuevo DEM de 1 metro de USGS de 2017 a lo largo del perímetro del área de edificación. Las elevaciones de inundación tipo ABFE (probabilidad anual de 1 por ciento y 0.2 por ciento o ABFE100 y ABFE500) representan la elevación máxima de la combinación de las cuadrículas de elevación de aguas superficiales costeras y ribereñas que intersectan cada área de edificación.

La base de datos SIG incluye los resultados de un análisis de riesgo que se realizó basado en los siguientes parámetros:

1. Los porcentajes de daños se calculan en función de la profundidad máxima en cada área de edificación de acuerdo a lo siguiente:
 - a. Elevación Máxima tipo ABFE dentro del área de edificación y el LAG en cada área de edificación. La diferencia entre los dos establece el valor de profundidad para cada edificio.
 - b. La selección de la función Profundidad-Daño se basó en los parámetros típicos del modelo de inundación Hazus-MH, lo que significa que para cada edificio se asignaron lo siguiente:
 - i. Nivel de Tenencia
 - ii. Número de Pisos
 1. Donde las huellas de las edificaciones de 2010 interceptaron las huellas de las instalaciones críticas usadas, el valor de la altura se transfirió para establecer pisos suponiendo una altura de techo de 10 pies
 2. Se asumió que todas las demás alturas de edificios eran de un piso.
 - iii. Altura del Primer Piso
 1. Se supuso que todos los edificios tenían una altura de primer piso de 0.5 pies
 - iv. Tipo de cimiento
 1. Se supuso que todos los edificios tienen Losa en Grado o terrera
 - v. Tipo de Construcción del Núcleo
 1. Se supuso que todos los edificios eran de concreto
 - c. Además, las Zonas de Valles de Inundación de ABFE recientemente creadas se utilizaron para establecer si un edificio tocaba una zona costera y, si este fuese el caso, se le aplicaron las funciones de Profundidad-Daño costeras.

Cabe destacar que para esfuerzos futuros específicos a edificios más grandes, sería beneficioso resaltar el nivel de tenencia. Dado que los valores en dólares no se consideran como parte de la evaluación de riesgos (sólo porcentajes de daños estimados), los resultados producidos como parte de este proyecto no reflejarán números mayores o menores que el valor estimado (\$). Esto le permite a los usuarios de este reporte considerar el valor de construcción y contenidos basado en los porcentajes máximos de daños estimados. Recomendamos, como beneficioso para esfuerzos futuros a nivel de edificios específicos, un análisis más detallado de la elevación o la altura del primer piso. Una revisión somera de la diferencia entre las elevaciones de LAG y HAG (de la cuadrícula de elevación de 1 metro de USGS de Puerto Rico), revelo que sin un análisis detallado, no se puede utilizar el valor de la diferencia como una representación para la altura del primer piso del edificio por lo amplio que es el rango de valores. Por esto, se asumió una altura de primer piso de 0.5 pies para todos los edificios; entendemos que dicha suposición es la más conservadora ya que representa el mayor riesgo potencial para cada edificio.

Los documentos PDF representan un producto informativo que se puede proporcionar a los operadores/usuarios e incluye recomendaciones básicas de los documentos de FEMA más recientes sobre orientación posteriores a un evento, junto con contactos clave y publicaciones. Estos documentos proporcionan a los operadores varias maneras para considerar opciones de manera apropiada. De necesitarse en el futuro, cada uno de los elementos en el documento PDF fue extraído de un módulo de python personalizado que puede ser ejecutado en una exportación CSV de los datos SIG.

La **Tabla 3-15** ofrece una representación general del riesgo relativo de las instalaciones capturadas. La misma también incluye una codificación en color de rangos de riesgo relativo para ayudar a resaltar las comparaciones de riesgo relativo entre algunas estadísticas clave.

Tabla 3-15: Estadísticas Generales de los Tipos de Instalaciones Generalmente en Mayor Riesgo

Tipo	Cuento Total de Edificación	Promedio de las instalaciones			
		Porcentaje de Daños a la Edificación		Porcentaje de Daños de Contenido	
		(1%)	(0.2%)	(1%)	(0.2%)
Aeropuerto	1	1%	7%	1%	10%
Banco	130	11%	19%	62%	86%
Almacenamiento Crítico de Equipo	12	6%	10%	20%	32%
Almacenamiento Crítico de Vehículos	9	7%	16%	25%	48%
Centro de Cuidado Infantil	220	5%	9%	24%	39%
Centro de Operaciones de Emergencia	14	16%	23%	39%	63%
Estación de Bombero	21	8%	13%	19%	36%
Centro Gubernamental	1	8%	13%	58%	77%
Instalación Médica	71	9%	22%	11%	32%
Asilo de Ancianos	4	16%	24%	49%	60%
Estación de Policía	111	8%	13%	25%	45%
Centro de Generación de Energía	29	10%	20%	14%	28%
Escuela	1125	11%	17%	43%	62%
Instalaciones Volátiles / Inflamables / Explosivas / Tóxicas	67	22%	28%	38%	48%
Planta de Tratamiento de Aguas Negras	138	19%	28%	25%	36%
Planta de Tratamiento de Aguas	27	11%	23%	15%	30%
TOTAL	1980	11%	18%	29%	46%

100	Valor del Rango/Color: Alto
80	
50	Valor del Rango / Color: Medio
20	
0	Valor del Rango / Color: Bajo

4.0 Referencias

- Barreto, M. et al. (2017). Assessment of beach morphology at Puerto Rico Island, Final Report. Puerto Rico and Caribbean Beach Network, Planning School, University of Puerto Rico, Río Piedras Campus.
- Coastal Change Hazards: Hurricanes and Extreme Storms. USGS St. Petersburg Coastal and Marine Science Center. <https://coastal.er.usgs.gov/hurricanes/coastal-change/>
- Kraus, N. C., and Rosati, J. D. (1997). "Interpretation of shoreline-position data for coastal engineering analysis," Coastal Engineering Technical Note CETN II-39, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 16 pp.
- Leatherman, S.P. (2003). "Shoreline change mapping and management along the U.S. East Coast," *Journal of Coastal Research*, SI (38), 5-13.
- Morton, R.A., Miller, T.L., and Laura J. Moore. (2004). National Assessment of Shoreline Change: Part 1 Historical Shoreline Changes and Associated Coastal Land Loss Along the U.S. Gulf of Mexico. Open-File Report 2004-1043. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2000). "Tide and current glossary," U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, Center for Operational Oceanographic Products and Services, Silver Spring, MD, 29 pp.

5.0 Apéndices

5.1 Apéndice A: Lista de Análisis Hidráulicos por Caudal

Nombre del Modelo HUC-10 / HEC-RAS	Nombre de la Fuente de Inundación	Longitud (millas)
201/13347	Río Corozal	2.46
201/13386	Río de los Negros	1.25
201/13406	Río Cibuco	17.92
201/13600	Quebrada Honda (Vega Alta Municipio)	5.54
201/13678	Río Morovis	7.12
201/13716	Río Indio	8.24
201/13595	Río sin nombre (Modelo n-m. 13595)	0.22
201/13681	Quebrada Honda (Morovis Municipio)	0.20
205/07878	Río Camuy (Tramo Arriba)	3.02
205/07919	Río Criminales	1.21
205/09176	Río Guajataca	24.47
205/09956	Río Camuy (Tramo Abajo)	5.71
302/05199	Río Limaní	1.51
302/05238	Río Blanco (Adjuntas & Lares Municipios)	19.05
302/05289	Río Guayo (Adjuntas & Lares Municipios)	5.10
302/05321	Río Cidra	1.53
302/05402	Río Grande de Anasco	38.59
302/05528	Río Guaba	6.60
302/05598	Río Bucarabones (Las Marias Municipio)	2.39
302/05893	Río Casey	1.96
302/05249	Río Toro	0.66
303/04217	Río Yagüez	4.31
401/00152	Río sin nombre (Modelo n-m. 152)	1.60
401/00189	Río sin nombre (Modelo n-m. 189)	1.11
401/00286	Río sin nombre (Modelo n-m. 286)	1.22
401/00691	Canal Este de Drenaje del Valle de Lajas	9.22
401/00708	Quebrada Mamey (Lajas Municipio)	3.84
401/00978	Río Loco	11.37
402/01253	Río Yauco	18.20
402/01300	Río Naranjo	1.25
402/01313	Quebrada Grande (Yauco Municipio)	1.38
402/01375	Quebrada de Quebradas	1.52
402/01386	Quebrada Berrenchin	3.80
402/01552	Río Guayanilla	9.32
402/01706	Río Tallaboa	10.53

Nombre del Modelo HUC-10 / HEC-RAS	Nombre de la Fuente de Inundación	Longitud (millas)
402/01761	Río Guayanes (Penuelas Municipio)	2.86
402/01938	Río Macana	6.18
402/01388	Quebrada Berrenchín Afluente N-m. 1	0.82
402/01291	Río sin nombre (Modelo n-m. 1291)	0.79
405/06362	Río Guamaní	8.57
405/06511	Quebrada Bandera	2.44
405/06558	Río Nigua (Arroyo Municipio)	4.90
405/06602	Quebrada Caimital	1.56
405/06612	Quebrada Corazón	4.04
405/06662	Quebrada Yaurel	3.51
405/06721	Río Grande de Patillas	10.48
405/06817	Río Marín	2.07
405/06869	Río de Apeadero	1.84
405/06888	Río Chico	2.97
405/07002	Río Jacaboa	2.52
405/06367	Quebrada Culebra	0.59
405/06830	Río sin nombre (Modelo n-m. 6830)	0.56
405/06891	Quebrada Mamey (Patillas Municipio)	0.58
504/17163	Río Emajagua	2.10
504/17203	Río Grande de Loiza	40.57
504/17315	Río Cayaguas	3.16
504/17371	Río sin nombre (Modelo n-m. 17371)	0.50
504/17380	Río sin nombre (Modelo n-m. 17380)	1.12
504/17388	Río sin nombre (Modelo n-m. 17388)	1.89
504/17395	Río sin nombre (Modelo n-m. 17395)	1.53
504/17397	Río sin nombre (Modelo n-m. 17397)	1.04
504/17400	Río sin nombre (Modelo n-m. 17400)	1.24
504/17408	Quebrada Matias	2.85
504/17433	Río sin nombre (Modelo n-m. 17433)	1.93
504/17439	Quebrada Janer	1.10
504/17465	Río Turabo	8.02
504/17501	Quebrada Naranjito	1.08
504/17521	Quebrada Beatriz	1.96
504/17551	Quebrada de las Quebradillas	1.78
504/17588	Río sin nombre (Modelo n-m. 17588)	1.16
504/17602	Quebrada Las Bambuas	2.39
504/17646	Río Caguitas	6.81
504/17671	Quebrada Algarrobo	1.47
504/17672	Río sin nombre (Modelo n-m. 17672)	1.60
504/17678	Río Canaboncito	4.14

