EVALUACION INFORME HIDRAULICA

A partir del documento proporcionado sobre el Informe de Hidráulica elaborado por el Consorcio Ronda Ranchería (2025) para CORPOGUAJIRA, se estructura a continuación un análisis del estudio, organizados por las variables principales solicitadas en la modelación y teniendo en cuenta los términos del contrato N° 0124 de 2024 suscrito con la Corporación Autónoma Regional de la Guajira – CORPOGUAJIRA.

En el contexto de la gestión del territorio y la conservación ambiental, la delimitación de la ronda hídrica de corrientes naturales es una tarea de alta complejidad que exige un entendimiento riguroso de la dinámica de flujos extraordinarios. El estudio ejecutado por el Consorcio Ronda Ranchería bajo el Contrato N° 0124 de 2024 para la Corporación Autónoma Regional de la Guajira (CORPOGUAJIRA) adoptó con acierto la versión 6.6 de HEC-RAS como núcleo computacional para evaluar el comportamiento del río Ranchería. Este río, caracterizado por una marcada heterogeneidad en su perfil longitudinal que transita desde pendientes pronunciadas controladas por infraestructura hidráulica (Represa El Cercado) hasta llanuras deltaicas de bajísima pendiente en su desembocadura sobre el Mar Caribe, planteaba un desafío de simulación que solo una plataforma con las capacidades hidrodinámicas de HEC-RAS 6.6 podía resolver con un nivel de incertidumbre aceptable.

- **Objetivo Principal:** Analizar eventos de inundación para delimitar y acotar la ronda hídrica del sistema de drenaje del río Ranchería, evaluando sus características físicas, geomorfológicas y comportamiento hidráulico natural.

Metodología y Herramientas Seleccionadas

- **Software:** Se seleccionó **HEC-RAS en su versión 6.6**, priorizando su motor de cálculo bidimensional (2D). Esta herramienta resuelve las ecuaciones de aguas someras mediante el método de **Volúmenes Finitos Implícitos**, permitiendo mallas estructuradas y no estructuradas con alta estabilidad numérica en regímenes mixtos.
- **Insumos Técnicos:** Se utilizó un Modelo de Elevación Digital (**DEM**) con resolución de 1.0 x 1.0, mapas de cobertura de suelo para asignar los coeficientes de rugosidad de **Manning** (los cuales oscilaron entre 0.035 para ríos/lagunas y 0.07 para tejidos urbanos), e hidrogramas provenientes del informe hidrológico.
- **Escenarios Evaluados:** Se simularon eventos de inundación para dos periodos de retorno: **15 años** (evento extraordinario frecuente) y **100 años** (evento extremo de

referencia para gestión del riesgo).

El motor 2D de HEC-RAS permite al usuario seleccionar entre las ecuaciones completas de aguas someras de Saint-Venant (recomendadas para flujos altamente dinámicos, efectos de oleada o transiciones de régimen) y la aproximación de la Onda Difusiva (Diffusion Wave). Esta última aproximación, seleccionada para el modelo del río Ranchería, desprecia los términos de aceleración local y convectiva en las ecuaciones de momentum, equilibrando las fuerzas de presión, gravedad y fricción. La elección de la Onda Difusiva es técnicamente idónea para sistemas fluviales extensos donde predominan los flujos subcríticos y lentos, tal como se documenta en el río Ranchería, cuyas velocidades promedio en la mayoría de sus tramos inferiores son inferiores a 0.50 m/s. La Onda Difusiva confiere al modelo una buena estabilidad numérica, permitiendo pasos de tiempo más amplios sin inducir oscilaciones matemáticas ficticias, asegurando que la propagación de la onda de avenida sobre las llanuras de inundación responda a las pendientes del terreno y a la resistencia al flujo.

