

Embalse del Rio Boba



Michael J. Burns II

Guillermo Bustamante

J. James Peterson

Resumen Ejecutivo

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) en la Republica Dominicana planea en construir una presa en el Rio Boba. En 1975 INDRHI comenzó la construcción de 8 km de canal con propósito de riego. Dicha construcción paro en 1980 dejando solo el canal. Nuestro proyecto analiza la factibilidad de la construcción de una represa que sirva para riego, generación de energía eléctrica, control de inundación, y acueducto. Concluimos que la represa construida en el Rio Boba podrá ser llenada en aproximadamente 2 años, dependiendo de la precipitación que ocurra en esos 2 años. La demanda que hay rio abajo será satisfecha durante el tiempo que tarde la presa en llenar. La presa también podrá sostener el caudal ocasionado por alguna tormenta tropical o huracán.

Introduction

La Republica Dominicana es un país con muchos recursos naturales. Agua es uno de estos recursos. El agua es usada para riego y consumo entre muchos otros. El uso apropiado es importante para su conservación. Este proyecto da detalles de factibilidad para la construcción de un presa en el Rio Boba.

Dicha presa será de mucha ayuda para la conservación del agua en el área. La presa proveerá almacenamiento, prevendrá inundaciones, genera energía hidroeléctrica, regulara el caudal en el rio, y serviría para la protección de la fauna y flora del área.

Este proyecto de factibilidad se enfoca en la siguientes áreas: condiciones hidrológicas, climatológicas, disponibilidad de agua, balance hídrico, y control de inundación. Mientras este

reporte no es comprensivo por naturaleza, los datos generados servirán para la decisión de la construcción de la presa en el Rio Boba.

Los objetivos del proyecto descritos a continuación fueron creados con la meta de mejorar la disponibilidad del agua usada para el riego y tomar ventaja de la generación de energía hidroeléctrica.

- Las evaluaciones técnicas propuestas en la presa fueron basadas en:
 - Las características hidrológicas de la cuenca (la delineación de la cuenca y la computación de sus parámetros)
 - Patrones climáticos (Análisis de los datos de precipitación)
 - Régimen del cauce (Análisis de los datos del cauce del rio)
- Computo de la disponibilidad del agua y el balance hídrico
- Competición del análisis del control de inundación



Figura 1. Ubicación satelital de la Cuenca de Rio Boba en la Republica Dominicana

A continuación en la Figura 2 se puede observar la ubicación y tamaño del embalse basado en análisis previos dirigidos por el INDRHI.

Datos Climatológicos: Los datos climatológicos serán usados para desarrollar condiciones “típicas” de inundaciones. Estos datos serán adquiridos de archivos históricos recolectados en estaciones cercanas a la Cuenca. Los datos serán usado para calibrar el modelo de la Cuenca creado en WMS.

Control de Inundaciones: El aspecto del control de inundaciones en este proyecto identificara las ubicaciones donde existe alto riesgo de inundación. Estas áreas serán propensas a inundación en caso de que en una gran tormenta la capacidad del embalse sea excedido. Esto permitiría la aplicación de técnicas de mitigación en caso de que una inundación ocurra. Este análisis se hará usando ArcGIS 10, WMS, y otros métodos de predicción de inundaciones.

Para la mejorar la disponibilidad de agua para el riego y usando esta disponibilidad para la generación de energía hidroeléctrica, nuestro equipo primero colectara los datos necesarios. Esto ayudaría a la comprensión de los ciclos hidrológicos del área de estudio, ya que basado en los datos históricos se podrá hacer con mayor precisión la simulación de distintos escenarios en un futuro. Todo los análisis que se harán en este proyecto serán basados en el entendimiento de los datos colectados, por ende, el entendimiento de los ciclos hidrológicos del áreas son vital para este proyecto.

Discusion de los resultados

Del modelo construido en WMS se obtuvo la delineación de la Cuenca y las características que necesitábamos para hacer el análisis. La Figura 3 muestra la deliniacion de la Cuenca.

