



# Estudio hipotético de la rotura de la cortina de la presa Yosocuta, Oaxaca

## Hypothetical study of the rupture of the curtain of the Yosocuta dam, Oaxaca

Oscar Jesús Llaguno Guilberto<sup>1\*</sup>, Jairo Valente Gutiérrez Sosa<sup>2</sup>, Juan Manuel Figueroa Mendiola<sup>1</sup>, Jomaelah Morales Rayo<sup>1</sup>, Juan Maldonado Silvestre<sup>1</sup>, José Manuel Rodríguez Varela<sup>1</sup>, Eduardo López López<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnahuac no. 8532, C.P. 62550, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos.

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de Tehuacán, Libramiento Tecnológico S/N-A.P. 247, Santa María Coapan, Sta María Coapan, 75770 Tehuacán, Puebla

### Historial

Manuscrito recibido: 7 de diciembre de 2023

Manuscrito aceptado: 22 de agosto de 2024

Manuscrito publicado: agosto 2024

### \*Autor para correspondencia

Oscar Jesús Llaguno Guilberto

e-mail: oscar\_llaguno@tlaloc.imta.mx.

ORCID: 0000-0002-9239-8081

### Resumen

La presa Yosocuta se encuentra en la región Mixteca de Oaxaca, fue construida para fines agrícolas y para controlar el caudal del río Mixteco para regar y extraer agua para consumo humano a los municipios cercanos. El presente estudio se centra en realizar una rotura a la cortina de la presa con el objetivo de conocer la magnitud del evento hacia aguas abajo, mediante la metodología para la rotura de presas de Blade (2014) y adaptada por Nava *et al.* (2019). Se realiza la construcción del modelo de simulación hidráulico de escurrimientos superficiales, resultando que se vierten al río 26.06 hm<sup>3</sup> con una descarga pico de 3835 m<sup>3</sup>/s y se presentan problemas de inundaciones en las comunidades de San Marcos Arteaga, Natividad, Santo Domingo Tonalá y Yetla de Juárez.

**Palabras clave:** simulación 2d, inundación, presa, rotura, Iber

### Introducción

El presente estudio tiene como finalidad determinar los daños probables generados ante la hipotética rotura de la cortina de la presa Yosocuta ubicada en el municipio de Huajuapán de León, Oaxaca, sobre el río Mixteco (**Figura 1**). Para este análisis se requiere crear un modelo hidráulico de simulación bidimensional preciso, mediante recopilación de información, que permita representar las consecuencias hacia las comunidades aguas abajo del reservorio.

La presa Yosocuta fue construida entre los años 1934 a 1940, e inaugurada el 30 de noviembre de