Nombre del Modelo HUC-10 / HEC-RAS	Nombre de la Fuente de Inundación	Longitud (millas)
504/17696	Río Caguitas Afluente N-m. 1	2.25
504/17698	Río Caguitas Afluente N-m. 2	0.75
504/17725	Río Bairoa	10.68
504/17730	Quebrada de los Muertos	1.54
504/17818	Quebrada Honda (Las Piedras Municipio)	4.36
504/17843	Río Gurabo	17.31
504/17895	Quebrada Arenas (Juncos & Las Piedras Municipios)	3.89
504/17923	Río sin nombre (Modelo n-m. 17923)	1.22
504/17937	Quebrada Ceiba (Juncos Municipio)	3.33
504/17970	Río Valenciano	2.94
504/18068	Río sin nombre (Modelo n-m. 18068)	1.11
504/18089	Río sin nombre (Modelo n-m. 18089)	2.54
504/18137	Río sin nombre (Modelo n-m. 18137)	1.91
504/18178	Quebrada Arena (Caguas Municipio)	2.31
504/18193	Río Canas (Caguas Municipio)	2.50
504/18254	Quebrada Colorada	3.38
504/18261	Quebrada Rohena	1.03
504/18286	Quebrada Grande (Trujillo Alto Municipio)	3.13
504/18370	Quebrada Maracuto	7.06
504/18394	Quebrada Pastrana	4.88
504/18446	Río Canovanillas	2.66
504/18539	Río Canovanas	10.62
504/18599	Río sin nombre (Modelo n-m. 18599)	1.28
504/17417	Río sin nombre (Modelo n-m. 17417)	0.79
504/17401	Río sin nombre (Modelo n-m. 17401)	0.41
504/17398	Río sin nombre (Modelo n-m. 17398)	0.62
504/17386	Río sin nombre (Modelo n-m. 17386)	0.69
504/17510	Río sin nombre (Modelo n-m. 17510)	0.92
504/17613	Río sin nombre (Modelo n-m. 17613)	0.91
504/18057	Río sin nombre (Modelo n-m. 18057)	0.37
504/18130	Río sin nombre (Modelo n-m. 18130)	0.78
504/18213	Río sin nombre (Modelo n-m. 18213)	0.58
504/18501	Quebrada Cambute	0.60
504/18597	Río sin nombre (Modelo n-m. 18597)	0.96
504/18600	Río sin nombre (Modelo n-m. 18600)	0.75
505/15937	Río Piedras	8.46
505/15985	Quebrada Quaracanal	2.45
505/16016	Quebrada Dona Ana	2.23
505/16031	Quebrada Josefina	2.09

Nombre del Modelo HUC-10 / HEC-RAS	Nombre de la Fuente de Inundación	Longitud (millas)
505/16054	Quebrada Margarita	3.48
505/16165	Quebrada Juan Méndez	3.09
505/16029	Río sin nombre (Modelo n-m. 16029)	0.34
505/16051	Río sin nombre (Modelo n-m. 16051)	0.53
202/12188	Río Orocovis	8.82
20212267	Río Grande de Manatí	56.11
20212494	Río Toro Negro	20.54
20212496	Río sin nombre (Modelo n-m. 12496)	0.48
20212582	Río Matrullas	6.88
40302027	Río Bucana	12.21
40302166	Río Portugués	5.50
40302217	Río Chiquito	3.30
40302249	Quebrada del Agua	1.98
40302300	Río Matilde	9.11
40302351	Río Canas (Ponce Municipio)	4.81
40303120	Río Inabón	13.75
40303211	Río Guayo (Juana Díaz Municipio)	6.19
40303382	Río Toa Vaca	6.99
40303504	Río Jacaguas	22.30
40304379	Río Descalabrado	7.88
50107690	Río Maunabo	8.14
50107741	Quebrada Talante	1.93
50107775	Quebrada Arenas (Maunabo Municipio)	2.42
50108407	Río Guayanes (Yabucoa Municipio)	10.81
50108524	Río Limones	3.70
50108698	Río sin nombre (Modelo n-m. 8698)	0.98
50108701	Río sin nombre (Modelo n-m. 8701)	0.62
50108704	Río sin nombre (Modelo n-m. 8704)	0.87
50109102	Río Candelero	4.09
50109111	Río sin nombre (Modelo n-m. 9111)	0.98
50109116	Río sin nombre (Modelo n-m. 9116)	1.43
50109119	Quebrada N-m. 2	0.98
50109741	Río Humacao	6.94
50109783	Quebrada Mariana	4.73
50109801	Quebrada Mariana Afluente	1.68
50109816	Quebrada Mabu	2.64
50109117	Quebrada N-m. 4	0.73
50109112	Quebrada N-m. 1	0.74
50108504	Río sin nombre (Modelo n-m. 8504)	0.96
50107731	Quebrada de Los Chinos	0.94

Nombre del Modelo HUC-10 / HEC-RAS	Nombre de la Fuente de Inundación	Longitud (millas)
50211666	Quebrada Collores	1.43
50211669	Río Anton Ruiz	8.14
50211677	Quebrada Mambiche	2.41
50211714	Quebrada de Las Mulas	4.53
50211785	Río Blanco (Naguabo Municipio)	9.28
50211856	Quebrada de Pena Pobre	4.50
50211940	Quebrada Grande (Naguabo Municipio)	2.85
50211954	Río Santiago	4.54
50291954	Río Santiago (Tramo Lateral)	1.93
50212017	Quebrada Botija	3.63
50212023	Río sin nombre (Modelo n-m. 12023)	1.36
50212026	Río sin nombre (Modelo n-m. 12026)	2.17
50213108	Quebrada del Platano	2.29
50213111	Río sin nombre (Modelo n-m. 13111)	1.00
50213117	Quebrada Palma	6.16
50213252	Río Daguao	6.41
50213263	Río sin nombre (Modelo n-m. 13263)	1.75
50213270	Río sin nombre (Modelo n-m. 13270)	2.36
50215178	Quebrada Aguas Claras	2.91
50215180	Quebrada Aguas Claras Afluente	1.58
50215896	Quebrada Ceiba (Ceiba Municipio)	3.56
50215906	Río Demajagua	2.54
50216296	Río Fajardo	12.01
50216338	Quebrada Juan Diego	1.25
50216358	Río sin nombre (Modelo n-m. 16358)	1.35
50216397	Quebrada Redonda	4.29
50213256	Río sin nombre (Modelo n-m. 13256)	0.45
50212019	Río sin nombre (Modelo n-m. 12019)	0.64
50211945	Río sin nombre (Modelo n-m. 11945)	1.04
50211833	Río sin nombre (Modelo n-m. 11833)	0.66
50316599	Río Mameyes	4.41
50316643	Quebrada Tabonuco	1.77
50316656	Quebrada Anón	2.76
50316701	Río Sabana (Luquillo Municipio)	5.65
50316735	Río Pitahaya	4.89
50316749	Río sin nombre (Modelo n-m. 16749)	1.39
50316789	Río Juan Martín	3.11
50316794	Río sin nombre (Modelo n-m. 16794)	1.31
50316814	Quebrada Mata de Plátano	3.62
50316857	Río Espíritu Santo	8.27

Nombre del Modelo HUC-10 / HEC-RAS	Nombre de la Fuente de Inundación	Longitud (millas)
50316941	Río Grande (Río Grande Municipio)	5.10
50316979	Río sin nombre (Modelo n-m. 16979)	2.12
50318726	Río Herrera	8.29
50316792	Río sin nombre (Modelo n-m. 16792)	0.65
50794093	Río de la Plata (Tramo Abajo)	15.25
50784093	Río de la Plata (Tramo Arriba)	33.49
50714213	Río Guavate	3.42
50714287	Río de la Plata Afluente N-m. 1	2.07
50714313	Quebrada Santo Domingo	3.58
50714317	Río sin nombre (Modelo n-m. 14317)	0.53
50714322	Río sin nombre (Modelo n-m. 14322)	0.98
50714441	Río Usabón (Tramo Arriba)	6.92
50714448	Río sin nombre (Modelo n-m. 14448)	0.95
50714449	Río sin nombre (Modelo n-m. 14449)	0.53
50714492	Río de Aibonito	6.62
50714510	Quebrada Serrales	5.53
50714536	Río de Barranquitas	5.35
50714650	Quebrada Convento	0.68
50714876	Río Guadiana	3.68
50714988	Río Bucarabones (Toa Alta Municipio)	5.19
50714993	Río sin nombre (Modelo n-m. 14993)	0.49
50794492	Río de Aibonito (Tramo Lateral)	0.26
50794536	Río Usabón (Tramo Abajo)	4.73
30106632	Río sin nombre (Modelo n-m. 6632)	0.92
30106641	Río Grande (Aguada & Rincon Municipios)	2.44
30106678	Cano de Santi Ponce	0.77
30106926	Río Ingenio	2.97
30106945	Río sin nombre (Modelo n-m. 6945)	0.94
30106959	Río Culebra	3.90
30106977	Cano Guayabo	1.61
30106981	Río Guayabo	2.15
30107132	Río Culebrinas	28.52
30107217	Río Culebrinas Afluente	1.50
30107248	Río Guatemala	2.38
30107548	Quebrada Grande (Moca Municipio)	2.15
30107587	Río Cano	4.01
30107599	Quebrada El Gallinero	1.02
30107800	Cano Madre Vieja	3.31
30107221	Río sin nombre (Modelo n-m. 7221)	0.34
30106944	Río sin nombre (Modelo n-m. 6944)	0.65

Nombre del Modelo HUC-10 / HEC-RAS	Nombre de la Fuente de Inundación	Longitud (millas)
30106978	Río sin nombre (Modelo n-m. 6978)	0.48
40403810	Río Cuyon	6.64
40403955	Río Coamo	14.04
40404010	Río sin nombre (Modelo n-m. 4010)	1.60
40404023	Río de la Mina	1.41
40404078	Río sin nombre (Modelo n-m. 4078)	4.91
40404095	Río sin nombre (Modelo n-m. 4095)	1.55
40404577	Río Cayures	2.12
40404640	Canal de Guamani	0.41
40404771	Río Jajome	1.44
40404828	Río Majada	5.86
40404878	Río Lapa	3.53
40404932	Río Nigua (Salinas Municipio)	8.22
40405048	Río Jueyes	2.93
40406117	Quebrada Melania	2.79
40406177	Río sin nombre (Modelo n-m. 6177)	2.70
40406232	Río Seco	3.09
20410355	Río Saliente	3.38
20410395	Río Caonillas	20.31
20410409	Río Caricaboa	1.42
20410443	Río Zamas	1.33
20410614	Río Limón	5.54
20410675	Río La Venta	1.09
20410703	Río Yunes	2.33
20410813	Río Vacas	5.03
20410829	Río sin nombre (Modelo n-m. 10829)	1.66
20410883	Río Saltillo	1.10
20410896	Río Grande de Arecibo	37.38
20410956	Río Pellejas	3.84
20410977	Río sin nombre (Modelo n-m. 10977)	0.35
20411038	Quebrada Arenas (Utuaudo Municipio)	2.93
20411081	Río Vivi	6.49
20411111	Río sin nombre (Modelo n-m. 11111)	2.06
20407989	Río Tanamá	2.58
20408050	Río sin nombre (Modelo n-m. 8050)	0.66
30402498	Río Grande (Sabana Grande Municipio)	1.95
30402549	Río Guanajibo	26.16
30402575	Río Cruces	3.19
30402587	Río Flores	1.75
30402597	Río sin nombre (Modelo n-m. 2597)	2.10

