

Reporte del Proyecto de la Presa Amina

Preparado para el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, República Dominicana

Rob Sowby, Sam García, y Erik McCarthy

Ingeniería Civil y Ambiental
Universidad de Brigham Young, Utah EUA

Abril 2012

Tabla de Contenido

Resumen Ejecutivo	1
Introducción	2
Características de la Cuenca	2
Área.....	3
Número de Curva y Terreno	3
Datos de Precipitación	4
Factor de Reducción de Área.....	5
Características del Embalse y Presa.....	6
Disponibilidad de Agua	6
Almacenamiento para Sequías.....	8
Modelo de Calibración HEC-HMS.....	10
Control de Inundación.....	12
Enrutamiento del Embalse	12
Modelo de Inundación con HEC-RAS	15
Modelo GSSHA de Inundación Causada por Ruptura de la Presa	18
Energía Hidroeléctrica	20
Evaporación	21
Sedimentación.....	21
Conclusión	21

Resumen Ejecutivo

El siguiente informe resume nuestra investigación de la presa de Amina propuesta en la República Dominicana. Nuestro estudio incluyó un análisis de viabilidad hidrológica, así como una evaluación de los beneficios relacionados con la disponibilidad de agua, almacenamiento para sequías, el control de inundaciones, y la energía hidroeléctrica.

Nuestro análisis reveló varios problemas que serán discutidos en detalle en el reporte. En primer lugar, las demandas propuestas son desconocidas. La demanda de riego, agua potable, energía hidroeléctrica, y la evaporación deben ser conocidos para un balance hídrico concluyente. En segundo lugar, la propuesta de la pipa inferior de salida se ha especificado con un diámetro de 2.0 m. En base en nuestros cálculos, este tamaño es insuficiente para pasar el caudal requerido de $100 \text{ m}^3/\text{s}$, y se debe cambiar el diámetro a 2.5 m. En tercer lugar, no había suficiente información disponible sobre las instalaciones hidroeléctricas, incluyendo la elevación de admisión, la diferencia en presión, y la ubicación. La investigación o la redefinición de estos datos es necesario si energía hidráulica sostenible se va a desarrollar en este sitio.

A pesar de la falta de alguna información, desde un punto de vista hidrológico, la Presa Amina es factible. Históricamente, hay suficiente agua para proporcionar el flujo propuesto regulado, con reducción en el flujo durante la fase de llenado y periodos de sequía. La construcción de una represa también permitiría el almacenamiento de agua para las sequías y mejoraría la fiabilidad de flujo para las regiones aguas abajo. La presa también proporcionará protección contra las inundaciones considerables y ofrecerá un potencial para el desarrollo de energía hidroeléctrica.

Factores geológicos y estructurales también deben ser considerados, junto con asuntos no técnicos, pero en nuestra opinión el proyecto es factible y beneficioso desde el punto de vista hidrológico.

Introducción

La Agencia Nacional de Aguas de la República Dominicana, el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), ha propuesto construir la Presa Amina, cerca de la ciudad de San José de las Matas, con la presa a unos 1.5 km aguas abajo de la confluencia de los ríos Amina e Inoa . El proyecto propuesto tiene como objetivo proporcionar beneficios para el almacenamiento para la sequía, el flujo regulado, control de inundaciones, y energía hidroeléctrica para la región.

Anteriores informes técnicos relacionados con el embalse de Amina fueron realizados por Hanson & Rodríguez en 1978 como parte de un Plan Maestro del Río Yaque del Norte, y por SOGREAHSERCITEC en 2003 como parte de otra iniciativa de control de inundaciones. La mayoría de los detalles acerca de la presa han sido expuestos por Hanson & Rodríguez.

Sin embargo, nuevos datos y una mejor tecnología están disponibles para actualizar algunos aspectos del proyecto. Nuestro objetivo fue evaluar el embalse propuesto desde una perspectiva hidrológica, analizando la disponibilidad de agua basada en datos históricos y evaluando el potencial de los beneficios antes mencionados. En las páginas siguientes vamos a discutir con más detalle:

- Características de la cuenca
- Embalse y características de la presa
- Disponibilidad de agua
- Almacenamiento para sequías
- Modelo de calibración
- Control de inundaciones
- Energía hidroeléctrica

Nuestras conclusiones sobre el proyecto será discutido al final del informe.

Características de la Cuenca

La Tabla 1 resume las características de la cuenca utilizadas en este estudio. Estas características serán analizadas en las páginas siguientes.

Tabla 1: Características de la Cuenca

Área de la cuenca	339 km ²
CN compuesto calculado	73
CN compuesto ajustado	86
Precipitación Máxima Probable (24-hour)	600 mm
Precipitación promedio anual	1200 mm
Grupo predominante de suelo hidrológico	C

Área

El área tributaria del embalse propuesto incluye las cuencas de los ríos Amina e Inoa. Usando el Sistema para Modelar Cuencas Hidrográficas (Watershed Modeling System, WMS) y un modelo de 30 m de elevación digital (DEM), se calculó la dirección del flujo con TOPAZ y el delineado de la cuenca (Figura 1). WMS calculó un área de 349 km²; INDRHI indica un área de 339 km². La diferencia puede atribuirse a la colocación exacta de la ubicación de salida o la baja resolución en el DEM.

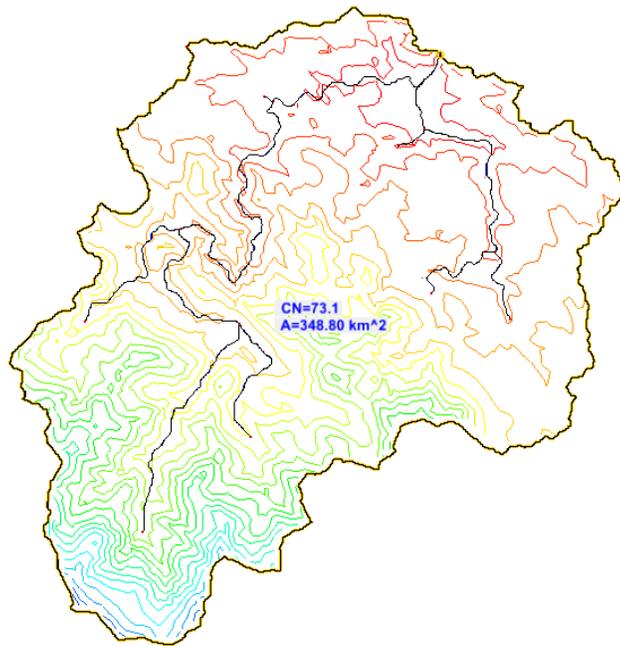


Figura 1: Cuenca delineada

Número de Curva y Terreno

Con base en archivos de forma de tipo de suelo y uso de la tierra, se utilizó WMS para calcular un número de curva (NC) compuesto de 73. Sin embargo, como se discutirá más adelante, nuestros modelos de HEC-HMS no produjeron suficiente volumen de escurrimiento con este NC. Dado que la mayor precipitación ocurre durante la temporada de lluvias en la República Dominicana, se sospecha una "condición húmeda" (Condición 3) que por lo general se puede aplicar para el NC. Basado en tablas de ajustes de NC para las condiciones antecedentes, en última instancia se eligió un NC de 86.

El terreno y la vegetación típica de la cuenca se ilustran en la Figura 2.



Figura 2: Terreno y vegetación típica de la Cuenca

Datos de Precipitación

A continuación, se reunieron los datos de precipitación de la cuenca. Al inicio, tres medidores cercanos se utilizaron para determinar la precipitación media con polígonos de Thiessen. Sin embargo, no pudimos calibrar la serie de tiempo de precipitación a la serie de tiempo de flujo disponible. Esto podría ser debido al drástico tamaño de la cuenca y la escasez geográfica de los datos de precipitación.

En lugar de utilizar datos de precipitación y calibrarlos con los datos de flujo, se decidió utilizar mapas de frecuencia de precipitación proporcionados por el INDRHI. Los contornos de los mapas de frecuencia de precipitación de 2.33-, 5-, 10-, 25-, 50-, y 100-años de tormentas de 24-horas fueron digitalizadas en el WMS. Luego, utilizando WMS, la precipitación área ponderada se calculó sobre la cuenca para cada tormenta. Un mapa de frecuencia de precipitación digitalizado en WMS puede verse en la Figura 3.