1. Extensión de las Manchas de Inundación

La modelación dividió el río Ranchería en 3 tramos y evaluó escenarios para periodos de retorno (Tr) de 15 y 100 años:

Tramo 1 (Alta pendiente y regulación por infraestructura)

Este sector, que se extiende desde la salida de la Represa El Cercado hasta aguas arriba del arroyo Paladines, se caracteriza por poseer la mayor pendiente longitudinal de la cuenca bajo estudio. Hidráulicamente, esto se traduce en que es la zona que registra las mayores magnitudes de velocidad, alcanzando promedios que van desde < 0.65 m/s para el periodo de retorno de 15 años hasta un tope generalizado de 1.0 m/s para el escenario extremo de 100 años. No obstante, a pesar de estas energías cinéticas elevadas, las profundidades medias en el cauce activo se mantuvieron en rangos notablemente bajos y controlados (1.21 metros para 15 años y 0.94 metros para 100 años). Este fenómeno se explica por la presencia de la Represa El Cercado, la cual ejerce un rol amortiguador que recorta los caudales pico, obligando a que los mayores tirantes de agua se concentren y disipen de forma segura en las zonas de amortiguamiento naturales adyacentes al canal, limitando la mancha de inundación a 4.45 km^2 en el evento de 15 años y expandiéndose a 12.99 km^2 en el de 100 años.

- Tramo 2 (Desde aguas arriba del arroyo Paladines hasta aguas abajo del arroyo Tirajoncito / Ay. Bruno):
  - Tr = 15 años: El área afectada estimada es de 4.67 km^2.
  - Tr = 100 años: La superficie inundable bajo condiciones extraordinarias alcanza los 15.16 km^2.

Tramo 2 (Transición y almacenamiento lateral)

Desde el arroyo Paladines hasta aguas abajo del arroyo Tirajoncito (Arroyo Bruno), el río Ranchería experimenta una disminución progresiva de su gradiente altimétrico. Como consecuencia directa, las velocidades promedio del flujo disminuyen a valores de 0.50 m/s (Tr = 15 años) y 0.43 m/s (Tr = 100 años). Al perder velocidad, el río requiere compensar el transporte de masa aumentando el área de su sección mojada, lo que se evidencia en un incremento sustancial de las profundidades medias dentro del cauce principal, registrando 1.95 metros para el periodo extraordinario frecuente (15 años) y 1.24 metros en el escenario extremo (100 años). Aquí, las llanuras laterales actúan como vasos de almacenamiento temporal que estabilizan la onda de avenida, abarcando áreas de inundación de 4.67 km^2 y 15.16 km^2 para 15 y 100 años, respectivamente.

- Tramo 3 (Desde aguas abajo del arroyo Tirajoncito / Ay. Bruno hasta la desembocadura al mar):
  - Tr = 15 años: La extensión del área inundable es considerablemente mayor debido a la baja pendiente de la zona costera, alcanzando los 48.57 km^2.

Tramo 3 (Fase de vejez, control por marea y vulnerabilidad crítica)

El tramo final del río, desde aguas abajo del arroyo Tirajoncito y que culmina en su desembocadura sobre el sector costero de Riohacha, representa el escenario hidráulico más complejo y de mayor riesgo. En este sector, el río Ranchería ingresa a su fase geomorfológica de vejez, caracterizada por pendientes prácticamente nulas. La velocidad promedio cae a niveles mínimos de apenas 0.24 m/s para el periodo de retorno de 15 años, lo que anula la capacidad de transporte de sedimentos del flujo y fomenta una intensa depositación en el lecho. Al no existir energía suficiente para transitar con rapidez, el agua se desborda masivamente de forma lateral. La profundidad media en el cauce se sitúa en 1.21 metros para el evento de 15 años y cae por debajo de 1.0 metros en promedio para el evento de 100 años, indicando que el flujo abandona el canal principal para convertirse en una inundación mantiforme extensísima sobre la llanura costera, alcanzando la alarmante

cifra de 48.57 km² de área inundada solo para el periodo de retorno de 15 años. Un gran acierto metodológico en la aplicación de HEC-RAS 6.6 en este tramo fue el establecimiento de una condición de contorno de frontera aguas abajo basada en la marea máxima histórica de 1.11 msnm para el escenario de 100 años. Este nivel costero actúa como un "tapón" hidráulico o remanso hidrodinámico que impide el libre drenaje del río Ranchería hacia el océano, forzando la sobreelevación de la lámina de agua e incrementando de manera crítica la vulnerabilidad de las áreas urbanas continuas y discontinuas de Riohacha (asociadas a ese elevado coeficiente de Manning de 0.070).

3.Resultados de la modelación

En el cuadro siguiente se muestra un resumen del resultado de la modelación hidráulica realizada.