Nombre del Modelo HUC-10 / HEC-RAS	Nombre de la Fuente de Inundación	Longitud (millas)
30402598	Río sin nombre (Modelo n-m. 2598)	1.23
30402651	Río Cain	2.41
30402700	Río Duey	4.55
30402742	Río Hoconuco	3.90
30402834	Quebrada Mendoza	5.86
30402838	Río sin nombre (Modelo n-m. 2838)	1.61
30402923	Río Maricao	7.04
30402953	Río Rosario	16.67
30402982	Río sin nombre (Modelo n-m. 2982)	1.05
30402986	Río sin nombre (Modelo n-m. 2986)	1.73
30403716	Cano Majagual	2.29
30402527	Río sin nombre (Modelo n-m. 2527)	0.89
50615203	Quebrada Gordo	1.85
50615221	Río Hondo	7.07
50615242	Quebrada Santa Catalina	2.41
50615363	Río Sabana (Cidra Municipio)	2.24
50615382	Río de Bayamón	28.17
50615395	Quebrada Prieta	1.73
50615526	Quebrada Santa Olaya	2.59
50615565	Río Minillas	2.86
50615603	Río Guaynabo	8.00
50615667	Quebrada Frailes	1.41
60100150	Río sin nombre (Modelo n-m. Vieques-150)	1.12
60100151	Río sin nombre (Modelo n-m. Vieques-151)	1.04
60100155	Río sin nombre (Modelo n-m. Vieques-155)	1.62
60100157	Río sin nombre (Modelo n-m. Vieques-157)	1.29
60100160	Quebrada Cofi	1.69
60100176	Río sin nombre (Modelo n-m. Vieques-176)	2.42
60100177	Quebrada Cofresí	1.19
60100195	Río sin nombre (Modelo n-m. Vieques-195)	1.79
60100196	Río sin nombre (Modelo n-m. Vieques-196)	0.92
60100199	Río sin nombre (Modelo n-m. Vieques-199)	1.28
60100156	Río sin nombre (Modelo n-m. Vieques-156)	0.81
60100031	Río sin nombre (Modelo n-m. Vieques-31)	0.63
60100043	Quebrada Urbano	2.23
60100055	Quebrada La Perla	1.39
60100061	Quebrada Pilón	2.51
60100064	Río sin nombre (Modelo n-m. Vieques-64)	2.02
60100066	Quebrada La Mina Afluente	0.54
60100067	Quebrada La Mina	2.70

Nombre del Modelo HUC-10 / HEC-RAS	Nombre de la Fuente de Inundación	Longitud (millas)
60200016	Río sin nombre (Modelo n-m. Culebra-16)	1.01
60200020	Río sin nombre (Modelo n-m. Culebra-20)	0.74
60200004	Río sin nombre (Modelo n-m. Culebra-4)	0.67
60200007	Río sin nombre (Modelo n-m. Culebra-7)	0.80
60200009	Río sin nombre (Modelo n-m. Culebra-9)	0.48

5.2 Apéndice B: Comparación entre MHHW y la Elevación Superficial Más Lejana de Aguas Abajo para Caudales Desembocando en el Océano

ID del Cauce en el Modelo HUC-10	Nombre de la Fuente de Inundación	Latitud	Longitud	Elevación en la Sección Transversal Aguas Abajo para 1% de Prob. Anual (m)	Elevación MHHW (m)	Delta (m)
20113406	Río Cibuco	18.482729	-66.3768286	1.42	No Aplica	No Aplica
20212267	Río Grande de Manatí	18.4816023	-66.5332247	4.69	0.24	4.45
20410896	Río Grande de Arecibo	18.4726645	-66.7105715	4.19	0.24	3.95
20509176	Río Guajataca	18.4891751	-66.9573998	3.08	0.26	2.82
20509956	Río Camuy (Tramo Abajo)	18.4873909	-66.8364045	2.38	0.25	2.13
30106632	Río sin nombre (Modelo núm. 6632)	18.3736597	-67.2452584	2.43	0.26	2.17
30106641	Río Grande (Aguada & Rincón Municipios)	18.3758912	-67.2388227	2.35	0.26	2.09
30106678	Caño de Santi Ponce	18.3792053	-67.2243607	2.3	0.26	2.04
30106926	Río Ingenio	18.3821116	-67.2078586	2.53	No Aplica	No Aplica
30106945	Río sin nombre (Modelo núm. 6945)	18.3719948	-67.2120742	4.32	No Aplica	No Aplica
30106959	Río Culebra	18.3817611	-67.2070479	2.23	No Aplica	No Aplica
30106977	Caño Guayabo	18.3788743	-67.1985653	1.43	No Aplica	No Aplica
30106981	Río Guayabo	18.3837332	-67.2139691	1.28	0.26	1.02
30107132	Río Culebrinas	18.4058429	-67.1771594	2.93	0.25	2.68
30107800	Caño Madre Vieja	18.413047	-67.1624456	2.02	0.25	1.77

ID del Cauce en el Modelo HUC-10	Nombre de la Fuente de Inundación	Latitud	Longitud	Elevación en la Sección Transversal Aguas Abajo para 1% de Prob. Anual (m)	Elevación MHHW (m)	Delta (m)
30205402	Río Grande de Añasco	18.2665938	-67.1879132	2.12	0.24	1.88
30304217	Río Yagüez	18.2080362	-67.154816	1.54	0.24	1.30
30402549	Río Guanajibo	18.1679414	-67.1809094	2.51	0.17	2.34
30402834	Quebrada Mendoza	18.1248964	-67.1353952	8.46	No Aplica	No Aplica
30402838	Río sin nombre (Modelo núm. 2838)	18.087226	-67.1485764	14.95	No Aplica	No Aplica
30403716	Caño Majagual	18.1891019	-67.1605531	1.12	0.22	0.90
40100152	Río sin nombre (Modelo núm. 152)	17.9559751	-67.105194	1.49	No Aplica	No Aplica
40100189	Río sin nombre (Modelo núm. 189)	17.9644648	-67.0847443	0.05	0.17	-0.12
40100286	Río sin nombre (Modelo núm. 286)	18.0094749	-67.1783019	0.78	0.17	0.61
40100978	Río Loco	17.971146	-66.9218124	0.62	0.15	0.47
40201253	Río Yauco	17.9872193	-66.7974034	0.59	0.13	0.46
40201552	Río Guayanilla	18.0009906	-66.7765918	0.58	0.13	0.45
40201706	Río Tallaboa	17.990077	-66.7355041	0.5	0.13	0.37
40201938	Río Macaná	18.0061143	-66.7671252	0.26	0.13	0.13
40302027	Río Bucaná	17.9687838	-66.5997077	1.29	0.13	1.17
40302166	Río Portugués	17.9898608	-66.5969817	1.2	No Aplica	No Aplica
40302249	Quebrada del Agua	17.9803203	-66.6473275	1.1	0.13	0.97
40302300	Río Matilde	17.9813163	-66.6378207	1.57	0.13	1.44
40302351	Río Cañas (Ponce Municipio)	18.0018589	-66.640215	5.68	No Aplica	No Aplica

ID del Cauce en el Modelo HUC-10	Nombre de la Fuente de Inundación	Latitud	Longitud	Elevación en la Sección Transversal Aguas Abajo para 1% de Prob. Anual (m)	Elevación MHHW (m)	Delta (m)
40303120	Río Inabón	17.9689277	-66.5575841	1.57	0.12	1.45
40303504	Río Jacaguas	17.9743205	-66.5399129	1.05	0.12	0.93
40304379	Río Descalabrado	17.9811499	-66.4506751	1.28	0.12	1.16
40403955	Río Coamo	17.9598375	-66.4292827	0.95	0.11	0.84
40404577	Río Cayures	17.9684485	-66.352121	0.88	0.12	0.76
40404932	Río Nigua (Salinas Municipio)	17.9685905	-66.312484	1.41	0.12	1.29
40405048	Río Jueyes	17.9765384	-66.3381575	1.66	0.12	1.54
40406117	Quebrada Melanía	17.947512	-66.1751838	0.28	0.13	0.15
40406177	Río sin nombre (Modelo núm. 6177)	17.9603754	-66.2108419	0.34	0.13	0.21
40406232	Río Seco	17.9555735	-66.1928797	0.54	0.13	0.41
40506362	Río Guamaní	17.9430667	-66.1339112	1.77	No Aplica	No Aplica
40506511	Quebrada Bandera	17.9645791	-66.0869803	1.94	0.14	1.80
40506558	Río Nigua (Arroyo Municipio)	17.9594965	-66.0582963	1.21	0.14	1.07
40506612	Quebrada Corazon	17.9658703	-66.0750407	1.99	0.14	1.85
40506662	Quebrada Yaurel	17.9785172	-66.0200504	1.84	0.14	1.70
40506721	Río Grande de Patillas	17.9803854	-66.0129838	1.45	0.14	1.31
40506888	Río Chico	17.9786412	-66.0050568	1.3	0.14	1.16
40507002	Río Jacoboa	17.9737489	-65.9645671	2.17	0.15	2.02
50107690	Río Maunabo	17.9905793	-65.8968434	1.49	0.17	1.32

ID del Cauce en el Modelo HUC-10	Nombre de la Fuente de Inundación	Latitud	Longitud	Elevación en la Sección Transversal Aguas Abajo para 1% de Prob. Anual (m)	Elevación MHHW (m)	Delta (m)
50107731	Quebrada de Los Chinos	18.0106749	-65.9286168	13.52	No Aplica	No Aplica
50107741	Quebrada Talante	18.0083528	-65.9097368	6.12	No Aplica	No Aplica
50107775	Quebrada Arenas (Maunabo Municipio)	17.9911771	-65.8955448	2.39	0.17	2.22
50108407	Río Guayanés (Yabucoa Municipio)	18.0553882	-65.827472	2.41	No Aplica	No Aplica
50108698	Río sin nombre (Modelo núm. 8698)	18.0636048	-65.8167903	1.93	0.20	1.73
50108704	Río sin nombre (Modelo núm. 8704)	18.0692593	-65.8183371	1.93	No Aplica	No Aplica
50109102	Río Candelero	18.0985712	-65.7899995	2.34	No Aplica	No Aplica
50109111	Río sin nombre (Modelo núm. 9111)	18.0999816	-65.818274	14.05	No Aplica	No Aplica
50109741	Río Humacao	18.1197172	-65.781	2.13	No Aplica	No Aplica
50211669	Río Antón Ruiz	18.1743074	-65.7390178	1.08	0.15	0.93
50211714	Quebrada de Las Mulass	18.1807513	-65.7580831	0.58	No Aplica	No Aplica
50211785	Río Blanco (Naguabo Municipio)	18.1853731	-65.7284815	1.36	0.14	1.22
50211954	Río Santiago	18.1960614	-65.729611	2.78	No Aplica	No Aplica
50212017	Quebrada Botija	18.1951023	-65.6905308	0.55	0.14	0.41
50212023	Río sin nombre (Modelo núm. 12023)	18.2068025	-65.6957181	1.16	No Aplica	No Aplica