De acuerdo con el INDRHI, la precipitación promedio en la cuenca es de 1200 mm/año.

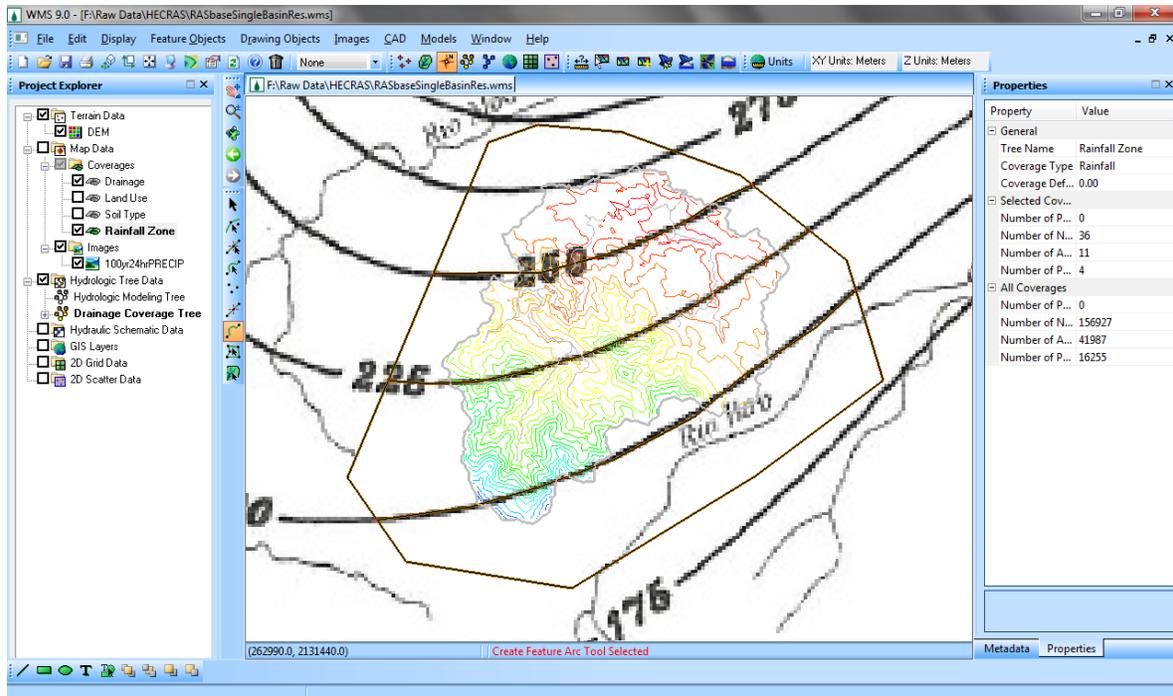


Figura 3. Mapa de frecuencia de precipitación digitalizado para la cuenca de Amina

Factor de Reducción de Área

Con el fin de compensar el tamaño de la cuenca, un factor de reducción de profundidad de área se utilizó para ajustar los valores de precipitación de acuerdo con el tamaño de la cuenca. Utilizando el método utilizado por la Oficina de Reclamación de EE.UU., se determinó que un área de cuenca de 350 kilómetros cuadrados, debe utilizar un factor de reducción de la profundidad de área de 0.91. Este factor se multiplicó por el área ponderado de los valores de 24-horas de precipitación que se determinaron en WMS para obtener la precipitación promedio sobre toda la cuenca.

Por otra parte, para determinar la precipitación máxima probable (PMP) para la cuenca, hemos seguido el protocolo del INDRHI y utilizado los valores de 24 horas de precipitación del huracán Jeanne en el 2004 según lo registrado en Puerto Rico. Esto produjo un PMP de 24 horas de 600 mm.

Una vez que los datos de precipitación estuvieron listos, desarrollamos un modelo HEC-HMS. La tormenta SCS Tipo II de 24 horas se utilizó debido al protocolo del INDRHI. Para las pérdidas en la cuenca, el método de número de curva SCS fue utilizado. Para la atenuación del hidrógrafo, el método de transformación de Clark fue utilizado.

Características del Embalse y Presa

De acuerdo con Hanson & Rodríguez, el Embalse de Amina tendrá una capacidad de almacenamiento útil de 337,000,000 m³. Esto es consistente con nuestros cálculos basados en el DEM y las características de la cuenca. La superficie máxima del embalse (a plena capacidad) será 14.0 km².

La presa propuesta se encontrará en un cañón, cerca de 1.5 km aguas abajo de la confluencia de los ríos Amina e Inoa, en el lado norte de la cuenca. De acuerdo con Hanson y Rodríguez será una presa de gravedad de hormigón con una altura de 86.0 m, una longitud de cresta de 230 m, y un aliviadero a la altura de 400.0 m. La capacidad del aliviadero sería de 850 m³/s.

La salida inferior se ha especificado con un diámetro de 2.0 m. Sin embargo, como se discutirá más adelante, el análisis reveló que esto no es suficiente para liberar un flujo de 100 m³/s como se pretende para el control de inundación. Con el aliviadero y la salida inferior combinado, el embalse deberá regular hasta 950 m³/s.

Disponibilidad de Agua

En sus planes de control de inundaciones, Hanson & Rodríguez recomendó una salida regulada de 5.5 m³/s del embalse propuesto, mientras que SOGREAH-SERCITEC, más recientemente, recomendó 7.0 m³/s. Para evaluar el potencial para satisfacer esta demanda se examinaron los registros locales de caudales.

Afortunadamente, hay un medidor de flujo situado muy cerca del sitio propuesto para la represa que es mantenido por el INDRHI. Con 29 años de datos de caudal diario (1967-1995), hemos desarrollado una curva de duración-de-flujo (CDF) como se muestra en la Figura 4. La Tabla 2 resume las estadísticas pertinentes de flujo.

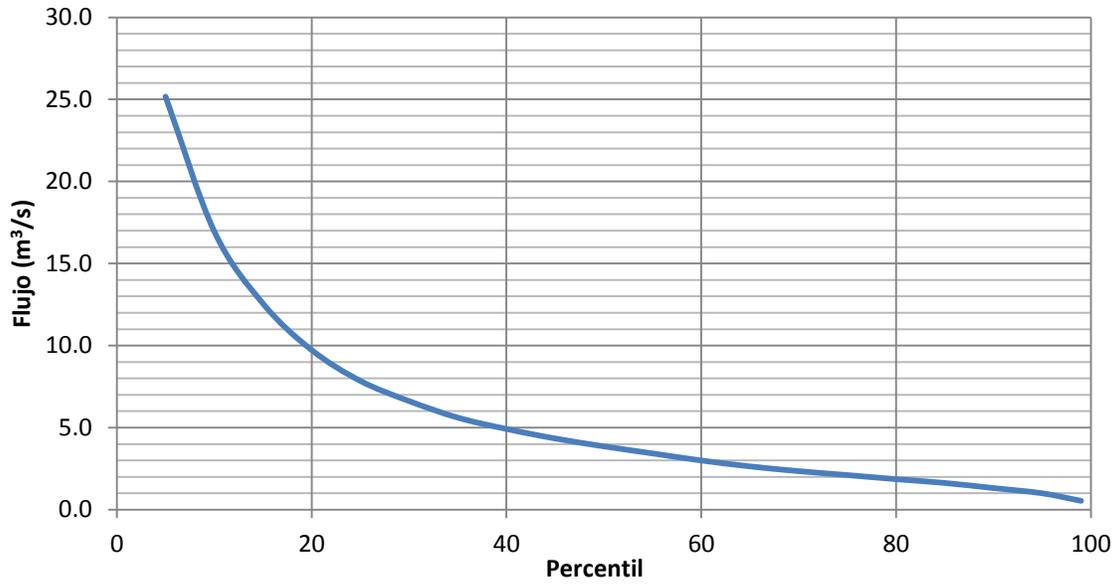


Figura 4: Curva de Duración-de-Flujo

Tabla 2: Estadísticas de Flujo Diario

Medio	7.7 m ³ /s
Percentil 95	1.0 m ³ /s
Percentil 50	3.9 m ³ /s
Mínimo	0.0 m ³ /s
Máximo	315.1 m ³ /s

En la Tabla 2 se puede observar que a pesar de que el caudal medio es de 7.7 m³/s, el flujo de percentil 50 es de sólo 3.9 m³/s. Esto se debe a que los eventos de precipitaciones extremas (huracanes) inflan el promedio.