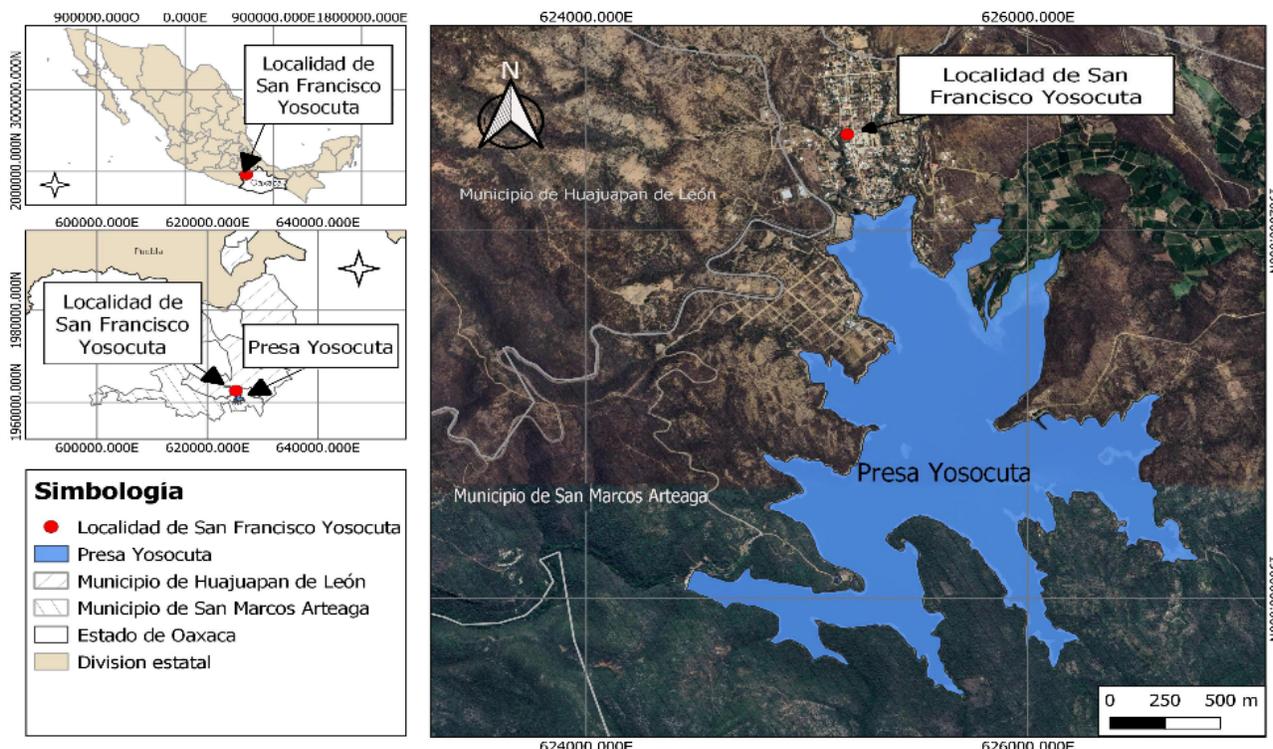
### Abstract

The Yosocuta dam is located in the Mixteca region of Oaxaca, it was built for agricultural purposes and to control the flow of the Mixteco river to irrigate and extract water for human consumption to nearby municipalities. The present study focuses on breaking the dam curtain with the objective of knowing the magnitude of the event downstream, using the methodology of Blade (2014) and adapted by Nava *et al.* (2019). The construction of the hydraulic model simulation of surface runoff is carried out, resulting in around 26.06 hm<sup>3</sup> being discharged into the river with a peak discharge of 3835 m<sup>3</sup>/s and flooding problems in the communities of San Marcos Arteaga, Natividad, Santo Domingo Tonalá and Yetla de Juárez.

**Keywords:** 2d simulation, Inundation, dam, break, Iber

1970. La vida útil prevista para este proyecto fue de 25 años, la cual depende del volumen de azolve dentro del embalse que reduce el almacenamiento y perjudica el desempeño (Acosta, 2021). En el periodo de 1987-1992, se realizó la construcción del sistema de extracción y purificación para abastecer a los municipios de Huajuapán de León, Santo Domingo Tonalá, San Marcos Arteaga, San Jorge Nuchita, y San Agustín Atenango (Toledo *et al.*, 2008).

De acuerdo al informe realizado por la comisión integrada por Toledo y otros (2008) dirigido a la Comisión Nacional de Agua (Conagua) con el



**Figura 1.** Ubicación de la Presa Yosocuta.

objetivo de solicitar apoyo para el mantenimiento de la presa, se encontraron las siguientes problemáticas: 1) Contaminación producida por el vertimiento de aguas residuales proveniente de las poblaciones aguas arriba. 2) Pérdida de volumen de agua por el uso del sistema de riego por gravedad empleado para los cultivos, que termina siendo vertida en las barrancas. 3) La deforestación provoca que las lluvias arrastren el suelo de la cuenca del Río Mixteco, causando un alto nivel de azolve, alcanzando un 38% en el año 2008.