ID del Cauce en el Modelo HUC-10	Nombre de la Fuente de Inundación	Latitud	Longitud	Elevación en la Sección Transversal Aguas Abajo para 1% de Prob. Anual (m)	Elevación MHHW (m)	Delta (m)
50212026	Río sin nombre (Modelo núm. 12026)	18.2000802	-65.6922798	0.46	No Aplica	No Aplica
50213117	Quebrada Palma	18.1986874	-65.68538	0.58	0.14	0.44
50213252	Río Daguao	18.2073953	-65.6614328	0.7	No Aplica	No Aplica
50213270	Río sin nombre (Modelo núm. 13270)	18.2221471	-65.6575916	1.21	No Aplica	No Aplica
50215178	Quebrada Aguas Claras	18.2696282	-65.6309769	1.03	0.25	0.78
50215896	Quebrada Ceiba (Ceiba Municipio)	18.280634	-65.6329535	0.77	0.25	0.52
50215906	Río Demajagua	18.2839819	-65.6344462	1.12	0.25	0.87
50216296	Río Fajardo	18.3279892	-65.6279294	1.04	0.26	0.78
50216397	Quebrada Redonda	18.3265753	-65.6339531	0.89	No Aplica	No Aplica
50291954	Río Santiago (Tramo Lateral)	18.1967579	-65.7249948	2.14	No Aplica	No Aplica
50316599	Río Mameyes	18.3857411	-65.7509212	2.25	No Aplica	No Aplica
50316701	Río Sabana (Luquillo Municipio)	18.3742754	-65.7126196	2.1	No Aplica	No Aplica
50316735	Río Pitahaya	18.3722852	-65.7097481	2.12	No Aplica	No Aplica
50316749	Río sin nombre (Modelo núm. 16749)	18.3656964	-65.7036483	1.84	No Aplica	No Aplica
50316789	Río Juan Martín	18.3647302	-65.6777557	1.87	0.28	1.59

ID del Cauce en el Modelo HUC-10	Nombre de la Fuente de Inundación	Latitud	Longitud	Elevación en la Sección Transversal Aguas Abajo para 1% de Prob. Anual (m)	Elevación MHHW (m)	Delta (m)
50316814	Quebrada Mata de Plátano	18.3816463	-65.7169211	1.79	0.27	1.52
50316857	Río Espíritu Santo	18.4105654	-65.8034563	2.15	0.27	1.88
50318726	Río Herrera	18.4227672	-65.8290535	2.42	0.27	2.15
50417203	Río Grande de Loíza	18.4384785	-65.8767116	2.94	0.27	2.67
50515937	Río Piedras	18.4412724	-66.0848925	2	0.25	1.75
50516165	Quebrada Juan Mendez	18.4287151	-66.0419742	1.34	No Aplica	No Aplica
50615221	Río Hondo	18.451542	-66.1626685	1.51	0.26	1.25
50615382	Río de Bayamón	18.4517835	-66.1609999	1.79	0.26	1.53
50794093	Río de la Plata (Tramo Abajo)	18.4735914	-66.2552348	3	0.25	2.75

5.3 Apéndice C: Valores de Manning “n”

Código de Uso de la Tierra NLCD 2011	Descripción	Rango de Valores de n en la Literatura	Valores de n Utilizados
Agua (Water)			
11	Aguas abiertas - áreas de aguas abiertas, generalmente con menos del 25% de cobertura de vegetación o suelo.	0.001 - 0.06	0.013
12	Hielo / nieve perenne - áreas caracterizadas por una cubierta perenne de hielo y / o nieve, generalmente más del 25% de la cobertura total.	.01 - 0.027	0.020
Desarrolladas (Developed)			
21	Desarrollada, área abierta - áreas con una mezcla de algunas construcciones, pero principalmente vegetación en forma de pradera. Las superficies impermeables representan menos del 20% de la cobertura total. Estas áreas comúnmente incluyen unidades de viviendas unifamiliares de lotes grandes, parques, campos de golf y vegetación plantada en entornos desarrollados para recreación, control de erosión o fines estéticos.	0.01 -0.048	0.040
22	Desarrollada, baja intensidad - áreas con una mezcla de construcciones y vegetación. Las superficies impermeables representan del 20% al 49% por ciento de la cobertura total. Estas áreas comúnmente incluyen unidades de vivienda unifamiliares.	0.01 - 0.12	0.060
23	Desarrollada, Intensidad Media - áreas con una mezcla de construcciones y vegetación. Las superficies impermeables representan del 50% al 79% de la cobertura total. Estas áreas comúnmente incluyen unidades de vivienda unifamiliares.	0.01 - 0.1	0.075
24	Áreas desarrolladas de alta intensidad - altamente desarrolladas donde las personas residen o trabajan en grandes cantidades. Ejemplos incluyen complejos de apartamentos, casas adosadas y comerciales / industriales. Las superficies impermeables representan del 80% al 100% de la cobertura total.	0.01 - 0.12	0.100
Estéril (Barren)			
31	Tierra estéril (roca/arena/arcilla) - áreas de roca madre, pavimento desértico, escarpes, taludes,	0.011 - 0.09	0.030

Código de Uso de la Tierra NLCD 2011	Descripción	Rango de Valores de n en la Literatura	Valores de n Utilizados
	deslizamientos, material volcánico, escombros glaciales, dunas de arena, canteras de gravilla, hoyos de gravilla y otras acumulaciones de material de tierra. En general, la vegetación representa menos del 15% de la cobertura total.		
Bosque (Forest)			
41	Bosque de hoja caduca - áreas dominadas por árboles generalmente de más de 5 metros de altura y mayor que el 20% de la cobertura vegetal total. Más del 75% de las especies arbóreas arrojan follaje simultáneamente en respuesta al cambio estacional.	0.07 - 0.36	0.120
42	Bosque de Árbol de Hojas Perenne - áreas dominadas por árboles generalmente de más de 5 metros de altura y mayores del 20% de la cobertura vegetal total. Más del 75% de las especies de árboles mantienen sus hojas durante todo el año. El dosel arbóreo (o Canopia) nunca está sin follaje verde.	0.07 - 0.32	0.120
43	Bosque Mixto - áreas dominadas por árboles generalmente de más de 5 metros de altura y mayores del 20% de la cobertura vegetal total. Ni las especies de hoja caduca ni las de hojas perennes son mayores que el 75% de la cobertura total de árboles.	0.1 - 0.4	0.120
Matorral (Shrubland)			
51	Arbusto Pequeño, Alaska - áreas sólo dominadas por arbustos menores de 20 centímetros de altura con arbustos de hojas perennes típicamente superior al 20% de la vegetación total. Este tipo a menudo se asocia con hierbas, juncias, hierbas y vegetación no vascular.	0.04	0.040
52	Arbustos / matorrales - áreas dominadas por arbustos; menores de 5 metros de altura con arbustos de hojas perennes típicamente superior al 20% de la vegetación total. Esta clase incluye arbustos, árboles jóvenes en una etapa de sucesión temprana o árboles atrofiados por condiciones ambientales.	0.035 - 0.4	0.055
Herbácea (Herbaceous)			

Código de Uso de la Tierra NLCD 2011	Descripción	Rango de Valores de n en la Literatura	Valores de n Utilizados
71	Pradera/herbáceas - áreas dominadas por vegetación graminoide o herbácea, generalmente mayor al 80% de la vegetación total. Estas áreas no están sujetas a una gestión intensiva, como la cultivación, pero pueden utilizarse para el pastoreo.	0.022 - 0.36	0.040
72	Junco/herbáceas, Alaska - áreas sólo dominadas por juncias y herbáceos, generalmente más del 80% de la vegetación total. Este tipo puede ocurrir con otras hierbas significativas u otras plantas parecidas a la hierba, e incluye la tundra de junco y la tundra de maleza juncia.	0.03	0.040
73	Líquenes, Alaska - áreas sólo dominadas por líquenes fruticosos o foliáceos, generalmente más del 80% de la vegetación total.	0.027	0.035
74	Musgo, Alaska – áreas sólo dominadas por musgos, generalmente más del 80% de la vegetación total.	0.025	0.030
Plantada/Cultivada (Planted/Cultivated)			
81	Pasto/heno - áreas de hierbas, legumbres o mezclas de hierbas y legumbres plantadas para pastoreo de ganado o para la producción de cultivos de semillas o heno generalmente en un ciclo perenne. La vegetación de pasto/heno representa más del 20% de la vegetación total.	0.033 - 0.325	0.040
82	Cosecha cultivadas - áreas utilizadas para la producción de cosechas anuales, como maíz, soja, verduras, tabaco y algodón, y también cultivos leñosos perennes como huertos y viñedos. La vegetación de cultivo representa más del 20% de la vegetación total. Esta clase también incluye todas las tierras que se cultivan activamente.	0.035 - 0.04	0.040
Humedales (Wetlands)			
90	Humedales leñosos - áreas donde la vegetación de bosques o matorrales representa más del 20% de la cobertura vegetal y el suelo o subsuelo está periódicamente saturado o cubierto de agua.	0.037 - 0.14	0.090
95	Humedales Herbáceos Emergentes - áreas donde la vegetación herbácea perenne	0.045	0.045

Código de Uso de la Tierra NLCD 2011	Descripción	Rango de Valores de n en la Literatura	Valores de n Utilizados
	representa más del 80% de la cobertura vegetal y el suelo o subsuelo está periódicamente saturado o cubierto de agua.		