De acuerdo con Hanson & Rodríguez, el depósito tenía la intención de proporcionar un suministro de riego para 2,100 hectáreas. De acuerdo con el INDRHI, un caudal máximo de 2.4 m³/s se necesitan para este uso. Esto corresponde con el percentil 69. Esta demanda es probable que haya cambiado desde 1978, pero el INDRHI no tiene demanda actualizada de riego para este proyecto.

La Figura 5 muestra una gráfica del caudal promedio diario anual para los años registrados.

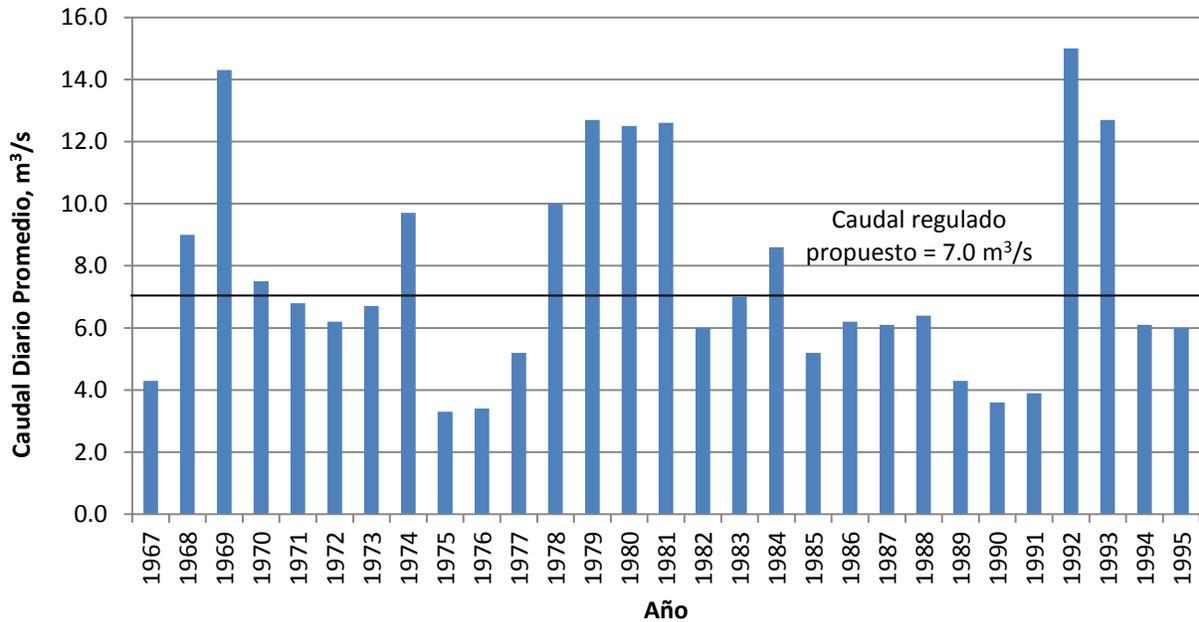


Figura 5: Promedios anuales de caudales diarios

En la Figura 5 se puede observar que en el registro disponible, 18 de los 29 años tienen un promedio de caudales diarios a 7.0 m³/s o por debajo. Como se verá en la siguiente sección, un embalse podría servir de almacenamiento durante períodos de bajo flujo, pero el caudal regulado puede tener que ser reconsiderado.

Almacenamiento para Sequías

Con los datos de caudal hemos desarrollado una curva de masa acumulativa (Figura 6) para analizar fluctuaciones de almacenamiento a largo plazo.

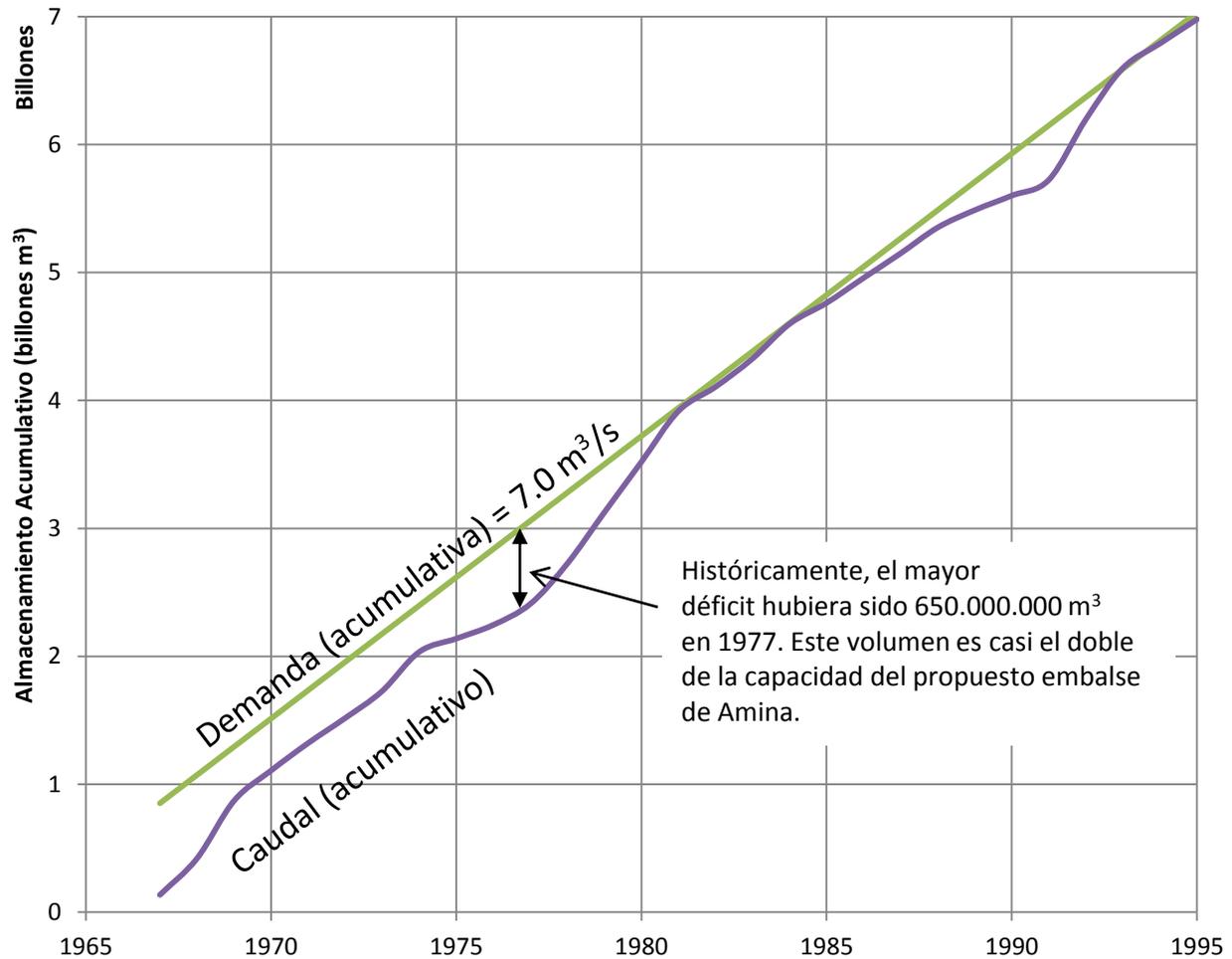


Figura 6: Curva de Masa Acumulativa

Considerando que el promedio de flujo diario es de sólo $7.7 \text{ m}^3/\text{s}$ para los 29 años registrados y un flujo constante de $7.0 \text{ m}^3/\text{s}$ debe ser regulado, esto deja sólo $0.7 \text{ m}^3/\text{s}$ en promedio como exceso de flujo para el almacenamiento. A este ritmo, se necesitarían 15 años para llenar el embalse vacío, y más tiempo (o no poder llenarlo) si el depósito fuese construido durante un período particularmente seco. La Tabla 3 describe varios escenarios de llenado. Sugerimos que el caudal regulado se reduzca durante la fase de llenado del embalse a fin de ofrecer almacenamiento útil con mayor rapidez.