Metrica/variable	Tramo 1-Alta pendiente	Tramo 2-pendiente moderada	Tramo 3-Baja pendiente-Vejez
Area inundacion-Tr=15 años	4.45 km2	4.67 km2	48.57 km2
Area inundacion-Tr=100 años	12.99 km2	15.16 km2	Extension maxima identificada
Vpromedios	<0.65 m/s-tr 15 a 1 m/s tr 100	<0.50 m/s-tr 15 a 0.43 m/s tr 100	0.24 m/s (flujos muy lentos)
Hmedias	1.21 m (tr 15 y 0.94 m (tr100 en cauce)	1.95 m (tr 15) y 1.24 m (tr100 en cauce)	1.21 m (tr15) y <1 m (tr100)
Comportamiento dinamico	Regulado por la represa; las zonas de amortiguación atenúan la energía.	Menor pendiente; las zonas laterales actúan como almacenamiento temporal.	Fuerte control por taludes marginales y cota de marea máxima (1.11 msnm).

3. Parámetros Técnicos de la Modelación 2D

Para la simulación hidrodinámica bidimensional mediante el software HEC-RAS 6.6, se aplicaron los siguientes criterios y configuraciones:

- Aproximación Numérica: Ecuación de Onda Difusiva.
- Método de Cálculo: Volúmenes Finitos Implícitos.
- Paso de Tiempo (t): Fijo en 2 segundos, con la función de control automático del paso de tiempo activada para garantizar la estabilidad y reducir errores numéricos.

- Malla Computacional: Malla tipo no estructurada (en su mayoría cuadriláteros). El tamaño de celda se refinó a 5.0 metros en las zonas de interés y 10.0 metros en zonas no inundables. El terreno base empleado fue un Modelo de Elevación Digital (DEM) con resolución de 1.0 x 1.0 metros.

- Tiempo de Inicialización (*Warm Up*): 92 horas de simulación previa con un hidrograma de calentamiento para establecer niveles de almacenamiento realistas en el río y evitar inestabilidades matemáticas iniciales. Un error metodológico común en modelaciones hidráulicas es iniciar la inyección de hidrogramas de creciente con el cauce del río completamente seco, lo cual induce frentes de onda con pendientes infinitas que colapsan matemáticamente el simulador. El Consorcio solucionó este escenario programando un tiempo de inicialización o Warm Up de 92 horas de simulación previa. Durante este periodo, se inyectaron caudales bases controlados que llenaron paulatinamente el almacenamiento muerto del cauce, estableciendo condiciones iniciales de tirante de agua y velocidad hidrodinámicamente realistas antes del arribo de los hidrogramas de diseño correspondientes a los periodos de retorno de 15 y 100 años.

- Coeficientes de Rugosidad (n de Manning): Fueron asignados automáticamente mediante un shapefile de coberturas de suelo de ArcGIS. Los valores establecidos en los cauces principales del río y lagunas naturales corresponden a un n = 0.035, incrementándose a n = 0.06 en zonas de bosques, pastos y cultivos, y a n = 0.07 en los tejidos urbanos continuos y discontinuos. La resistencia al flujo (fricción) no es uniforme en una sección transversal ni a lo largo del perfil del río. Utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS) en sinergia con el módulo RAS Mapper integrado en HEC-RAS 6.6, se automatizó la asignación del coeficiente de rugosidad de Manning (n) mediante un shapefile de coberturas de suelo. La correlación física establecida se detalla en la siguiente tabla de parámetros:

Tipo de Cobertura de Suelo	Valor del Coeficiente de Manning (n)	Justificación Hidráulica Asociada
Cauces principales del río y lagunas naturales	0.035	Resistencia baja a moderada. Corresponde a lechos aluviales compuestos por arenas, gravas finas y vegetación marginal escasa que permite un tránsito fluido de la corriente activa.
Zonas de bosques, pastos y cultivos	0.06	Resistencia elevada. La densidad del follaje, troncos arbóreos y la rugosidad del suelo agricola actuan como yn freno mecanico natural, disminuyendo notablemente las velocidades e induciendo el almacenamiento de agua en la llanura.
Tejidos urbanos continuos y discontinuos	0.07	Resistencia máxima extrema. Representa la obstrucción física severa generada por edificaciones, cerramientos, infraestructuras y pavimentos urbanos que bloquean y desvían el flujo libre de las aguas desbordadas.

Estos resultados e insumos sirvieron como base técnica y regulatoria para la delimitación definitiva del acotamiento de la ronda hídrica en la cuenca del rio Ranchería.