El 1 de abril del 2016, según Conagua en la cortina de la presa Yosocuta se observan filtraciones de agua en forma de manchas de humedad entre la conexión del terreno natural y la cortina de la presa (SRI, 2016). Dadas estas consideraciones, el propósito de este trabajo es notificar de los riesgos a los que se exponen los habitantes aguas abajo de la presa, que se encuentran en una zona potencialmente peligrosa, dando a conocer los resultados que muestren el panorama de lo que ocurriría en caso de una rotura de la cortina. Conocer el tiempo disponible para tomar medidas de seguridad, así como tener rutas de evacuación, identificar las zonas

más altas y estar preparado para evacuar en caso de que esta situación se presente en la realidad, así como comprender el alcance de dicho evento, son aspectos cruciales para prevenir pérdidas humanas y calcular el impacto del agua en las poblaciones afectadas. Además, un evento de este tipo podría ocasionar la pérdida o daño de los bienes materiales de los pobladores, una interrupción de los servicios y daños físicos de los cultivos, imposibilitando la recolección de las cosechas, afectando el autoconsumo y la venta de los productos con las consecuentes pérdidas económicas.

Para la construcción del modelo hidráulico se utilizará el programa de uso libre Iber y la metodología empleada por Nava *et al.* (2019), donde se explican los pasos a realizar para la construcción del modelo hidráulico que permita la rotura de la cortina de la presa.

## Materiales y métodos

### Caracterización de la zona de estudio

Según la información proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2012)

que cuenta con un inventario de presas, con datos obtenidos del diseño, información documental y visitas de campo se presenta a continuación las características generales de la presa. La **Tabla 1** muestra la cuenca y el escurrimiento que se presenta en la zona de estudio.

La presa Yosocutá tiene una cortina rígida de tipo gravedad con material de mampostería y una cimentación a base de roca (**Tabla 2**).

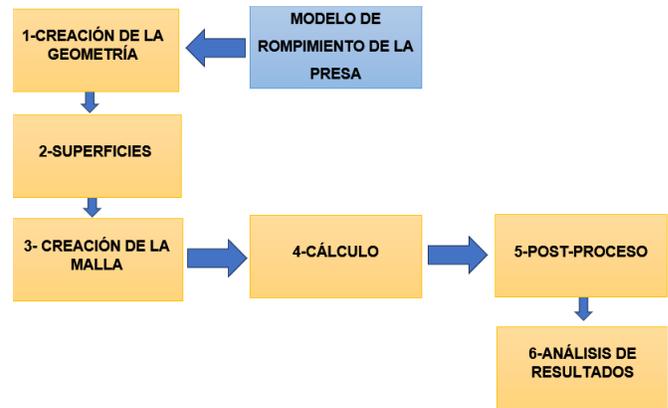
**Modelo hidráulico**

El programa Iber fue desarrollado por la Administración Pública Española junto con varias universidades españolas, su interfaz está basada en GiD el software de Preproceso y Postproceso, fue desarrollado por el International Center For Numerical Methods In Engineering CIMNE. Iber surge debido a la necesidad de innovación del Centro de Estudios Hidrográficos de tener un modelo que haga más fácil la tarea de aplicar la legislación sectorial vigente en materia de agua, especialmente en los requerimientos derivados de la Directiva Marco del Agua, la Instrucción de Planificación Hidrológica, la Directiva de Inundaciones o el Plan Nacional de Calidad de las Aguas (Bladé *et al.*, 2014). La metodología, descrita en la **Figura 2**, se basó en lo descrito por Bladé *et al.* (2014) con modificaciones realizadas por Nava *et al.* (2019).

**Paso 1. Geometría.** La geometría se realizó a partir de cubrir la zona de la presa Yosocutá y 150 km hacia aguas abajo del río Mixteco con un ancho promedio de 2500 metros en cada margen (**Figura 3**). El dominio además contempla las poblaciones de San Marcos Arteaga, Santo Domingo Tonalá, San Jorge Nuchita, y San Agustín Atenango.