Tabla 3: Tiempo para llenar el Embalse

Afluencia (m^3/s)	Percentil de flujo	Tiempo de relleno (años)
0.7	98	15.3
1.0	95	10.7
3.9	50	2.7
7.0	28	1.5

Suponiendo que el depósito está lleno (337 millones de m³) al comienzo de una sequía y que no haya entradas adicionales que contribuyan al depósito, un caudal regulado de 7.0 m³/s podría ser mantenido por 557 días (1.5 años). Como hemos visto anteriormente en la Figura 5, las sequías suelen durar más de un año. Por ejemplo, los años 1985-1991 fueron todos por debajo de 7.0 m³/s. Tomando esto en consideración, se sugiere que el caudal regulado sea reducido durante los períodos secos con el fin de proporcionar flujo por más tiempo.

Si suponemos una demanda constante (flujo regulado) de 7.0 m³/s, podemos calcular de la curva de masa acumulativa la capacidad de almacenamiento necesario para sobrevivir una sequía. Para los años registrados, el mayor déficit habría sido en 1977, con un volumen de déficit de 650,000,000 m³. Esto es casi el doble de la capacidad de almacenamiento del depósito propuesto. Basado en nuestro análisis, para proporcionar suficiente espacio de almacenamiento para esta sequía histórica la presa tendría que ser 22.5 m más alta y la superficie del agua cubriría una superficie de 19.5 km². Sin embargo, un depósito de este tamaño en este lugar no es factible, aparte del tiempo que se tardaría en llenar.

Nótese que en la Figura 4, un flujo de 7.0 m³/s corresponde al percentil 28. Si este fuera el caudal regulado, el depósito tendría que proporcionar el flujo restante 72 por ciento del tiempo.

Modelo de Calibración HEC-HMS

Cerca del sitio propuesto para la represa en el río Amina hay un medidor de flujo que ha registrado los datos por 29 años. Para fines de calibración el flujo diario medido fue convertido a un volumen de descarga diario. Con estos datos de flujo hemos determinado los periodos de retorno de caudales de 2.33-, 5-, 10-, y 25-años. Después corrimos el HEC-HMS (Sistema de Modelación Hidrológico) con el 2.33-, 5-, 10-, y 25-años de 24-horas de precipitación de la cuenca, y se comparó el HEC-HMS volúmenes de descarga de 24-horas a los volúmenes de flujo de 24-horas de los datos registrados para los períodos de retorno correspondientes. El error entre los volúmenes de descarga de 24-horas medidos y los volúmenes de descarga de 24-horas de HEC-HMS sin-calibrar se puede ver en la Tabla 4.

Tabla 4: Descarga de 24-horas medida vs. Descarga de 24-horas de HEC-HMS Sin-calibrar

Periodo de Retorno (años)	Volumen de Descarga de 24- horas medidos (m ³)	Volumen de Descarga de 24-horas de HEC-HMS Sin-calibrar (m ³)	Error
2.33	347,000,000	159,000,000	51%
5	541,000,000	253,000,000	51%
10	717,000,000	371,000,000	47%
25	934,000,000	480,000,000	47%

Los resultados de los volúmenes de descarga de 24-horas de HEC-HMS sin-calibrar fueron consistentes alrededor del 50% de los volúmenes medidos, indicando que no se produjo suficiente escurrimiento en nuestro modelo.

En seguida calibramos el modelo HMS a los volúmenes de descarga de 24-horas medidos para los períodos de retorno de 2.33-, 5-, 10-, y 25-años. Los dos parámetros que fueron calibrados fueron el número de curva y la abstracción inicial. Como se mencionó anteriormente, el NC ha sido calibrado para ser 86 basado en las condiciones antecedentes húmedas. Sin embargo, el INDRHI señaló que inflar el NC para calibrar los datos es inusual para la República Dominicana, por lo general se tendrá que reducir el NC para que coincida con los valores medidos. En última instancia se decidió utilizar el NC más alto debido a la importancia de hacer coincidir los datos medidos. La abstracción inicial ha sido calibrado para ser 0.1S en lugar de 0.2S ya que una cuenca saturada no tendrá una gran abstracción inicial.

Una comparación de los volúmenes de 24-horas medidos y los calibrados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5: Descarga de 24-horas medida vs. Descarga de 24-horas de HEC-HMS calibrados

Periodo de Retorno (años)	Volumen de Descarga de 24- horas medidos (m³)	Volumen de Descarga de 24-horas de HEC- HMS Sin-calibrar (m³)	Error
2.33	347,000,000	353,000,000	-8%
5	541,000,000	471,000,000	9%
10	717,000,000	618,000,000	11%
25	934,000,000	736,000,000	19%
50	N/A	1,382,000,000	N/A
100	N/A	1,822,000,000	N/A
PMP	N/A	1,179,000,000	N/A

De la Tabla 5 se puede observar que el error que es inferior al 20% pero parece incrementar a medida que aumenta el período de retorno. Esto sugiere que los resultados del modelo HMS puede no tienen una relación lineal con el flujo medido. Sin embargo, mirando los hidrógrafos de HMS calibrados para todos los períodos de retorno en la Figura 7 se puede observar que, aunque los resultados del HMS para los 2.33-, 5-, 10-, y 25-años parecen aumentar linealmente, hay una gran diferencia entre los períodos de retorno de 25- y 50-años. El error en diferencia disminuiría si hubiese datos medidos disponibles para los eventos de 50- y 100-años.

Con un modelo calibrado estábamos listos para proceder con el análisis.

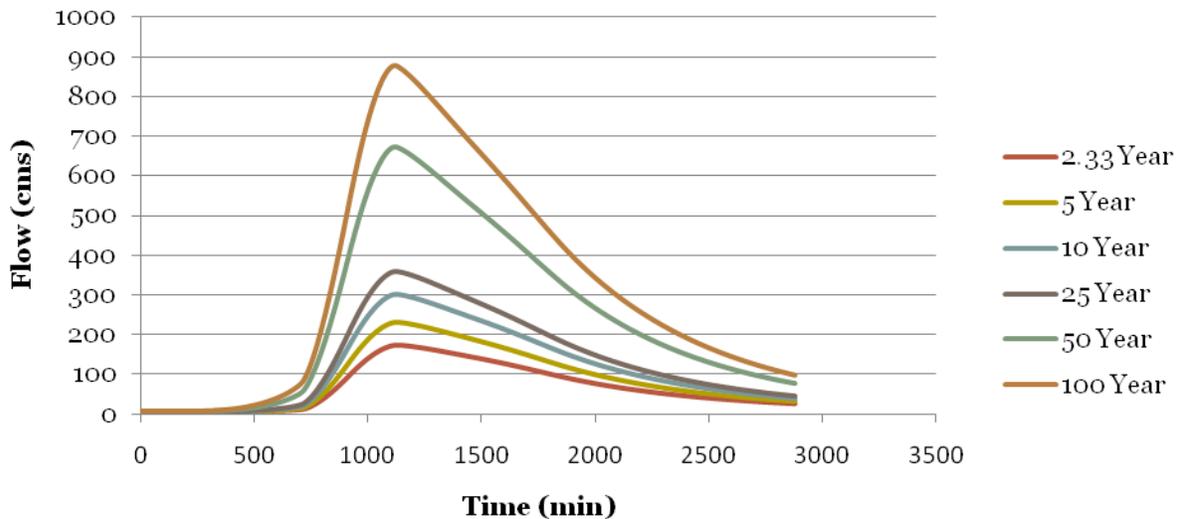


Figura 7: Resultados calibrados del HMS para la tormenta de 24-horas en el sitio propuesto

Control de Inundación

En nuestro análisis hemos desarrollado modelos para comparar escenarios antes y después de tener la presa, examinando la eficacia del embalse para la atenuación de inundaciones y el enrutamiento de flujo. El enrutamiento del embalse se analizó con HEC-HMS, mientras que los escenarios de inundación río abajo fueron evaluados con los modelos de HEC-RAS y GSSHA.