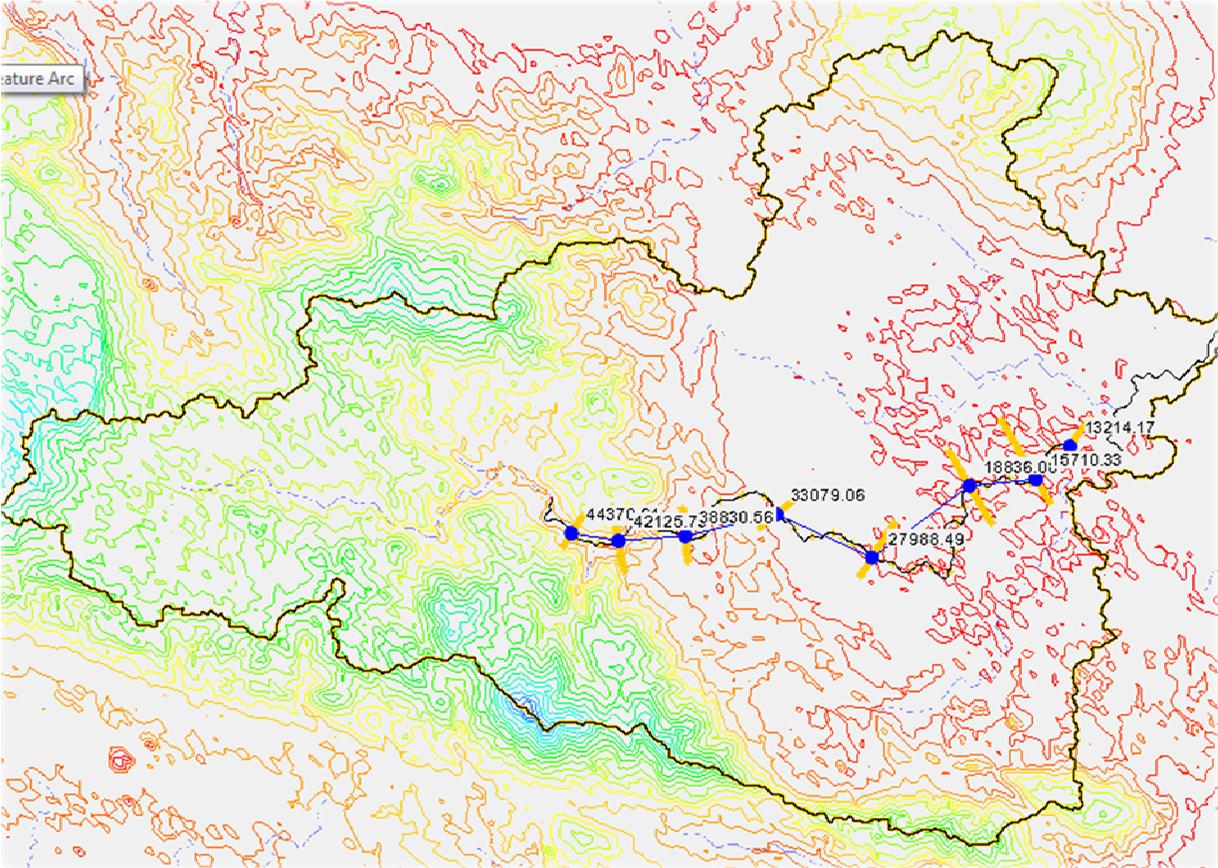


Figure 3. Cuenca deliniada

Uno de los aspectos claves de este proyecto fue determinar el riesgo de inundación en caso de que presa llegase a fallar. Este análisis fue hecho usando WMS y HEC-HMS. Donde dos tipos de simulación de inundaciones fueron creados en WMS usando la herramienta de Ruptura Simplificada de la Presa (SMPDMBRK). El uso de esta herramienta está basado en el área del corte transversal del río, aspereza de la superficie, inclinación, y las características de la presa de estudio. Varias de las características incluyen: longitud de la presa, etapa en que el embalse se encuentra, tiempo al que la presa falla, tipo de la estructura de la presa, y la capacidad de las válvulas de escape de la presa. La ubicación seleccionada para la presa dio buenos resultados en el modelo. Los resultados son más exactos en la porción aguas arriba del río, justo debajo de la

pared de la presa dado al brusco cambio de elevación en ese punto. A medida que el cauce del río fluye aguas abajo se hace más difícil simularlo en el modelo ya que el cambio de elevación en la planicie no es tan significativo.