**Tabla 1.** Cuenca y escurrimiento de la presa Yosocutá (CONAGUA, 2012).

Región hidrológica	Balsas
Cuenca	Río Mixteco
Área	911.90 km <sup>2</sup>
Corriente	Río Huajuapán
Afluente de	Río Salado



**Figura 2.** Pasos para la rotura de presas.

**Paso 2. Superficies.** Las superficies creadas fueron 47 para cubrir las zonas inundables, cauce del río y vaso de la presa (**Figura 3**). Esta información contribuye a desagregar el tamaño de malla para reducir el tamaño en las zonas de interés y caso contrario en las zonas inundables aumentarlo.

Posteriormente, se le agregaron las condiciones de contorno e iniciales para que se pueda dar el evento de la rotura de la presa. Dicho paso consiste en asignarle el valor de la altura de la corona, una altura de 1509.7 msnm (**Figura 4**), en esta ocasión se decidió ese valor dado que se encuentra el vertedor a partir de esa elevación y de aumentarse el nivel del agua desde el inicio de la simulación entraría en funcionamiento la obra de desfogue.

La condición de salida selecciona el modo

**Tabla 2.** Características de la cortina de la presa Yosocutá (CONAGUA, 2012).

Tamaño	Grande > 15m
Comportamiento	Rígida
Tipo	De gravedad
Material	Mampostería
Tipo de cimentación	Roca
Altura máxima	53.70 m
Elevación de la corona	1513.70 m. s. n. m.
Longitud	105 m
Ancho	3 m
Volumen del cuerpo	81630 m <sup>3</sup>
Altura sobre el cauce	53.70 m

supercrítico en las fronteras de la margen izquierda del río y de la frontera noroeste, dada la velocidad de la rotura es predecible que se tenga este comportamiento del flujo (**Figura 5**).

**Paso 3. Malla.** Para la generación de la malla, previamente se agrega la información de la rugosidad del terreno e infiltración. Para la rugosidad se tomaron los valores presentados por Chow (1994), de acuerdo con la **Tabla 3**, comparando las características de los distintos usos de suelo y vegetación.

Posteriormente, en el programa se realizó la asignación automática para que cada detalle de rugosidad quedará con la precisión adecuada. Para el análisis de pérdidas por infiltración se utiliza el método SCS, que utiliza el método del número de curva para estimar la infiltración. El proceso se realiza con el detalle del Soil Conservation Service (SCS, 1972) y requiere información del uso de suelo y edafología obtenido del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, Temas, mapas temáticos de México, 2023), con esta información más tablas se obtiene un *shape file* del número de curva.

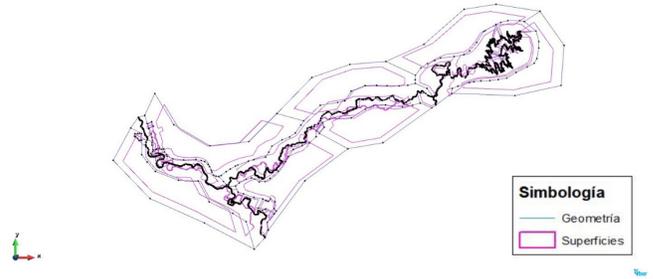
El proceso continuó en asignar automáticamente las pérdidas por infiltración mediante el método del SCS, se presenta en la **Figura 6**.

El tamaño de malla se estima considerando resoluciones menores para zonas de importancia y mayores para las zonas inundables, a continuación, en la **Figura 7a** se presenta el tamaño de malla y en la **Figura 7b** la malla resultante.

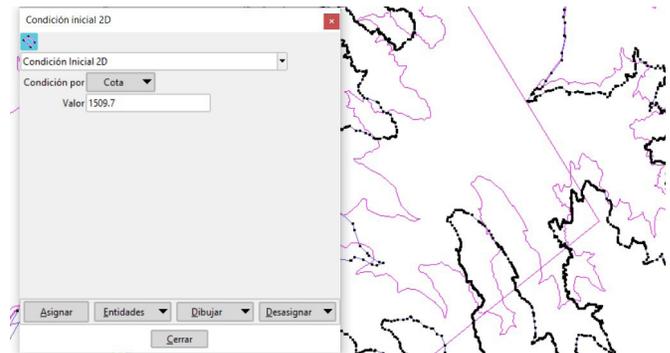
Para darle la información de la elevación del terreno, primamente, se obtuvo la batimetría del Organismo de Cuenca Balsas (OCB, 2012) con curvas