Enrutamiento del Embalse

Con el fin de determinar la capacidad de la presa para control de inundaciones, una curva de elevación de descarga de almacenamiento se desarrolló en WMS para el embalse propuesto. Como se mencionó anteriormente, en los planes propuestos hay un tubo de salida de 2.0 m de diámetro en la base de la presa. Uno de los problemas que nos encontramos en la documentación de la presa propuesta es que la salida de 2.0 m tiene que ser capaz de manejar 100 m³/s de flujo con el fin de reducir el agua en el depósito en la preparación de grandes tormentas. Con una pipa de salida de sólo 2.0 m de diámetro, la capacidad máxima de la tubería cuando el agua está en la elevación de la base del vertedero es sólo alrededor de 65 m³/s. Con el fin de controlar la capacidad de 100 m³/s cuando el agua esté en la elevación de la base del vertedero, la tubería de salida tendría que tener un diámetro de 2.5 m. Al desarrollar la curva de elevación de descarga de almacenamiento en WMS se utilizó un tamaño de tubería de salida de 2.5 m en lugar de 2.0 m de modo que una liberación de emergencia de 100 m³/s podría ser regulada. Además, la curva se ajustó de modo que el almacenamiento muerto y la salida y elevaciones del vertedero coincidiera

con la documentación suministrada. La curva de elevación de descarga de almacenamiento se puede ver en la Figura 8.

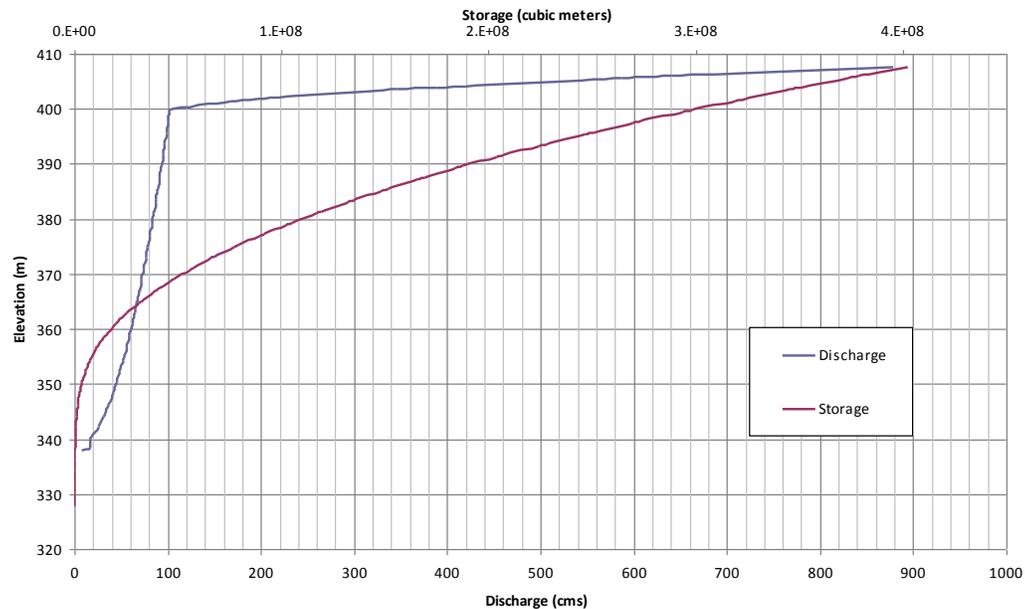


Figura 8. Curva de Elevación-Descarga-Almacenamiento para el embalse propuesto

Examinando la curva de elevación de descarga de almacenamiento se puede observar que justo antes que el nivel del agua alcanza el vertedero a 400 m la descarga es de 100 m³/s (a través de la salida inferior). Cuando el agua alcanza la parte superior del vertedero la descarga salta a 950 m³/s. Además, el almacenamiento en la base del vertedero es de aproximadamente 310,000,000 m³, cerca de los 337,000,000 m³ de almacenamiento útil que se mencionan en la documentación de la presa propuesta.

Los hidrógrafos calibrados de la Figura 7 fueron luego enrutados a través de la presa en el HEC-HMS utilizando la curva de elevación de capacidad de almacenamiento de la Figura 8 con la presa a una capacidad del 75%. Los hidrógrafos de flujo de salida enrutados pueden verse en la Figura 9.

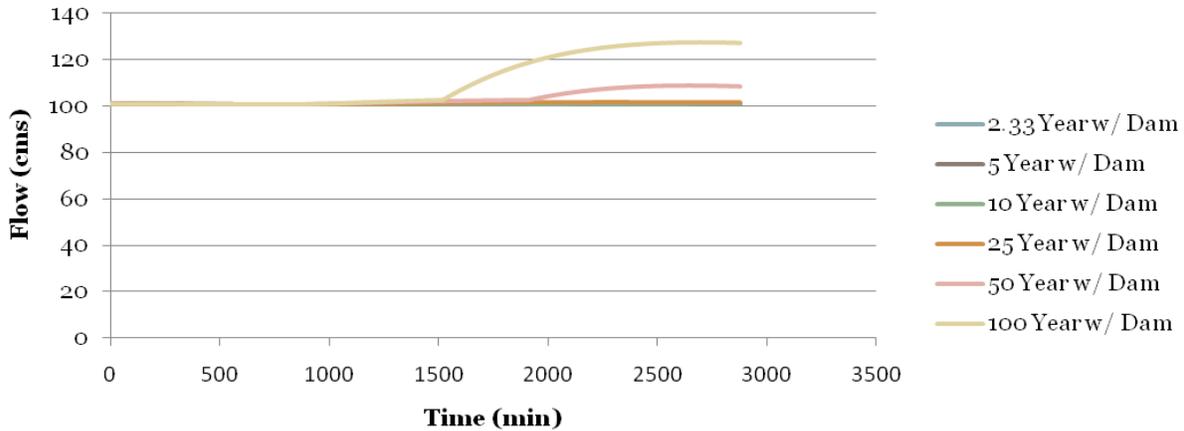


Figura 9: Resultados calibrados del HMS para una tormenta de 24 horas enrutada a través del embalse a una capacidad del 75%

Primero, hay que señalar que el flujo comienza a $100 \text{ m}^3/\text{s}$, porque se supone que antes de una tormenta de gran tamaño, los operadores de la presa iniciarán la liberación de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ en la preparación para la tormenta. Al hacer esto, cuando la presa se encuentra ya en una capacidad del 75% parece una exageración porque ya hay almacenamiento disponible suficiente para atenuar dramáticamente o absorber por completo la inundación de gran tamaño. Sólo podría ser útil liberar los $100 \text{ m}^3/\text{s}$ antes de una tormenta grande, si la presa esta cerca a su capacidad máxima, o si la tormenta es de un período de retorno de 50 años o más. La Figura 9 muestra también que a la capacidad de 75% hay suficiente espacio de almacenamiento en el embalse para absorber por completo las tormentas de 2.33-, 5-, 10-, y 25 años. La Tabla 6 muestra la cantidad de tiempo necesario recomendado para drenar $100 \text{ m}^3/\text{s}$ antes de una tormenta, si el depósito está a plena capacidad a fin de eliminar inundaciones aguas abajo. También muestra la elevación del agua recomendada antes de la tormenta necesaria para atenuar suficientemente la inundación para eliminar inundaciones aguas abajo. Cabe señalar que en esta tabla se supone que durante las tormentas grandes, $100 \text{ m}^3/\text{s}$ se liberarán del embalse.