El Segundo modelo fue creado para simular una falla catastrófica de la presa. Este modelo fue construido usando cuadrículas en GSSHA. Se usó un área de 200 m^2 en cada cuadrícula en GSSHA. La elevación inicial de la presa era 255 metros sobre el nivel del mar. La base de la presa está ubicada a 205 metros sobre el nivel del mar, dejando una diferencia de elevación de 50 metros, dicha diferencia fue simulada sobre 90 minutos. La dificultad en esta simulación fue asegurarse que el volumen de agua que salió del embalse en esos 90 minutos no excediera 105,000 acre-feet de máximo almacenamiento que abría en el embalse al momento de la ruptura. La derivación del gráfico de elevación vs. tiempo fue calibrada manualmente. Mientras que los valores exactos no se saben, la estimación no excede la capacidad máxima de almacenamiento a cualquier tiempo dado.

La desigualdad de la superficie, inclinación, y precipitación fueron consideraciones tomadas en la construcción del modelo. Nuestro equipo asumió la misma desigualdad de la superficie en todo el modelo. Este valor fue usado en la ecuación de Manning para calcular el tiempo y la velocidad del caudal de inundación. El promedio del valor de desigualdad fue 0.1. La inclinación y cambio en elevación son calculados automáticamente usando el modelo en GSSHA. Para poder modelar la zona de captura y el efecto que el río y quebrada tendrían en el caudal de inundación se usó un canal de trapecioide con una desigualdad de superficie promedio de 0.04. Las dimensiones de río arriba fueron 6 metros de ancho y 2.5 metros de profundidad. Las dimensiones río abajo fueron un poco más largas, 10 metros de ancho y 5 metros de profundidad. Se observó que el modelo de inundación es menos susceptible a estos parámetros dado a los

valores extremos del caudal bajo una inundación. Para correr el modelo GSSHA se requiere que haya presente precipitación. El propósito de nuestro modelo era simular la ruptura de la presa y no la precipitación. Usamos un valor de precipitación de 0.05 mm por hora en una tormenta de 24 horas. Una vez más, este valor fue usado para poder correr el modelo GSSHA. También es notable que el pequeño valor de humedad contribuirá al suelo mojado y sería válida para la representación de un caudal moviéndose rápido.

Comparando los resultados de ambos modelos se puede observar que la porción río arriba son bien similares en la delineación de la zona de inundación. El modelo SMPDMBRK está basado en el radio alrededor del canal. Esta asunción es mejor para zonas de inundación cerca de valles y canales bien definidos. Ambos de los modelos de inundación creados fueron útiles para determinar los límites y tiempo de traslado de la inundación. Determinamos en nuestro modelo GSSHA que el caudal de inundación inicial llegaría a la zona de cultivación de arroz en 25 minutos después de la ruptura de la presa. También se observó que el caudal u ola de inundación llegaría a la población más cercana aproximadamente 2 horas 15 minutos después de la ruptura de la presa. Hay una población grande llamada Nagua localizada algunos kilómetros al sur de la desembocadura del Río Boba en el Océano Atlántico. La inundación no tendría mayor impacto en esta población.

La Figura 4 y 5 muestran capturas de pantalla del modelo GSSHA.