**Tabla 3.** Coeficientes de valores de rugosidad (Chow, 1994).

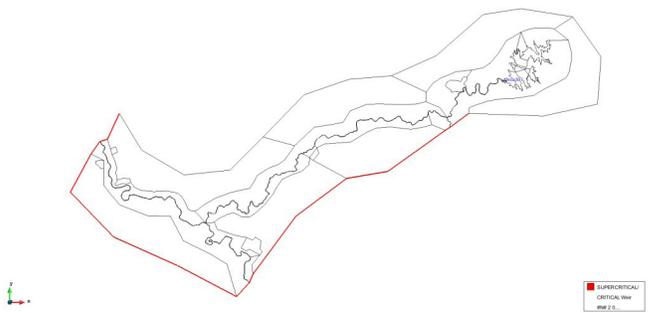
Tipo	Manning
Asentamientos humanos	0.017
Bosque de coníferas	0.04
Vegetación inducida	0.03
Agricultura anual	0.04
Cuerpo de agua	0.045



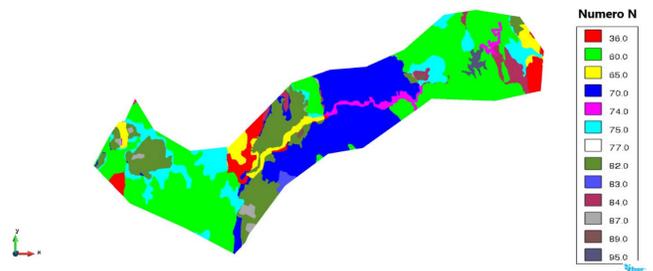
**Figura 3.** Superficies del proyecto generado en el programado Iber.



**Figura 4.** Condición inicial del modelo, generado en el programado Iber.



**Figura 5.** Condiciones de salida, generado en el programado Iber.



**Figura 6.** Número de curva para el método del SCS, generado en el programado Iber.

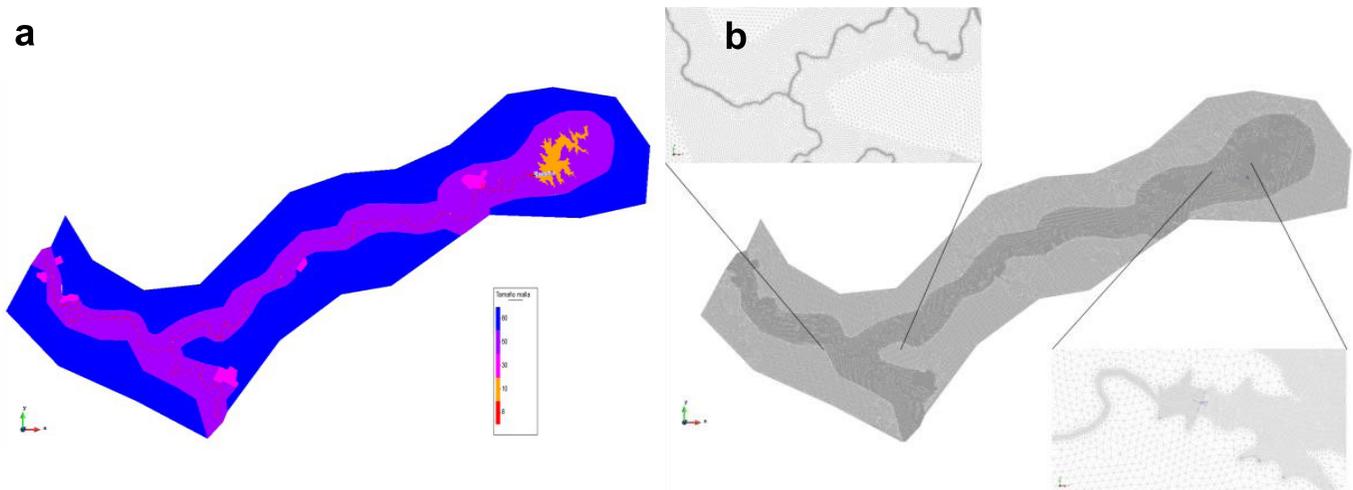


Figura 7. Tamaños de malla del modelo. a) Tamaño de malla. b) Malla resultante.