Tabla 6: Tabla de Preparación para las Tormentas Grandes

Periodo de Retorno (años)	Tiempo necesitado para drenar a $100 \text{ m}^3/\text{s}$ antes de la tormenta para prevenir inundaciones (horas)	Volumen del embalse antes de la tormenta para prevenir inundaciones (m^3)	Elevación recomendada antes de la tormenta (m)
2.33	0.0	285,000,000	398.6
5	1.0	282,000,000	398.2
10	13	277,000,000	397.9
25	22	274,000,000	397.7
50	72	256,000,000	395.8
100	107	243,000,000	395.2
PMP	357	153,000,000	385.0

La tabla muestra que si el embalse está lleno, alrededor de 107 horas (4.5 días) se necesitan para drenar a $100 \text{ m}^3/\text{s}$ para aumentar la cantidad de almacenamiento disponible necesario para eliminar las inundaciones aguas abajo durante una tormenta de 100-años. Como una advertencia con tiempo puede no ser posible, se recomienda que el nivel del agua en el depósito se mantenga 2 a 4 m por debajo del nivel de la base del vertedero en la estación húmeda, para que se necesite menos tiempo para preparar el depósito para tormentas de gran tamaño.

La Figura 10 muestra la atenuación del PMF (Probable Maximum Flow) si el embalse está al 75% de su capacidad.

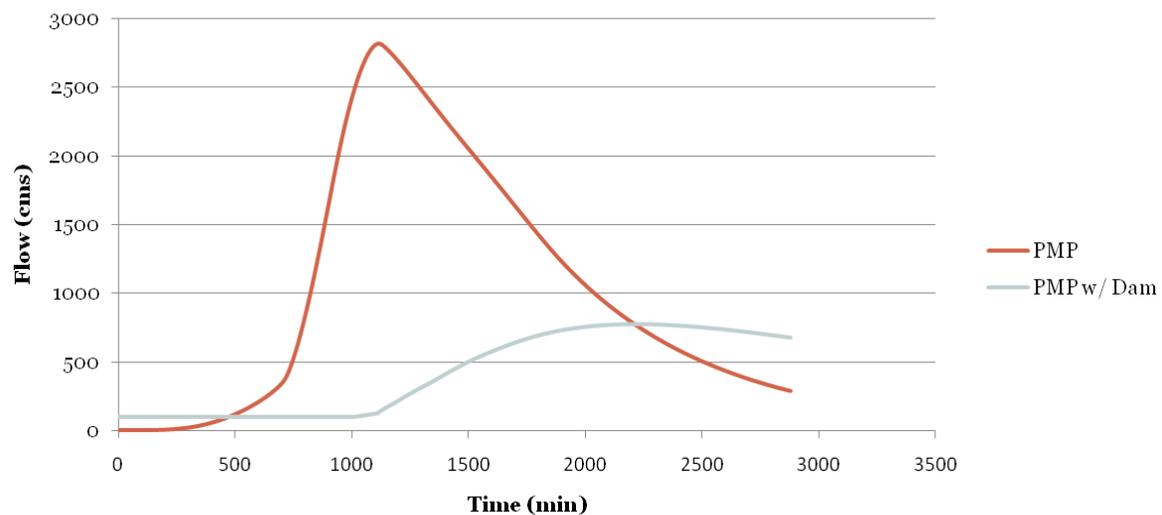


Figura 10. Hidrógrafo del PMF con el embalse a una capacidad del 75%

Si el embalse está a menos del 75% de su capacidad, hay suficiente capacidad para absorber gran parte de la PMF y atenuar el hidrógrafo. De esta manera, el enrutamiento del depósito reduciría el flujo máximo PMF de $2800 \text{ m}^3/\text{s}$ a $750 \text{ m}^3/\text{s}$. Sin embargo, si el embalse está por encima de una capacidad de 75%, entonces es probable que un desbordamiento de la presa suceda en el caso de un PMF. Si los operadores de la presa prefieren que la presa tenga una capacidad suficiente para manejar un PMF, se recomienda que el embalse no esté por encima de la capacidad del 75% antes de una tormenta.

Modelo de Inundación con HEC-RAS

Para modelar la protección de inundaciones que la presa ofrecería a Amina y otras ciudades aguas abajo, HEC-RAS (Sistema de Análisis de Río) se utilizó junto con WMS. Cabe señalar que datos para la sección transversal del estudio no estaban disponible, por lo tanto, se extrapolaron los datos de elevación de un DEM (Modelo de Elevación Digital) de 30-m, y luego se insertó manualmente una estimación de la geometría del canal en las secciones transversales. Esto

significa que los resultados son una estimación muy aproximada del potencial de inundación. La Figura 11 muestra las secciones transversales que se utilizaron en el modelo 1D.

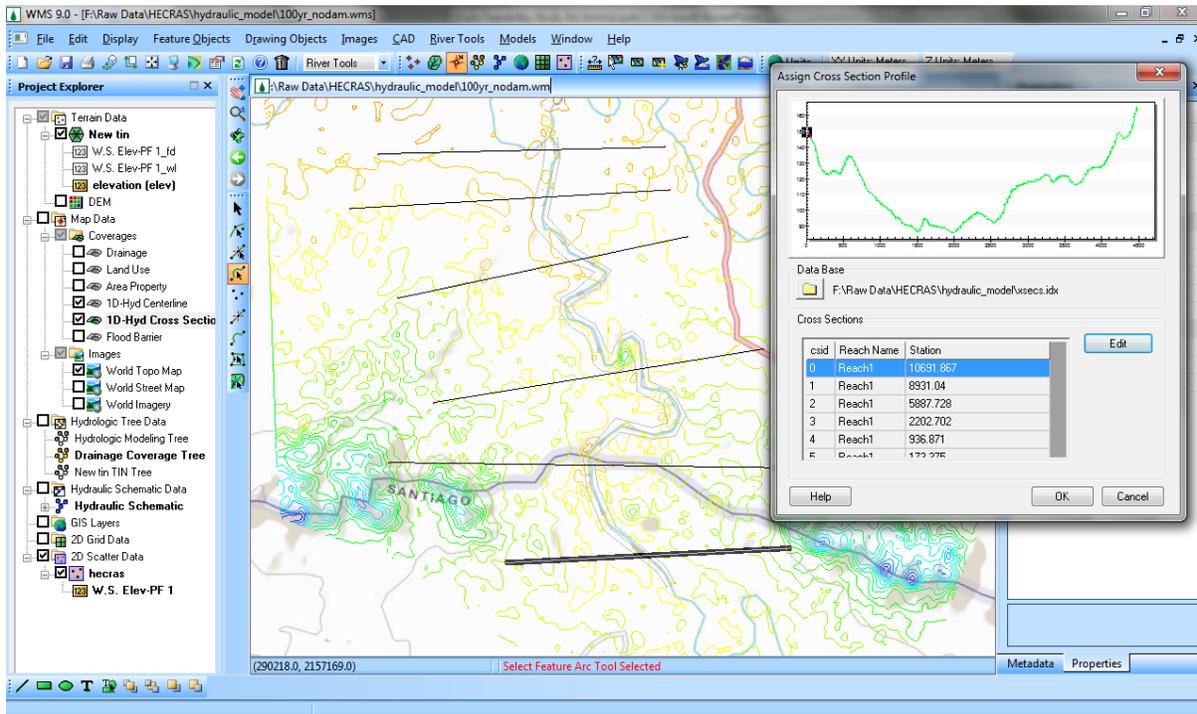


Figura 11. Secciones transversales de Amina que fueron extrapoladas del DEM en WMS y luego insertadas en HEC-RAS

El modelo HEC-RAS fue ajustado para ser la variable estable en dos escenarios diferentes. En primer lugar, se utilizó un caudal máximo de 100-años por 24-horas sin la presa para mostrar las inundaciones que se producirían en la ciudad de Amina si no hay presa construida. Después, se utilizó un caudal máximo de 100 años de 24 horas con la presa y el embalse con una capacidad del 75% para mostrar las inundaciones que se producirían en la ciudad de Amina si la presa fue construida. Los resultados pueden verse en las Figuras 12 y 13.