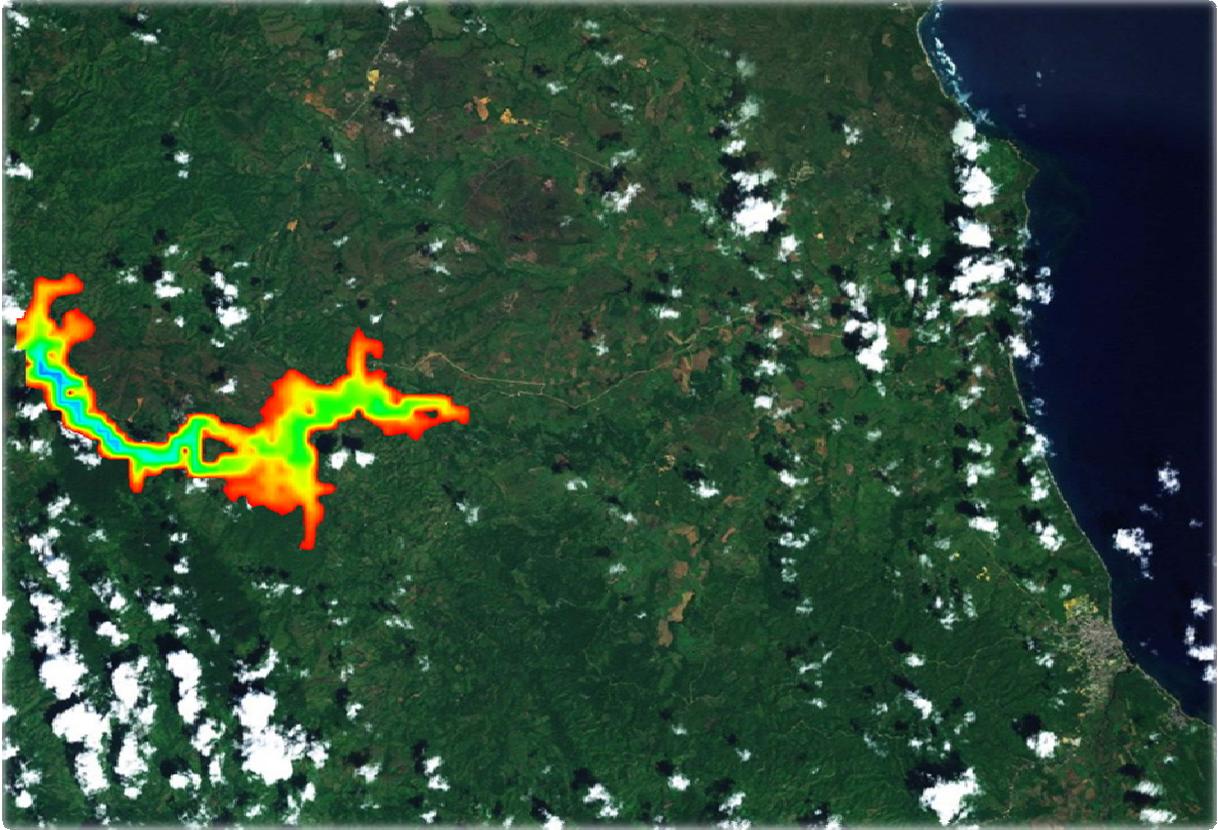


Figure 4. Modelo GSSHA ola de inundación en la zona montañosa.