5.4 Apéndice D: Configuración de las Olas

Transecto Nro.	Método de Configuración	Configuración de Ola (pie)	SWEL 0.2% (pie)	SWEL Total (pie)	Período de Ola (s)	Altura de Ola (ft)	Nota
ISLA DE PUERTO RICO							
1	DIM	4.56	7.39	11.96	12.0	31.5	
2	DIM	4.69	7.36	12.04	12.0	31.5	
3	Gourlay	4.40	7.66	12.05	12.0	31.5	Arrecife
4	Gourlay	3.84	8.01	11.85	12.0	31.5	Arrecife
5	Gourlay	3.92	7.94	11.86	12.0	31.5	Arrecife
6	DIM	4.93	7.91	12.84	12.0	31.5	
7	DIM	5.08	8.00	13.08	12.0	31.5	
8	DIM	4.98	8.07	13.04	12.0	31.5	
9	DIM	4.51	8.06	12.58	12.0	31.5	
10	DIM	4.61	8.07	12.67	12.0	31.5	
11	DIM	5.70	7.91	13.61	12.0	31.5	
12	DIM	4.72	8.13	12.86	12.0	31.5	
13	DIM	5.53	7.72	13.24	12.0	31.5	
14	Gourlay	4.81	7.55	12.36	12.0	31.5	Arrecife
15	DIM	5.40	7.48	12.88	12.0	31.5	
16	DIM	4.84	7.56	12.39	12.0	31.5	
17	Gourlay	3.62	7.40	11.02	12.0	31.5	Arrecife
18	DIM	4.79	6.89	11.68	12.0	31.5	

Transecto Nro.	Método de Configuración	Configuración de Ola (pie)	SWEL 0.2% (pie)	SWEL Total (pie)	Período de Ola (s)	Altura de Ola (ft)	Nota
19	DIM	4.88	7.17	12.05	12.0	31.5	
20	DIM	4.51	6.41	10.92	12.0	31.5	
21	DIM	4.89	6.79	11.68	12.0	31.5	
22	DIM	5.18	6.24	11.42	12.0	31.5	
23	Gourlay	3.05	7.05	10.10	12.0	31.5	Arrecife
24	DIM	4.76	6.20	10.96	12.0	31.5	
25	DIM	4.40	6.69	11.09	12.0	31.5	
26	DIM	4.83	6.72	11.55	12.0	31.5	
27	DIM	6.25	6.30	12.55	12.0	31.5	
28	DIM	4.69	6.78	11.47	12.0	31.5	
29	Gourlay	4.48	5.13	9.61	12.0	31.5	Arrecife
30	Gourlay	4.41	5.48	9.89	12.0	31.5	Arrecife
31	Gourlay	4.32	6.10	10.42	12.0	31.5	Arrecife
32	Gourlay	4.23	5.58	9.81	12.0	31.5	Arrecife
33	Gourlay	2.99	5.31	8.29	12.0	31.5	Arrecife
34	DIM	4.41	6.84	11.25	12.0	31.5	
35	Gourlay	6.88	5.51	12.39	12.0	31.5	Arrecife
36	Gourlay	5.04	6.00	11.04	12.0	31.5	Arrecife
37	Gourlay	3.48	6.63	10.11	12.0	31.5	Arrecife
38	Gourlay	2.04	8.84	10.88	12.0	31.5	Arrecife
39	Gourlay	1.64	7.83	9.47	12.0	31.5	Arrecife
40	Gourlay	3.32	6.45	9.77	12.0	31.5	Arrecife
41	Gourlay	5.79	5.45	11.24	12.0	31.5	Arrecife
42	DIM	3.83	8.66	12.49	12.0	31.5	
43	DIM	4.23	7.63	11.87	12.0	31.5	
44	DIM	1.26	7.70	8.97	3.8	5.8	
45	DIM	1.28	6.76	8.03	4.4	7.3	
46	DIM	1.24	6.73	7.97	4.3	7.0	
47	DIM	1.27	5.13	6.40	3.5	5.3	

Transecto Nro.	Método de Configuración	Configuración de Ola (pie)	SWEL 0.2% (pie)	SWEL Total (pie)	Período de Ola (s)	Altura de Ola (ft)	Nota
48	DIM	1.27	4.93	6.19	3.6	5.4	
49	DIM	4.18	5.10	9.28	3.3	4.7	
50	DIM	5.86	5.04	10.90	12.0	31.5	
51	Gourlay	7.38	4.15	11.53	12.0	31.5	Arrecife
52	Gourlay	3.48	5.64	9.12	12.0	31.5	Arrecife
53	Gourlay	3.56	5.74	9.30	12.0	31.5	Arrecife
54	Gourlay	4.04	5.63	9.67	12.0	31.5	Arrecife
55	Gourlay	4.02	7.53	11.55	12.0	31.5	Arrecife
56	Gourlay	4.34	6.53	10.88	12.0	31.5	Arrecife
57	Gourlay	3.23	6.00	9.23	12.0	31.5	Arrecife
58	Gourlay	3.30	4.40	7.70	12.0	31.5	Arrecife
59	DIM	5.13	4.14	9.27	12.0	31.5	
60	Gourlay	3.48	4.72	8.20	12.0	31.5	Arrecife
61	Gourlay	3.69	5.54	9.23	12.0	31.5	Arrecife
62	Gourlay	4.16	4.84	9.01	12.0	31.5	Arrecife
63	Gourlay	3.98	6.22	10.20	12.0	31.5	Arrecife
64	Gourlay	4.17	5.68	9.85	12.0	31.5	Arrecife
65	Gourlay	4.17	7.17	11.34	12.0	31.5	Arrecife
66	Gourlay	4.35	7.30	11.64	12.0	31.5	Arrecife
67	Gourlay	3.65	7.00	10.65	12.0	31.5	Arrecife
68	Gourlay	2.94	7.14	10.08	12.0	31.5	Arrecife
69	DIM	3.89	7.28	11.17	12.0	31.5	
70	Gourlay	3.17	6.56	9.72	12.0	31.5	Arrecife
71	Gourlay	3.14	6.65	9.79	12.0	31.5	Arrecife
72	DIM	4.34	6.56	10.90	12.0	31.5	
73	Gourlay	7.24	5.24	12.48	12.0	31.5	Arrecife
74	Gourlay	4.06	7.55	11.61	12.0	31.5	Arrecife
75	Gourlay	7.38	4.95	12.33	12.0	31.5	Arrecife
76	DIM	4.77	5.00	9.77	12.0	31.5	

Transecto Nro.	Método de Configuración	Configuración de Ola (pie)	SWEL 0.2% (pie)	SWEL Total (pie)	Período de Ola (s)	Altura de Ola (ft)	Nota
77	Gourlay	7.00	6.75	13.75	12.0	31.5	Arrecife
78	Gourlay	4.55	9.06	13.61	12.0	31.5	Arrecife
79	DIM	4.97	9.84	14.81	12.0	31.5	
80	DIM	4.33	11.07	15.40	12.0	31.5	
81	DIM	4.84	10.61	15.45	12.0	31.5	
82	DIM	4.89	11.13	16.03	12.0	31.5	
83	DIM	4.85	11.59	16.44	12.0	31.5	
84	DIM	5.04	12.00	17.03	12.0	31.5	
85	DIM	4.52	13.46	17.98	12.0	31.5	
86	DIM	4.21	13.71	17.92	12.0	31.5	
87	DIM	4.17	13.77	17.94	12.0	31.5	
88	DIM	3.55	15.11	18.66	12.0	31.5	
89	DIM	4.07	14.07	18.14	12.0	31.5	
90	DIM	4.25	12.68	16.93	12.0	31.5	
91	DIM	4.32	12.87	17.19	12.0	31.5	
92	DIM	5.33	10.40	15.72	12.0	31.5	
93	DIM	5.72	11.15	16.88	12.0	31.5	
94	DIM	4.26	11.86	16.12	12.0	31.5	
95	DIM	5.77	10.99	16.76	12.0	31.5	
96	DIM	4.58	12.68	17.27	12.0	31.5	
97	DIM	4.22	8.43	12.65	12.0	31.5	
98	DIM	3.95	9.44	13.39	12.0	31.5	
99	DIM	3.85	12.61	16.46	12.0	31.5	
100	DIM	3.90	12.49	16.40	12.0	31.5	
101	DIM	3.38	14.25	17.64	12.0	31.5	
102	DIM	3.74	9.15	12.89	12.0	31.5	
103	DIM	3.72	10.06	13.78	12.0	31.5	
104	DIM	3.64	11.13	14.77	12.0	31.5	
105	DIM	4.07	11.75	15.82	12.0	31.5	

Transecto Nro.	Método de Configuración	Configuración de Ola (pie)	SWEL 0.2% (pie)	SWEL Total (pie)	Período de Ola (s)	Altura de Ola (ft)	Nota
106	DIM	3.77	13.09	16.86	12.0	31.5	
107	DIM	4.11	14.33	18.44	12.0	31.5	
108	DIM	3.87	12.02	15.88	12.0	31.5	
109	DIM	3.49	14.11	17.60	12.0	31.5	
110	DIM	3.62	13.83	17.45	12.0	31.5	
111	DIM	3.59	14.10	17.69	12.0	31.5	
112	DIM	3.98	10.67	14.65	12.0	31.5	
113	Gourlay	2.93	11.68	14.61	12.0	31.5	Arrecife
114	DIM	3.80	9.12	12.92	12.0	31.5	
115	DIM	4.41	9.79	14.20	12.0	31.5	
116	DIM	4.44	8.65	13.09	12.0	31.5	
117	Gourlay	4.97	7.26	12.23	12.0	31.5	Arrecife
118	Gourlay	3.36	9.45	12.81	12.0	31.5	Arrecife
119	DIM	5.08	9.38	14.46	12.0	31.5	
120	DIM	5.84	9.64	15.48	12.0	31.5	
121	Gourlay	4.12	9.38	13.50	12.0	31.5	Arrecife
122	DIM	4.68	8.33	13.02	12.0	31.5	
123	DIM	4.54	7.14	11.68	12.0	31.5	
124	Gourlay	3.28	7.73	11.01	12.0	31.5	Arrecife
125	Gourlay	3.26	8.35	11.61	12.0	31.5	Arrecife
126	Gourlay	3.90	8.10	11.99	12.0	31.5	Arrecife
127	Gourlay	3.13	7.94	11.07	12.0	31.5	Arrecife
128	DIM	5.24	7.84	13.08	12.0	31.5	
129	DIM	4.58	7.93	12.51	12.0	31.5	
130	DIM	5.11	7.87	12.98	12.0	31.5	
131	Gourlay	5.54	7.97	13.51	12.0	31.5	Arrecife
132	DIM	4.30	8.07	12.37	12.0	31.5	
133	DIM	4.22	8.07	12.29	12.0	31.5	
134	Gourlay	5.85	8.08	13.93	12.0	31.5	Arrecife