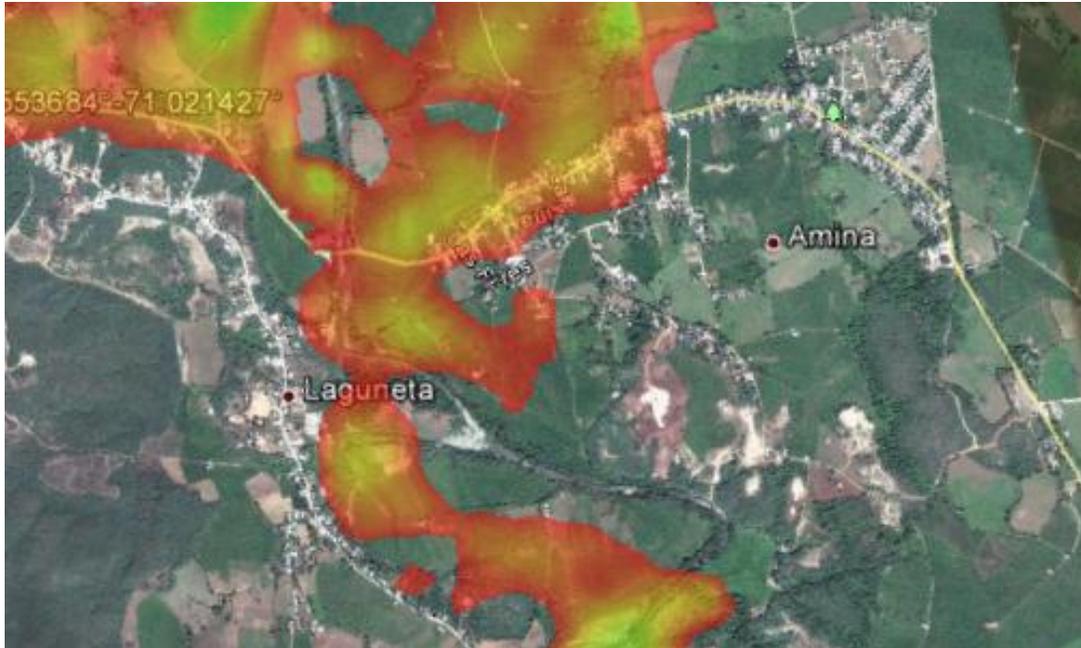


Figura 12. Inundaciones en la ciudad de Amina durante una tormenta de 100-años por 24-horas sin la presa propuesta

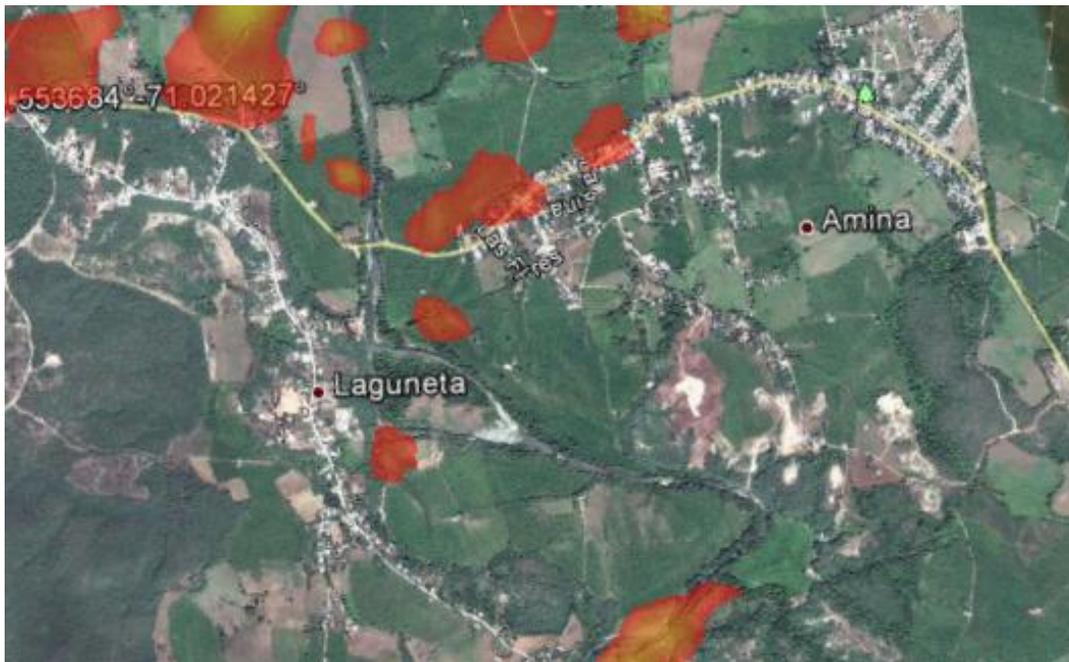


Figura 13. Inundaciones en la ciudad de Amina durante una tormenta de 100-años por 24-horas con la presa propuesta y a al 75% de la capacidad del embalse

De las figuras 12 y 13 podemos observar que el embalse y presa propuestos reduciría significativamente inundaciones en el caso de una tormenta de 100-años por 24-horas. Mientras que Amina y Laguneta son los pueblos que se verán más afectadas por la capacidad de control de inundaciones de la presa, muchas otras comunidades pequeñas de agricultores también se beneficiarían. Cabe señalar que las capacidades de control de inundaciones dependen tanto de la disposición de los operadores de represas para liberar agua antes de una tormenta grande y de la cantidad de almacenamiento disponible en el depósito. Dependiendo de estos factores, las inundaciones en Amina podría ser mucho mayor o inexistente por completo con la misma tormenta de 100-años por 24-horas.

Modelo GSSHA de Inundación Causada por Ruptura de la Presa

Además de modelar las tormentas de gran tamaño, también se modeló un escenario de ruptura de la presa usando el modelo GSSHA (Gridded Surface-Subsurface Hydrologic Analysis), Análisis Hidrológico de Superficie y Subsuelo por Cuadrícula. El modelo GSSHA utiliza física para formar modelos hidrológicos y hidráulicos en 2D. GSSHA opera en una cuadrícula, donde los cálculos de escorrentía y de otro tipo se realizan en cada celda. Un área aguas abajo de la presa se modeló utilizando un tamaño de celdas de 200 m. El modelo cuadrícula puede verse en la Figura 14.

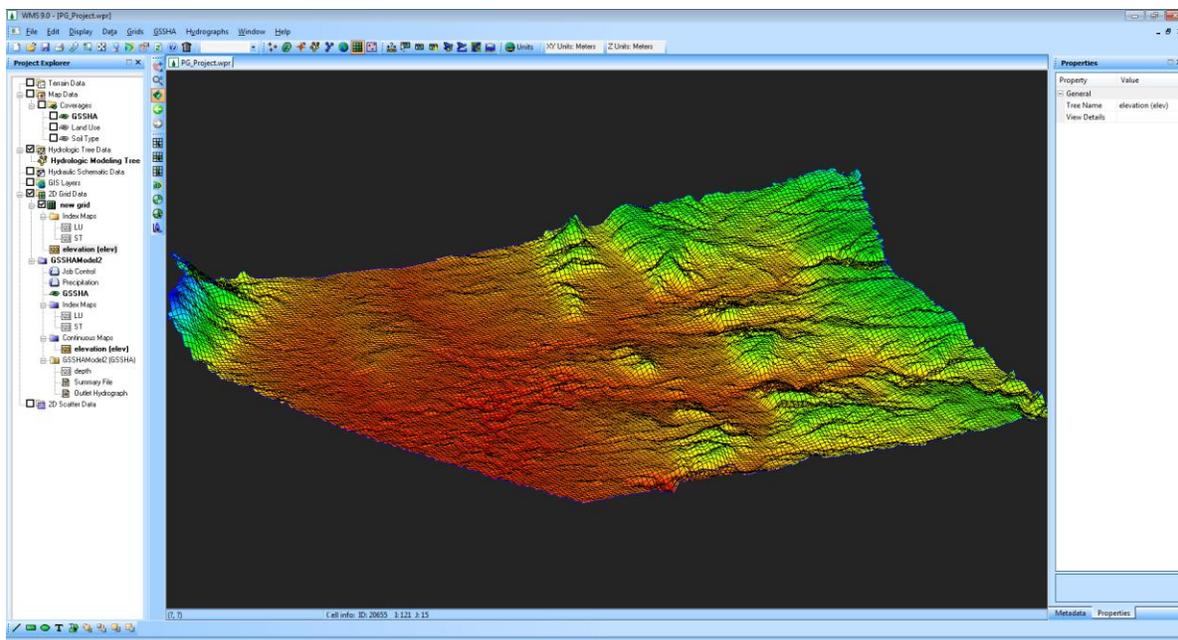


Figura 14. Modelo GSSHA cuadrícula aguas abajo de la presa propuesta en Amina

Tipo y rugosidad de suelo se asignaron al modelo utilizando shapefiles del Sistema de Información Geográfica (SIG). La ruptura de presa se modeló creando una condición límite de

arco en la ubicación de la presa. Una gráfica de tiempo contra la elevación de la superficie del agua fueron ingresados en la condición límite usando una función de tipo convexa genérica decreciente. La gráfica se calibró a la capacidad de almacenamiento del embalse incrementando el tiempo antes de la ruptura de la presa. El tiempo de la falla de la presa terminó siendo aproximadamente 4 horas de duración. Los resultados se exportaron como una animación a Google Earth. Imágenes de la inundación máxima en las comunidades aguas abajo se puede ver en las Figuras 15 y 16.