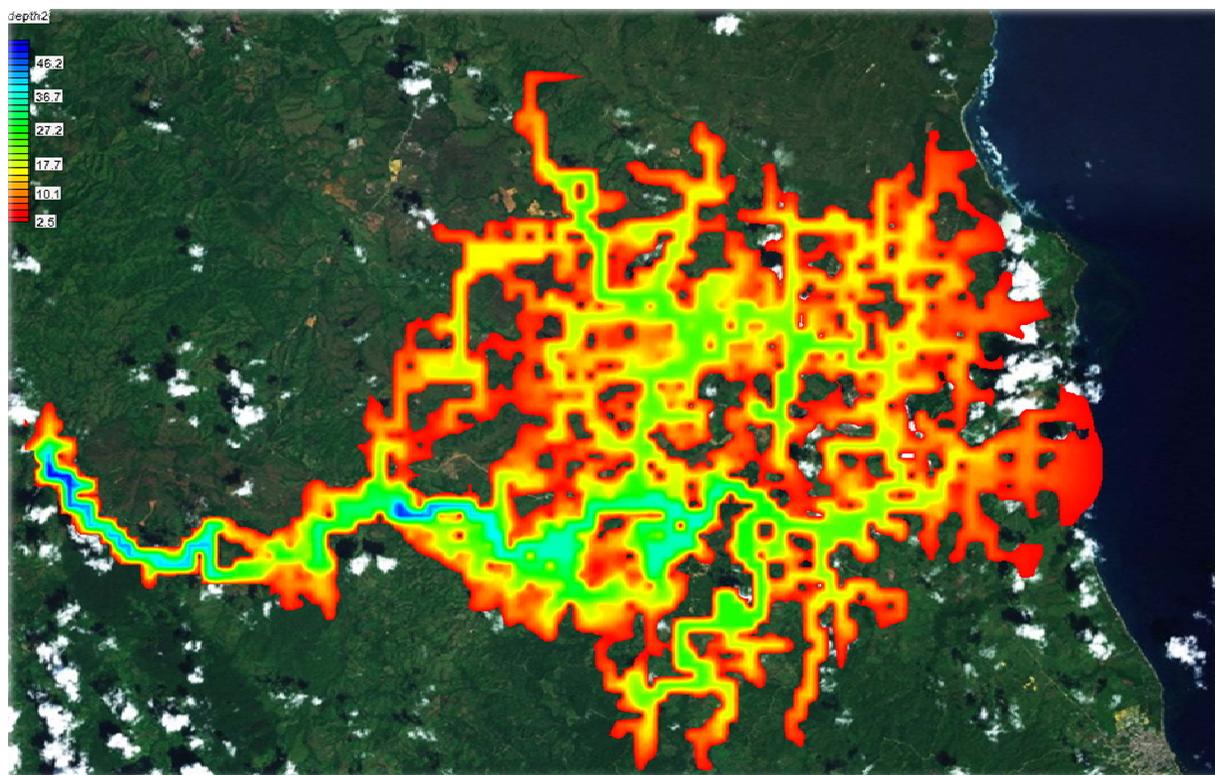


Figure 5. Modelo GSSHA ola de inundación

Nuestro proyecto también incluye una simulación en HMS del PMP del área y un PMF en la desembocadura del río. Se encontró que el valor del PMP es de 600 mm en un periodo de 24 horas. Estos valores fueron tomados de NOAA. No había data designada específicamente a la República Dominicana. Nuestro equipo aplicó el PMP de Puerto Rico bajo la asunción que las tormentas tropical se asemejan en ambas islas.

Para poder establecer nuestro modelo en HMS creamos un desagüe en nuestro modelo de WMS cumpliendo con ciertas condiciones que se asemejaran a las especificaciones propuestas en la presa y embalse del Río Boba. Una curva de almacenamiento se obtuvo usando el modelo de elevación digital. También se definieron características en el desagüe, aliviadero, y la cresta

de la presa. Se incluyó dos tubos de desagüe de 4 metros cada uno al fondo del de la presa y 10 metros de aliviadero 2 metros por debajo de la elevación de la cresta. La cresta o tope de la presa fue definida como un vertedero de 200 metros para que se pudiera medir el caudal que pudiese haber en una inundación extraña. Estas características exactas quizá no sean incluidas en la presa, pero simulan una cantidad razonable de caudal que pudiera ser liberado durante el un evento PMP. Para general el escurrimiento del PMP se usó un numero de curva SCS de 68.5 para el método de perdida y el método de transformación de Clark con un tiempo de lapso y un coeficiente de almacenamiento de 3.45 horas y 10.5 respectivamente. Determinamos estos parámetros eran conservativos confiando en la experiencia del Ingeniero James Peterson cuando visito la área de Jungley en la Republica Dominicana. Comenzamos la simulación en HMS con el embalse a 75% lleno y dejamos pasar el PMP sin problemas. Sin mucha más investigación nos dimos cuenta que con estos parámetros el embalse necesitaba 24.7 millones de metros cúbicos de almacenamiento para que pudiera retener el PMP sin ningún problema.

En la Figura 6 se muestra el caudal en la presa para tormentas de 10, 50 y 100 años en el modelo de HMS.

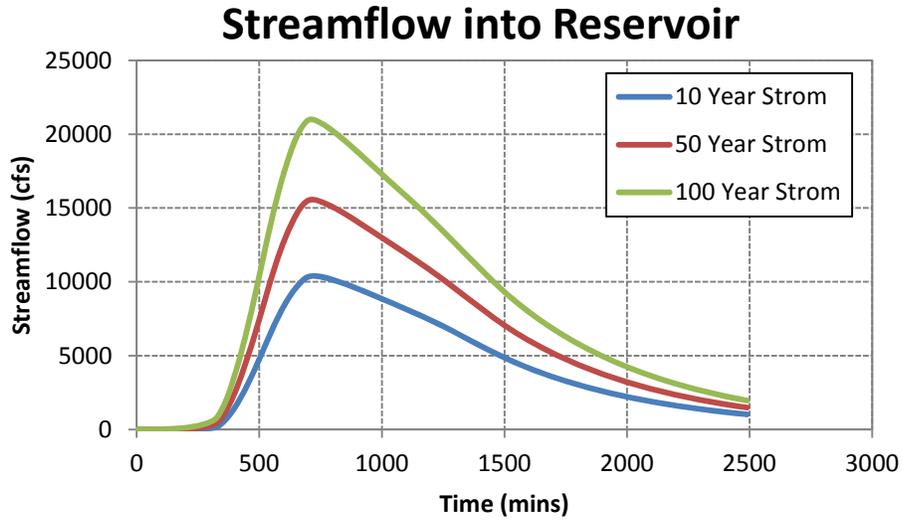


Figura 6. Caudal en el embalse en el Modelo de HMS

Para el agua disponible y los cálculos del balance hídrico se usaron valores diarios de caudal desde 1968 hasta 1995, y datos de precipitación desde 1975 hasta 2004. Comparamos estos datos con el análisis usando la herramienta de Blake. Esta herramienta usa ecuaciones de regresión estadísticas para analizar datos de ríos cercanos y compararlos con la ubicación deseada. Ambos métodos dieron los mismos resultados, lo cual indica que se pueden usar ambos métodos para calcular la curva de duración.