Transecto Nro.	Método de Configuración	Configuración de Ola (pie)	SWEL 0.2% (pie)	SWEL Total (pie)	Período de Ola (s)	Altura de Ola (ft)	Nota
135	DIM	4.00	9.20	13.20	12.0	31.5	
136	DIM	3.70	8.53	12.23	12.0	31.5	
137	DIM	4.71	8.19	12.90	12.0	31.5	
138	Gourlay	4.99	7.83	12.82	12.0	31.5	Arrecife
139	DIM	3.90	8.79	12.70	12.0	31.5	
140	DIM	3.85	9.25	13.10	12.0	31.5	
141	DIM	4.09	9.25	13.34	12.0	31.5	
142	DIM	3.81	8.53	12.34	12.0	31.5	
143	DIM	3.99	8.11	12.10	12.0	31.5	
144	DIM	3.53	7.27	10.79	12.0	31.5	
145	DIM	6.10	7.49	13.59	12.0	31.5	
146	DIM	4.10	7.20	11.30	12.0	31.5	
147	DIM	3.98	7.31	11.30	12.0	31.5	
148	DIM	3.91	9.00	12.91	12.0	31.5	
149	Gourlay	2.35	7.15	9.50	12.0	31.5	Arrecife
150	DIM	3.91	8.16	12.07	12.0	31.5	
151	DIM	3.85	10.00	13.85	12.0	31.5	
152	DIM	3.63	8.39	12.02	12.0	31.5	
153	DIM	3.27	8.80	12.08	12.0	31.5	
154	DIM	3.65	7.21	10.86	12.0	31.5	
155	DIM	3.82	7.09	10.91	12.0	31.5	
156	Gourlay	3.29	6.71	10.00	12.0	31.5	Arrecife
157	Gourlay	3.21	5.47	8.68	12.0	31.5	Arrecife
158	DIM	3.29	7.20	10.48	12.0	31.5	
159	Gourlay	2.60	7.83	10.43	12.0	31.5	Arrecife
160	DIM	3.62	8.08	11.69	12.0	31.5	
161	DIM	3.48	10.06	13.53	12.0	31.5	
162	DIM	3.47	9.66	13.13	12.0	31.5	
163	DIM	3.22	10.19	13.41	12.0	31.5	

Transecto Nro.	Método de Configuración	Configuración de Ola (pie)	SWEL 0.2% (pie)	SWEL Total (pie)	Período de Ola (s)	Altura de Ola (ft)	Nota
164	DIM	3.52	8.82	12.34	12.0	31.5	
165	DIM	3.53	7.26	10.79	12.0	31.5	
166	DIM	4.12	6.40	10.53	12.0	31.5	
167	DIM	4.45	4.70	9.15	12.0	31.5	
168	DIM	4.22	6.05	10.27	12.0	31.5	
169	DIM	4.58	5.29	9.87	12.0	31.5	
170	DIM	4.75	5.71	10.46	12.0	31.5	
171	DIM	3.80	6.54	10.34	12.0	31.5	
172	DIM	4.08	5.42	9.49	12.0	31.5	
173	DIM	4.48	4.74	9.22	12.0	31.5	
174	DIM	4.70	3.67	8.37	12.0	31.5	
175	Gourlay	2.79	5.57	8.36	12.0	31.5	Arrecife
176	DIM	4.84	5.10	9.94	12.0	31.5	
177	Gourlay	5.73	5.28	11.01	12.0	31.5	Arrecife
178	DIM	5.42	4.82	10.24	12.0	31.5	
179	DIM	1.04	5.85	6.89	4.3	7.2	
180	DIM	4.27	5.49	9.77	12.0	31.5	
181	DIM	4.49	3.90	8.39	12.0	31.5	
182	Gourlay	7.35	3.51	10.86	12.0	31.5	Arrecife
183	DIM	4.31	3.65	7.96	12.0	31.5	
184	DIM	4.14	3.31	7.45	12.0	31.5	
185	DIM	3.85	3.77	7.63	12.0	31.5	
186	Gourlay	5.50	4.14	9.63	12.0	31.5	Arrecife
187	Gourlay	5.50	5.09	10.59	12.0	31.5	Arrecife
188	DIM	4.38	4.50	8.87	12.0	31.5	
189	DIM	0.65	4.66	5.30	3.3	4.7	
190	DIM	5.04	3.35	8.39	12.0	31.5	
191	Gourlay	4.50	4.36	8.86	12.0	31.5	Arrecife
192	DIM	4.94	2.51	7.45	12.0	31.5	

Transecto Nro.	Método de Configuración	Configuración de Ola (pie)	SWEL 0.2% (pie)	SWEL Total (pie)	Período de Ola (s)	Altura de Ola (ft)	Nota
193	Gourlay	2.72	3.21	5.93	12.0	31.5	Arrecife
194	DIM	3.98	5.19	9.17	12.0	31.5	
195	Gourlay	4.87	5.06	9.93	12.0	31.5	Arrecife
196	DIM	4.91	5.76	10.67	12.0	31.5	
197	Gourlay	2.68	7.09	9.77	12.0	31.5	Arrecife
198	Gourlay	3.99	5.51	9.50	12.0	31.5	Arrecife
199	Gourlay	3.68	5.12	8.80	12.0	31.5	Arrecife
200	DIM	3.68	4.62	8.30	12.0	31.5	
201	DIM	4.35	5.09	9.45	12.0	31.5	
202	DIM	3.96	3.22	7.18	12.0	31.5	
203	DIM	3.64	5.49	9.13	12.0	31.5	
204	DIM	3.71	4.77	8.47	12.0	31.5	
205	DIM	4.55	6.65	11.19	12.0	31.5	
206	DIM	5.04	10.88	15.93	12.0	31.5	
207	DIM	3.71	11.36	15.07	12.0	31.5	
208	DIM	4.33	8.79	13.12	12.0	31.5	
209	DIM	4.49	7.72	12.21	12.0	31.5	
210	DIM	4.36	8.51	12.88	12.0	31.5	
211	DIM	4.01	9.01	13.01	12.0	31.5	
212	DIM	3.81	10.23	14.04	12.0	31.5	
213	DIM	3.47	8.74	12.21	12.0	31.5	
214	DIM	3.60	9.80	13.41	12.0	31.5	
215	DIM	3.41	10.30	13.70	12.0	31.5	
216	DIM	3.98	10.84	14.82	12.0	31.5	
217	DIM	3.71	8.94	12.65	12.0	31.5	
218	DIM	4.85	9.39	14.24	12.0	31.5	
219	Gourlay	3.21	10.10	13.31	12.0	31.5	Arrecife
220	Gourlay	3.76	10.43	14.19	12.0	31.5	Arrecife
221	DIM	3.93	8.02	11.95	12.0	31.5	

Transecto Nro.	Método de Configuración	Configuración de Ola (pie)	SWEL 0.2% (pie)	SWEL Total (pie)	Período de Ola (s)	Altura de Ola (ft)	Nota
222	DIM	3.70	7.47	11.17	12.0	31.5	
223	DIM	3.75	7.33	11.09	12.0	31.5	
224	DIM	3.88	6.69	10.57	12.0	31.5	
225	DIM	3.97	7.28	11.26	12.0	31.5	
226	DIM	4.60	6.20	10.79	12.0	31.5	
227	DIM	4.70	4.51	9.21	12.0	31.5	Arrecife
228	DIM	4.95	5.36	10.31	12.0	31.5	
229	Gourlay	4.91	6.15	11.06	12.0	31.5	Arrecife
230	DIM	4.55	6.07	10.62	12.0	31.5	
231	Gourlay	4.85	6.33	11.18	12.0	31.5	Arrecife
232	DIM	4.73	6.47	11.21	12.0	31.5	
233	Gourlay	5.27	6.96	12.23	12.0	31.5	Arrecife
234	DIM	4.49	6.97	11.46	12.0	31.5	
235	DIM	4.55	6.88	11.43	12.0	31.5	
236	DIM	4.71	7.87	12.58	12.0	31.5	
237	DIM	5.06	7.56	12.62	12.0	31.5	
238	DIM	5.52	7.83	13.35	12.0	31.5	
239	DIM	5.20	7.33	12.53	12.0	31.5	
ISLA VIEQUES							
V1	DIM	3.96	4.36	8.32	11.2	31.5	
V2	DIM	3.86	11.47	15.33	11.2	31.5	
V3	Gourlay	3.67	11.48	15.15	11.2	31.5	Arrecife
V4	Gourlay	2.87	11.44	14.31	11.2	31.5	Arrecife
V5	DIM	4.01	10.78	14.79	11.2	31.5	
V6	Gourlay	6.73	10.50	17.23	11.2	31.5	Arrecife
V7	DIM	5.51	9.85	15.37	11.2	31.5	
V8	Gourlay	3.26	10.03	13.28	11.2	31.5	Arrecife
V9	Gourlay	3.54	9.20	12.74	11.2	31.5	Arrecife
V10	Gourlay	5.32	6.44	11.76	11.2	31.5	Arrecife

Transecto Nro.	Método de Configuración	Configuración de Ola (pie)	SWEL 0.2% (pie)	SWEL Total (pie)	Período de Ola (s)	Altura de Ola (ft)	Nota
V11	Gourlay	3.09	5.62	8.71	11.2	31.5	Arrecife
V12	DIM	4.23	5.34	9.57	11.2	31.5	
V13	Gourlay	2.80	7.10	9.89	11.2	31.5	Arrecife
V14	DIM	4.40	6.75	11.15	11.2	31.5	
V15	DIM	4.28	5.29	9.57	11.2	31.5	
V16	DIM	4.15	5.18	9.33	11.2	31.5	
V17	Gourlay	4.02	5.74	9.76	11.2	31.5	Arrecife
V18	Gourlay	3.65	5.12	8.77	11.2	31.5	Arrecife
ISLA CULEBRA							
C1	Gourlay	3.01	6.27	9.29	11.2	31.5	Arrecife
C2	DIM	6.55	5.75	12.30	11.2	31.5	
C3	Gourlay	3.75	6.44	10.19	11.2	31.5	Arrecife
C4	DIM	4.62	8.54	13.16	11.2	31.5	
C5	DIM	5.04	5.72	10.76	11.2	31.5	
C6	DIM	5.67	4.20	9.87	11.2	31.5	

5.5 Apéndice E: Metodología de Erosión No Estándar de Puerto Rico

5.5.1 Descripción General

La metodología de erosión no estándar aplicada a las playas de Puerto Rico fue la misma aplicada a las playas de las Islas Vírgenes. El siguiente apéndice se originó a partir de un memorando del Estudio Costero de St. Croix (Islas Vírgenes) de fecha 18 de noviembre de 2002.

5.5.2 Introducción

Las playas arenosas de St. Croix (Islas Vírgenes) se caracterizaron por una capa de arena de 1 a 3 pies sobre las repisas rocosas. A través de exámenes fotográficos previos y posteriores a la tormenta, se determinó que una porción de esta capa arenosa fue removida mediante la acción de las olas exponiendo la repisa rocosa encontrada debajo.