de nivel a cada medio metro (Figura 8a), para el río no se tiene registro de alguna fuente de información de batimetría, por lo que se recurrió a conocer una sección promedio de acuerdo al plan municipal de desarrollo de San Nicolás, Hidalgo y Silacayoapan (2011) de donde se le asigna una altura de 3 metros, pero se conserva el ancho de la sección. El resto de la configuración del terreno se genera a partir de la información del continuo de elevaciones de México del INEGI (2023) con datos de terreno en píxeles de 15 x 15 metros (Figura 8b). El resultado del terreno se presenta en la Figura 9.

Para la brecha, que es la ventana que contiene la información de los parámetros a alimentar, primeramente, se establece un tiempo de rotura de 10 minutos de acuerdo con el ministerio del medio ambiente de España (MMA, 2021), el método para la

rotura es con la guía técnica española, con respecto a la cota superior e inferior se agregó 1509.7 y 1480 msnm, respectivamente, y el volumen del embalse se obtiene a partir de la información del OCB (2012).

**Paso 4 cálculo.** Para la simulación se le agregó un tiempo de 120,000 segundos con intervalos de resultados a cada 600 segundos, estos valores dieron estabilidad al modelo dado que configuraciones previas del modelo en el tamaño de malla e intervalo de tiempo generaban problemas en la convergencia para la consecución de los pasos de tiempo, por lo tanto, se le asignó un valor al número de courant de 0.45. Por otra parte, el tiempo computacional para la obtención de resultados fue 54 horas.

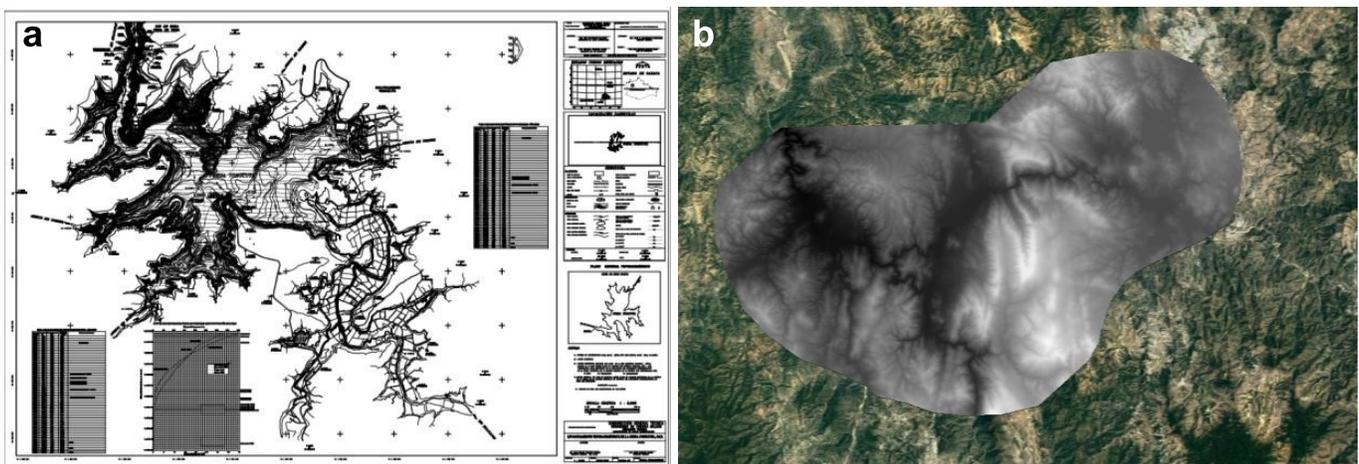


Figura 8. a) Plano de estudio topobatemétrico de la presa Yosocuta y b) continuo de elevaciones mexicano en la zona de estudio.