A partir de los resultados analizados en la modelación bidimensional del río Ranchería para los periodos de retorno de 15 y 100 años, se presentan las siguientes conclusiones y recomendaciones del estudio, que son los insumos de la base técnica y regulatoria para la delimitación definitiva dl acotamiento de la ronda hídrica de la cuenca del rio Ranchería.

4.CONCLUSIONES

- Comportamiento de los flujos y pendientes: El río Ranchería se caracteriza por tener bajas pendientes en sus tramos inferiores, lo que genera flujos lentos que favorecen una alta capacidad de depositación de sedimentos. Esto se evidencia en las velocidades máximas promedio, las cuales disminuyen progresivamente a lo largo del cauce, pasando de un máximo de 1.0 m/s en el Tramo 1 a un promedio de apenas 0.24 m/s en el Tramo 3 para el escenario de 15 años.

- Vulnerabilidad por inundación en zonas costeras: El Tramo 3 presenta la mayor susceptibilidad geográfica a la inundación. Debido a la baja pendiente de la zona costera y a la influencia de las mareas máximas históricas (condición de contorno fijada en 1.11 msnm, la mancha de inundación se extiende drásticamente en este tramo,

alcanzando los 48.57 km^2 para el periodo de retorno de 15 años.

- Incremento del riesgo ante eventos extraordinarios: Al evaluar el escenario de cambio para un periodo de retorno de 100 años, se observa un incremento crítico en las áreas inundables de los tramos superiores. El Tramo 1 casi triplica su afectación al pasar de 4.45 km^2 a 12.9 km^2, mientras que el Tramo 2 se expande de 4.67 km^2 a 15.16 km^2, lo que demuestra que los terrenos adyacentes funcionan como zonas de amortiguamiento natural ante crecidas extremas.

- Estabilidad de la modelación: Los parámetros técnicos implementados en el software HEC-RAS 6.6 (paso de tiempo fijo de 2 segundos, uso de *Time Slicing* y una malla computacional de alta resolución de 5.0 a 10.0 metros aseguraron un proceso numérico convergente y libre de inestabilidades matemáticas. Asimismo, las 92 horas de inicialización (*Warm Up*) garantizaron que los niveles de almacenamiento en el río fueran realistas antes del tránsito de las avenidas.

5.RECOMENDACIONES

- Adopción de la ronda hídrica en el ordenamiento territorial: Se recomienda a CORPOGUAJIRA incorporar de manera oficial las manchas de inundación obtenidas (especialmente el escenario limitante de 100 años) dentro de las directrices del acotamiento de la ronda hídrica. Estas áreas deben ser integradas en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) de los municipios ribereños para restringir la expansión urbana e industrial en las zonas de alta amenaza.

- Gestión del uso del suelo según la rugosidad: Dado que las zonas con tejido urbano e infraestructura civil presentan un alto coeficiente de Manning (n = 0.07) y alteran la dinámica del flujo, se debe prohibir la construcción de nuevas obras que obstruyan el cauce mayor o las zonas de amortiguamiento detectadas en los Tramos 1 y 2, evitando así el aumento artificial de los niveles de agua aguas arriba.

- Monitoreo y manejo de sedimentos en el Tramo 3: Debido a las bajas velocidades registradas en el tramo final del río (0.24 m/s), es prioritario estructurar un programa de monitoreo batimétrico y descolmatación controlada en la desembocadura. La acumulación de sedimentos, sumada al efecto de la marea costera, puede elevar el nivel del lecho y agravar las inundaciones en las áreas planas adyacentes.

- Actualización periódica del modelo con datos en tiempo real: Es aconsejable densificar la red de estaciones hidrométricas a lo largo del río Ranchería para calibrar y validar los coeficientes de rugosidad asignados por coberturas de suelo. Actualizaciones futuras de la simulación deberían incorporar batimetrías de detalle en puntos críticos de estrangulamiento o puentes para mejorar la precisión de los tirantes de agua calculados.

La interventoria da aprobación al documento INFORME DE HIDRAULICA y se recomienda sean tenidas en cuentas las recomendaciones dadas y que todas sean incluidas en la redacción final del estudio.

Atentamente,

ORLANDO OLIVEROS URIETA
ING. CIVIL Msc. Ingeniería Sanitaria.
Ms. Evaluación impactos ambientales
T.P. 25202-11022 C/CA