Esta suposición fue verificada mediante la revisión de la literatura disponible (Hubbard, D. K., et al, 1991, "The Effects of Hurricane Hugo on the Reefs and Associated Environments of St. Croix, U.S. Virgin Islands – A preliminary Assessment," Journal of Coastal Research, Vol. 8, pp 33-48), conversaciones con especialistas en el campo (Dr. Dennis Hubbard, November, 4, 2002), e investigación del campo (August, 2002). El módulo de erosión de la base de datos CHAMP no tenía la capacidad para explicar este tipo de erosión inducida por tormenta. Por lo tanto, se determinó que debe aplicarse un enfoque no estándar a la modelización de la erosión en las playas de arena de St. Croix (Islas Vírgenes). A continuación se presenta una breve descripción de la metodología propuesta para modelar la erosión en las playas arenosas de St. Croix (Islas Vírgenes).

5.5.3 Metodología

1. Se asumió que la cantidad media removida de la capa de arena sería de 2 pies a lo largo de la playa, el valor medio de la profundidad de la capa. Para analizar esta situación, se eliminarían 1 pie de las elevaciones de 2 pies y 2 pies de las elevaciones tierra adentro. El litoral de la costa (estación de 0 pie) se conservaría tal cual. Los modelos de erosión se detendrían en la primera obstrucción, definida como el límite de vegetación o desarrollo sustancial, o donde la pendiente erosionada intersecta el perfil existente.
2. Los cambios de elevación se aplicarían al Transecto Ajustado dentro de CHAMP, dejando así el Transecto original sin cambios para fines de comparación.
3. El límite de vegetación o desarrollo se determinará mediante el examen de imágenes aéreas y fotografías tomadas durante la investigación del campo. Se debería tener en cuenta el tipo y la cantidad de vegetación, ya que afecta su capacidad para resistir erosión.
4. Si la primera obstrucción ocurre a menos de 50 pies de una estación, esa estación sería la extensión de la erosión. Si la distancia entre la primera obstrucción y la estación anterior es mayor de 50 pies, se agregaría una estación al Transecto Ajustado, donde se encuentra la obstrucción, para definir la extensión de la erosión inducida por la tormenta.

Transecto Nro.	Descripción
PUERTO RICO	
1	Acantilado rocoso, sin vegetación.
2	Playa arenosa, erosión no estándar usada. Estación 105 usada como límite de erosión. El punto a la elevación 2' erosionado a 1', elevación 4' erosionado a 2', elevación 6' erosionado a 4'.
3	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada.
4	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada.
5	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada.
6	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada.
7	Acantilado rocoso, sin vegetación.
8	Acantilado rocoso, sin vegetación.
9	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada. Transecto fue movido al oeste de su ubicación original después del levantamiento de tierras.
10	Playa arenosa, erosión no estándar usada. Transecto ligeramente movido al oeste de su ubicación original. 2' a 1', 4' a 2', 6' a 4', 8' a 6', 10' a 8', 12' a 10', Estación 238 usada como límite de erosión.
11	Acantilado rocoso, sin vegetación.
12	Acantilado rocoso, sin vegetación.
13	Playa arenosa: 2' a 1', 5' a 3', Estación 58 usada como límite de erosión.
14	Alto acantilado con playa rocosa en su base.
15	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada.
16	Acantilado rocoso.
17	Acantilado protegido por armadura rocosa (riprap).
18	Playa arenosa, erosión no estándar usada
19	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada.
20	Playa arenosa, erosión no estándar usada. 2' to 1', 5.3' to 3.3', 8.8' to 6.8', Estación 70 usada como límite de erosión.
21	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada.
22	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada. Transect moved east of its original location after field survey.

Transecto Nro.	Descripción
23	Playa arenosa, erosión no estándar pertinente. No se realizó ninguna erosión porque la vegetación comienza en la Estación 75 y la elevación es cero desde el litoral hasta la Estación 75.
24	Playa arenosa, erosión no estándar usada. 2' a 1', 4.2' a 2.2', 7.6' a 5.6', Estación 130 usada como límite de erosión.
25	Estuario del río, sin erosión necesaria.
26	Playa arenosa, erosión no estándar usada, 2' a 1', Estación 89 usada como límite de erosión.
27	Acantilado rocoso, sin vegetación.
28	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada.
29	Acantilado rocoso, sin vegetación.
30	Playa arenosa, erosión no estándar pertinente pero no ejecutada porque la primera obstrucción se encuentra en la primera estación muy cerca (28.5 pies) de la costa.
31	Ninguna erosión ejecutada, inicio de la roca subyacente expuesta al transecto. La roca expuesta en la playa y la vegetación comienzan dentro de 20'.
32	Playa arenosa, erosión no estándar usada. Ajustada de 2' a 1', 4' a 2', Estación 50 usada como límite de erosión debido a una pared de retención tipo tabla-estacado (bulkhead).
33	Playa arenosa, erosión no estándar usada. Ajustada de 2' a 1', 4.6' a 2.6, Estación 50 usada como límite de erosión debido a vegetación.
34	Acantilado rocoso.
35	Rocas expuestas al inicio del transecto, playa arenosa comienza en la Estación 380 con un límite de erosión en la Estación 410. Un punto de 2' fue añadido a la elevación de 2'. Elevación 2' erosionada a 1' en la parte posterior de la playa.
36	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada.
37	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada.
38	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada.
39	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada.
40	Dique / revestimiento, sin erosión
41	Playa arenosa, erosión no estándar usada. Puntos añadidos a las elevaciones 2' y 4', erosionada a 1' y a 2' respectivamente. Límite de erosión en la Estación 60 debido a vegetación.
42	Enrocado parcialmente desmantelado: gravas mezcladas con arena. Sin necesidad de erosionar.

Transecto Nro.	Descripción
43	Sin erosión, pared de retención tipo tabla-estacado /revestimiento.
44	Sin erosión, pared de retención tipo tabla-estacado /revestimiento.
45	Sin erosión, manglar.
46	Sin erosión, manglar.
47	Sin erosión, pared de retención tipo tabla-estacado /revestimiento.
48	Sin erosión, pared de retención tipo tabla-estacado /revestimiento.
49	Sin erosión, pared de retención tipo tabla-estacado /revestimiento.
50	Sin erosión, pared de retención tipo tabla-estacado /revestimiento.
51	Playa arenosa, método de erosión no estándar usado. Punto añadido a la elevación de 2' reducido a 1'. Ajustado de 5' a 3' y 6.5' a 4.5'. Estación 80 usada como límite de erosión debido a vegetación.
52	Playa arenosa corta, erosión no estándar pertinente pero no usada. Primera obstrucción en la Estación 18, erosión no ejecutada.
53	Playa arenosa, erosión no estándar usada. Punto añadido a la elevación de 2' reducido a 1'. Ajustado de 4' a 2', 6' a 4' y 8' a 6'. Estación 130 usada como límite de erosión debido a vegetación y pared de retención tipo tabla-estacado.
54	Playa arenosa, erosión no estándar usada. Punto añadido a la elevación de 2' reducido a 1'. Ajustado de 4' a 2'. Estación 80 usada como límite de erosión debido a pared de retención tipo tabla-estacado.
55	Playa arenosa, erosión no estándar usada. Punto añadido a la elevación de 2' reducido a 1'. Ajustado de 4' a 2'. Estación 60 usada como límite de erosión debido a vegetación.
56	Playa arenosa, erosión no estándar usada. Punto añadido a la elevación de 2' reducido a 1'. Ajustado de 4' a 2' and 6' to 4'. Estación 100 usada como límite de erosión debido a vegetación.
57	Playa arenosa, erosión no estándar usada. Punto añadido a la elevación de 2' reducido a 1'. Ajustado de 4' a 2', 8' a 6', 9' a 7' y 8.5' a 6.5'. Estación 240 usada como límite de erosión debido a carretera.
58	Playa arenosa corta, erosión no estándar pertinente pero no usada. Sin erosión ejecutada, vegetación en el litoral costero.
60	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada.
61	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada.
62	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada.
63	El área se ha desarrollado a partir de la fotografía aérea. No hay PFD presente. Erosión no estándar utilizada. Estación 75 usada como límite de erosión. Elevación

Transecto Nro.	Descripción
	de 6' erosionada a 4'; elevación de 4' erosionada a 2'; elevación de 2' erosionada a 1'.
64	Playa Arenosa. Área PFD, erosión estándar sugerida.
65	Playa arenosa, erosión no estándar usada. Estación 71 usada como límite de erosión. Elevación de 4' erosionada a 2'; elevación de 2' erosionada a 1'.
66	Playa Arenosa. Erosión no estándar pertinente pero no usada debido a que la primera obstrucción ocurre demasiado cerca al litoral costero.
67	Playa Arenosa. Erosión no estándar pertinente pero no usada debido a que la primera obstrucción ocurre en el litoral costero.
68	Playa arenosa, erosión no estándar ejecutada. Estación 21 usada como límite de erosión. Elevación de 3' erosionada a 1'.
69	Playa arenosa, erosión no estándar pertinente pero no ejecutada, primera obstrucción ocurre en el litoral costero.
70	Playa arenosa, erosión no estándar pertinente. Estación 91' representa el límite de erosión. Elevación de 4' erosionada a 2' y elevación de 2' erosionada a 1'.
71	Playa arenosa, erosión no estándar usada. Estación 100 usada como límite de erosión. Elevación de 6' erosionada a 4'; elevación de 4' erosionada a 2' y elevación de 2' erosionada a 1'.
72	Playa arenosa: área PFD, erosión estándar usada.
73	Playa arenosa, erosión no estándar pertinente pero no usada debido a que la primera obstrucción ocurre demasiado cerca al litoral costero.
74	Erosión no estándar pertinente pero no usada. La vegetación inicia en el litoral costero.
75	Playa arenosa corta. Erosión no estándar pertinente pero no usada debido a que la primera obstrucción ocurre demasiado cerca al litoral costero.
77	Erosión no estándar pertinente pero no usada, la primera obstrucción ocurre en el litoral costero.
78	Playa Arenosa: erosión no estándar pertinente pero no usada, la primera obstrucción ocurre en el litoral costero.
79	Acantilado rocoso, sin vegetación.
80	Erosión no estándar pertinente pero no usada, la primera obstrucción ocurre en el litoral costero.
81	Acantilado rocoso. Sin erosión.
82	Playa arenosa corta, erosión no estándar pertinente pero no usada debido a que la primera obstrucción ocurre demasiado cerca al litoral costero.