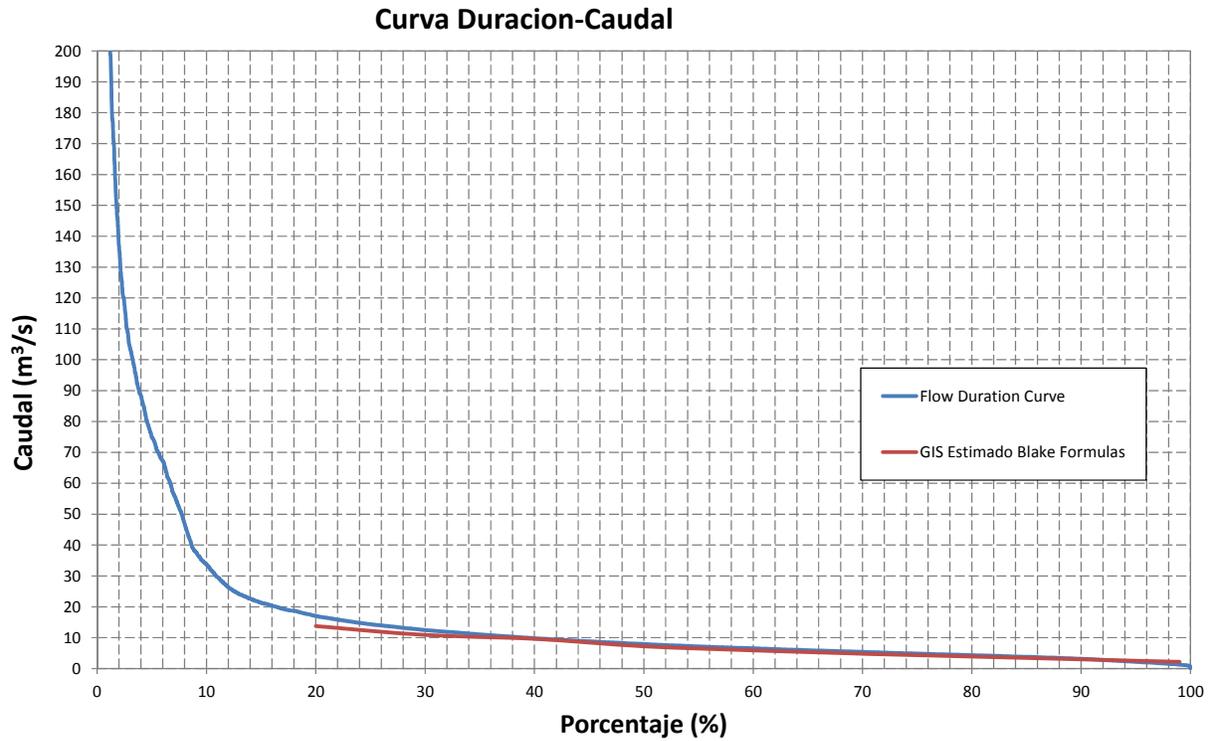


Figure 7. Comparación de la Curva de Duración

Desarrollamos una curva de valores acumulados sobre el periodo de tiempo que teníamos. Creamos una línea representando la demanda de agua que se necesita del embalse en promedio. La Figura 8 muestra la curva de valores acumulados.