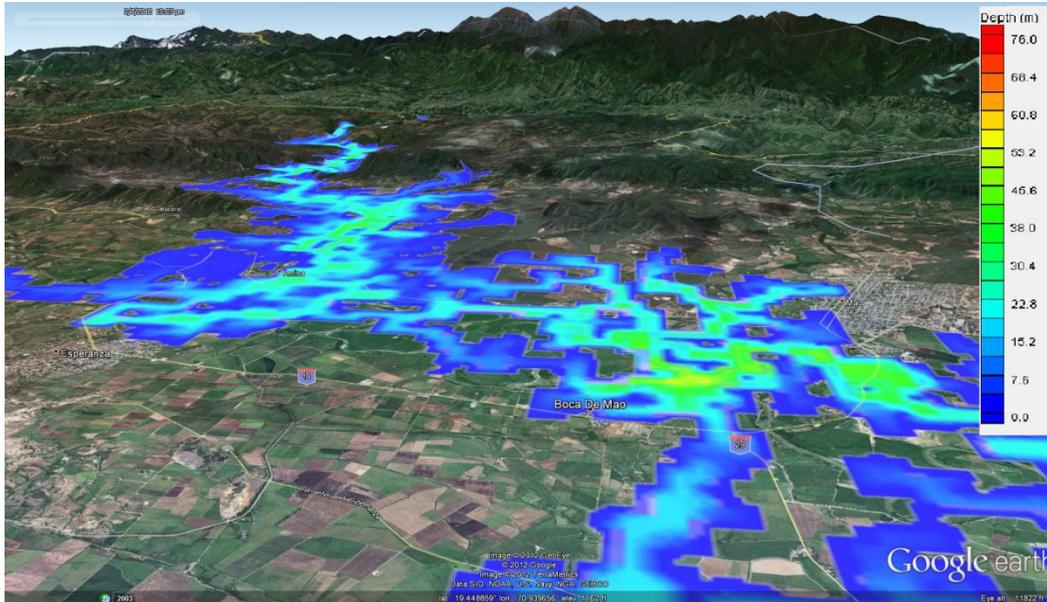


Figura 15. Resultados del análisis GSSHA de la ruptura de la presa para comunidades aguas abajo de la presa

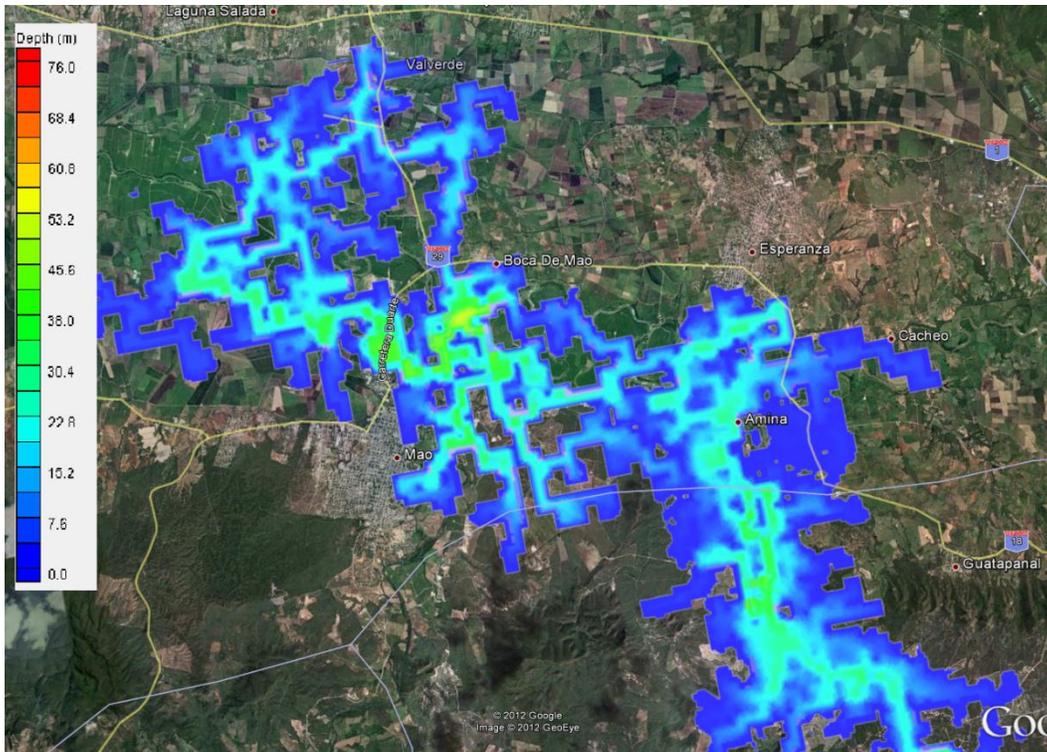


Figura 16. Resultados del análisis GSSHA de la ruptura de la presa para comunidades aguas abajo de la presa

De acuerdo con nuestro modelo, los pueblos que serían completamente sumergidos por las inundaciones por la ruptura de la presa son Amina y Laguneta. Los pueblos y ciudades que tendrían una gran inundación pero no serían sumergidas son Boca de Mao, Cacheo, y Mao. Habría pequeñas inundaciones en Esperanza.

Energía Hidroeléctrica

Según el INDRHI, el objetivo principal del embalse de Amina sería para proporcionar energía eléctrica. Sin embargo, debido a falta de información sobre la elevación de admisión, ubicación de la planta, y la diferencia en presión, no pudimos proporcionar resultados significativos sobre este tema.

Evaporación

Nuestro estudio de viabilidad no estaría completo sin una discusión sobre la evaporación. De acuerdo con el INDRHI, la evaporación de bandeja en la zona asciende a 1700 mm/año. Cuando se aplica a un depósito del tamaño discutido (con una superficie máxima de 14 km²), esto equivale a una pérdida de 24,000,000 de m³ al año, suponiendo un coeficiente de bandeja de 1.0, o cerca del 7 por ciento de la capacidad utilizable. Por supuesto, la evaporación del depósito es siempre menor que la evaporación de bandeja, pero no obstante representa una pérdida significativa en el balance de agua.

Sedimentación

Entendemos que experiencias pasadas en la República Dominicana, especialmente en el caso de Aguacate, sugiere que la sedimentación en los embalses es una preocupación importante. Una propuesta a escala completa para el depósito de Amina debe incluir consideraciones para la prevención de sedimentación, control y mantenimiento, pero está fuera del alcance de nuestro trabajo.

Conclusión

Desde el punto de vista hidrológico el Embalse de Amina es factible. Históricamente, hay suficiente agua para proporcionar el caudal regulado propuesto, con reducción en el caudal durante la fase de llenado y periodos de sequía. La construcción de una presa permitirá el almacenamiento de agua para las sequías y mejorará la fiabilidad de caudal para las regiones aguas abajo. El embalse también proporcionará considerable protección contra las inundaciones y ofrecerá potencial para el desarrollo de energía hidroeléctrica. Factores geológicos y estructurales también deben ser considerados, junto con asuntos no técnicos, tales como el desplazamiento de los residentes locales, pero en nuestra opinión el proyecto es factible y beneficioso desde el punto de vista hidrológico.