Transecto Nro.	Descripción
83	Playa arenosa corta, erosión no estándar pertinente pero no usada debido a que la primera obstrucción ocurre demasiado cerca al litoral costero.
86	Sin erosión, vegetación comienza muy cerca del litoral costero.
87	Sin erosión, manglares en el litoral costero.
88	Erosión no estándar pertinente pero no ejecutada: vegetación inicia en el litoral costero.
89	Sin erosión, manglares en el litoral costero.
91	Sin erosión, manglares en el litoral costero.
93	Acantilado rocoso, sin erosión, enrocados protegen el litoral costero.
95	Sin erosión, pared de retención tipo tabla-estacado /revestimiento.
96	Sin erosión, manglares en el litoral costero.
97	Acantilado rocoso, sin erosión.
98	Acantilado rocoso, sin erosión.
99	Sin erosión, manglares en el litoral costero.
100	Acantilado rocoso, sin erosión.
101	Sin erosión, manglares en el litoral costero.
103	Sin erosión, manglares en el litoral costero.
104	Erosión no estándar no aplica: diferente tipo de playa.
105	Sin erosión, pared de retención tipo tabla-estacado en el litoral costero.
106	Acantilado vegetado, sin erosión.
107	Playa corta, luego enrocado: erosión no estándar no aplica.
108	Playa corta, luego enrocado: erosión no estándar no aplica.
109	Erosión no estándar utilizada. Estación 71 usada como límite de erosión, elevación de 4' erosionada a 2' y elevación de 2' erosionada a 1'.
110	Playa arenosa, erosión no estándar pertinente pero no usada debido a que la primera obstrucción ocurre demasiado cerca al litoral costero.
111	Playa arenosa, erosión no estándar usada. Estación 30 usada como límite de erosión, elevación de 4' erosionada a 2' y elevación de 2' erosionada a 1'.
112	Acantilado vegetativo sin erosión.
113	Playa arenosa, erosión no estándar usada. Estación 40 usada como límite de erosión, elevación de 4' erosionada a 2' and elevación de 2' erosionada a 1'.

Transecto Nro.	Descripción
114	Playa arenosa, erosión no estándar usada. Estación 50 usada como límite de erosión, elevación de 4' erosionada a 2' y elevación de 2' erosionada a 1'.
115	Rompeolas costa afuera, muelle de barco y enrocado protegen la marina.
118	Playa arenosa, erosión no estándar usada. Estación 50 usada como límite de erosión. Elevación de 4' erosionada a 2' and elevación de 2' erosionada a 1'.
119	Estuario del río: sin erosión
120	Litoral costero vegetado.
121	Playa arenosa, erosión no estándar pertinente pero no usada debido a que la primera obstrucción está muy cerca del litoral costero.
129	Erosión no estándar pertinente pero no ejecutada, las obstrucciones inician cerca del litoral costero.
130	Erosión no estándar pertinente pero no usada debido a que la primera obstrucción empieza cerca del litoral costero.
131	Erosión no estándar pertinente pero no usada debido a que la primera obstrucción empieza cerca del litoral costero.
132	Erosión no estándar pertinente pero no usada debido a que las edificaciones empiezan justo en la costa.
133	Playa arenosa: erosión no estándar no pertinente. Capa rocosa desaparece en el aérea, demostrado tanto por las imágenes de reconocimiento de campo como por la ubicación de los contornos batimétricos (las olas no rompen en alta mar).
134	Playa arenosa, erosión estándar usada, en área PFD aislada, caso de remoción.
135	Erosión no estándar pertinente pero no usada debido a que la vegetación inicia en el litoral costero y parte del litoral costero tiene pared de retención tipo tabla-estacado.
136	Metodología de erosión no estándar ejecutada. La vegetación empieza a una elevación de 5.6 pies. Elevación de 4' erosionada a 2' y elevación de 2' erosionada a 1'.
137	Playa Arenosa. Erosión estándar pertinente pero no usada ya que la obstrucción empieza muy cerca del litoral costero.
138	Playa Arenosa. Erosión estándar pertinente pero no usada ya que la obstrucción empieza demasiada cerca del litoral costero.
139	Erosión estándar pertinente pero no ejecutada ya que la vegetación empieza demasiada cerca del litoral costero.
140	Erosión estándar pertinente pero no ejecutada. El transecto tiene un suelo rocoso que ya está expuesto o protegido con paredes de retención tipo tabla-estacado.
141	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.

Transecto Nro.	Descripción
145	Playa Arenosa. Erosión no estándar ejecutada. La vegetación inicia a una elevación de 5 pies. Elevación de 4' ha sido erosionada a 2' y elevación de 2' ha sido erosionada a 1'.
146	No se ha aplicado erosión debido a que la costa está parcialmente protegida.
147	Playa Arenosa. Área PFD, erosión estándar usada.
148	Playa Arenosa. Área PFD, erosión estándar usada. Tener en cuenta que las imágenes de reconocimiento de campo se refieren al litoral costero de la bahía trasera.
149	Ninguna erosión ha sido aplicada debido a que a la presencia de pared de retención de concreto tipo tabla-estacado en el litoral costero.
150	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
151	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
152	Área de manglares y edificaciones cerca del litoral costero. Método de erosión no estándar no pertinente.
153	Ninguna erosión ha sido aplicada debido a la presencia de revestimiento en el litoral costero.
155	Playa Arenosa. Erosión no estándar pertinente. La vegetación inicia a una elevación de 5.5 pies. Elevación de 4' erosionada a 2' y elevación de 2' erosionada a 1'.
156	Erosión no estándar pertinente pero no ejecutada ya que vegetación y edificaciones empiezan en el litoral costero.
157	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
158	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
159	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente. Transecto movido al suroeste de su ubicación original.
160	Ninguna erosión ha sido aplicada debido a la presencia de un dique de concreto.
161	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
162	Erosión no estándar pertinente pero no ejecutada ya que las edificaciones empiezan en el litoral costero.
163	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
164	No hay evidencia de capa rocosa de playa en el área.
165	Ninguna erosión ha sido aplicada: costa parcialmente protegida con edificaciones que empiezan demasiado cerca al litoral costero.
166	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.

Transecto Nro.	Descripción
167	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
168	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
169	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
171	Ninguna erosión ha sido aplicada debido a la presencia de revestimiento en el litoral costero. Transecto ligeramente movido al noroeste de su ubicación original.
172	Ninguna erosión ha sido aplicada debido a la presencia de revestimiento en el litoral costero.
174	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
175	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
177	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
178	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente. Transecto movido al sur de su ubicación original.
179	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
181	Entorno aluvial: erosión no estándar no pertinente.
182	Erosión estándar no pertinente debido a la presencia de terrenos barrosos.
184	Erosión estándar no pertinente: acantilado.
185	Playa Arenosa. Área PFD, erosión estándar ejecutada.
188	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
190	Playa Arenosa. Metodología de erosión no estándar usada. La vegetación inicia a una elevación de 3.5'. Elevación de 2' erosionada a 1'.
192	Rompeolas.
196	Playa Arenosa, Área PFD, método de erosión estándar usado.
201	Playa Arenosa. Método de erosión no estándar usado. La vegetación inicia a una elevación de 4.1'. Elevación de 2' erosionada a 1'.
203	Playa Arenosa. Método de erosión no estándar usado. La vegetación inicia a una elevación de 4.8'. Elevación de 2' erosionada a 1'.
204	Acantilado.
206	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
208	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente. Imagen de reconocimiento de campo tomada ligeramente al oeste de la ubicación del transecto, en el pueblo de marina.
209	Pared de retención tipo tabla-estacado.
212	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.

Transecto Nro.	Descripción
214	Playa arenosa y PDF enfrente de área de manglares, erosión estándar usada.
2144 (214b)	Acantilado. Transecto añadido luego del levantamiento de tierras.
215	Playa arenosa, erosión no estándar pertinente pero no ejecutada debido a que la vegetación inicia muy cerca del litoral costero.
217	Erosión no estándar pertinente pero no ejecutada. Edificaciones empiezan en el litoral costero.
219	Ninguna erosión ha sido aplicada debido a la presencia de vegetación en el litoral costero.
220	Litoral costero protegido por pared de retención tipo tabla-estacado.
223	Erosión no estándar pertinente pero no ejecutada. Pero ninguna erosión fue aplicada ya que la vegetación inicia demasiado cerca al litoral costero.
224	Ninguna erosión ha sido aplicada ya que la vegetación y las edificaciones están demasiado cerca del litoral costero.
225	Ninguna erosión ha sido aplicada debido a la presencia de pared de retención tipo tabla-estacado.
226	Ninguna erosión ha sido aplicada debido a un litoral costero vegetado. Transecto movido al noroeste de su ubicación original.
227	Ninguna erosión ha sido aplicada debido a un litoral costero vegetado
229	Erosión estándar pertinente pero no ejecutada. La vegetación inicia demasiado cerca del litoral costero. Transecto movido al sur de su ubicación original
231	Playa arenosa, erosión no estándar pertinente pero no ejecutada porque la vegetación inicia muy cerca al litoral costero.
233	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
234	Litoral costero protegido por revestimiento.
236	Erosión estándar pertinente pero no ejecutada. La vegetación inicia demasiado cerca del litoral costero.
237	Erosión estándar pertinente pero no ejecutada. La vegetación inicia demasiado cerca del litoral costero.
238	Erosión estándar pertinente pero no ejecutada. La vegetación inicia demasiado cerca del litoral costero.
239	Playa Arenosa. Erosión no estándar ejecutada. La vegetación empieza a una elevación de 4.1'. Elevación de 2' erosionada a 1'.
249	Playa Arenosa. La vegetación empieza a una elevación de 8.6'. Elevación de 6' erosionada a 4', elevación de 4' erosionada a 2' y elevación de 2' erosionada a 1'.
250	Litoral costero protegido por revestimiento.

Transecto Nro.	Descripción
251	Erosión estándar pertinente pero no ejecutada: litoral costero está demasiado cerca del rompeolas.
252	Litoral costero rocoso.
VIEQUES	
1001	Playa Arenosa. Método de erosión estándar usado. La vegetación empieza a una elevación de 6.5'. Elevación de 4' erosionada a 2' y elevación de 2' erosionada a 1'.
1002	Método de erosión no estándar pertinente pero no ejecutada: obstrucción (vegetación) empieza en el litoral costero.
1006	Playa Arenosa. Erosión no estándar pertinente pero no ejecutada. La vegetación empieza muy cerca del litoral costero.
1008	Playa Arenosa. Erosión no estándar pertinente pero no ejecutada. La vegetación empieza muy cerca del litoral costero.
1010	Playa Arenosa. Metodología de erosión no estándar usada. La vegetación empieza a una elevación de 7.6'. Elevación de 6' erosionada a 4', elevación de 4' erosionada a 2' y elevación 2' erosionada a 1'.
1013	Área de manglares. Método de erosión no estándar no pertinente.
1014	Playa Arenosa. Metodología de erosión no estándar usada. La vegetación empieza a una elevación de 7.5'. Elevación de 6' erosionada a 4', elevación 4' erosionada a 2' y elevación 2' erosionada a 1'.
1015	Playa Arenosa con PFD. Erosión estándar usada, caso de remoción.
1017	Playa Arenosa. Metodología de erosión no estándar usada. La vegetación empieza a una elevación de 9.5'. Elevación de 8' erosionada a 6', elevación de 6' erosionada a 4', elevación 4' erosionada a 2' y elevación de 2' erosionada a 1'.