Curva de valores acumulados

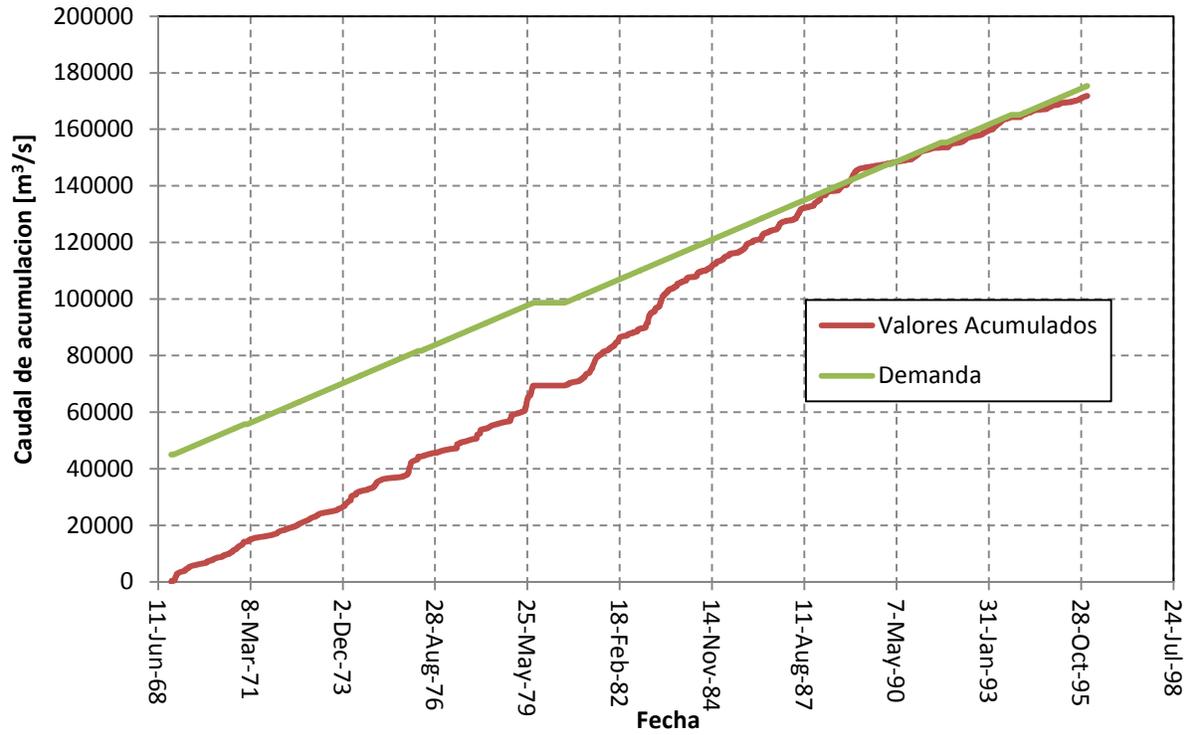


Figura 8. Curva de Valores Acumulados

Usando los datos de la curva de valores acumulados y la curva de duración, y aplicando ecuaciones hidrológicas hicimos un balance hídrico y calculamos el tiempo que tardaría la el embalse en llenarse usando el programa Mathcad.

Balance Hídrico

$$Area_{embalse} := 3000 \text{ acre}$$

$$Area_{cuenca} := 384 \text{ km}^2$$

$$P_{anual} := 2150 \frac{\text{mm}}{\text{yr}}$$

$$Escorrimento := 11.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$E_{anual} := 1.317 \frac{\text{m}}{\text{yr}}$$

$$P := P_{anual} \cdot Area_{embalse} = 0.827 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$R := Escorrimento = 11.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$E := E_{anual} \cdot Area_{embalse} = 0.507 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Riego := 10 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$R_1 := Riego$$

$$\Delta s := P + R - E - R_1 = 2.22 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Figure 9. Balance Hídrico usando Mathcad

Tiempo que tarda la presa
en llenarse

$$\Delta s = 2.22 \frac{m^3}{s}$$

Volumen := 105000 acre · ft

$$Tiempo := \frac{Volumen}{\Delta s} = 1.848 \text{ yr}$$

Figure 10. Tiempo que tarda en llenarse el embalse

Nuestros cálculos indican que el embalse tardaría aproximadamente 2 años en llenarse. Esto dependerá en la cantidad de precipitación que haya por año durante estos 2 años. Sin embargo, basado en el promedio anual del caudal del río, el embalse se llenara durante esos 2 años y podrá seguir supliendo a las poblaciones río abajo manteniendo su caudal promedio. La presa tendrá que ser vaciada al 80% de capacidad para poder soportar un evento de PMP.

Conclusion

Hemos concluido que la presa que se construya en el Rio Boba podrá llenarse en aproximadamente 2 años dependiendo de la precipitación durante ese periodo de tiempo. También encontramos que la demanda de agua rio abajo podrá ser satisfecha durante este periodo de tiempo. El embalse también podrá sostener el caudal que pueda originar alguna tormenta tropical.