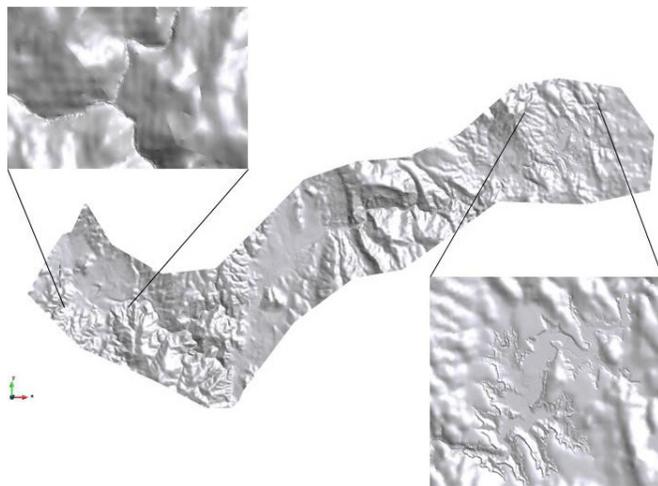


Figura 9. Terreno utilizado en el modelo hidráulico.

**Pasos 5 y 6. Postproceso y análisis de resultados.**  
Estos pasos se detallan en la siguiente sección.

**Resultados**

Los resultados presentados a partir de la rotura de la presa se presentan a continuación: El volumen descargado hacia el río es de 26.06 hm<sup>3</sup> y de acuerdo a la curva-elevaciones capacidades proporcionada por el OCB (2012) menciona para la cota 1509.7 msnm un volumen de 27.29 hm<sup>3</sup>/s, es decir se descarga el 95.4% del volumen de la presa. Con respecto al hidrograma presentado en la descarga de la presa se tiene un gasto máximo de 3.835.17 m<sup>3</sup>/s (Figura 10).

**Análisis de poblaciones**

A continuación, se describen las incidencias en las poblaciones aguas abajo de la presa.

**San Marcos Arteaga**

El municipio se ubica a 6 km aguas abajo de la presa Yosocuta, con áreas de afectación de 40.01 ha en la parte urbana y 46.40 ha respecto a los cultivos. El municipio cuenta con 1,115 habitantes según datos recabados por INEGI (2020), el nivel del agua alcanza hasta 8 calles de la población y 291 viviendas particulares, con base en los censos de población y vivienda, considerando el promedio de ocupantes por vivienda de 3.6 realizados por INEGI (2020), se afectaría a 1047 personas.

Las corrientes de agua que se mueven por las

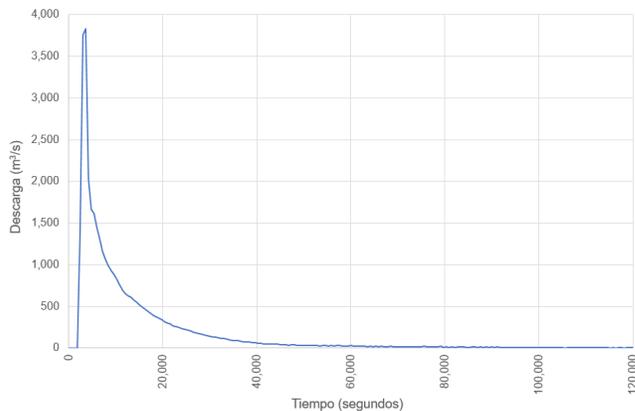


Figura 10. Hidrograma de la descarga de la presa por la rotura.

calles suponen un peligro para la seguridad de las personas y los vehículos, teniendo en cuenta los criterios basados en la consideración conjunta de los calados y velocidades del flujo, bajo de peligrosidad utilizado por Témex (1992), para velocidades de 0.5 a 1 m/s y de calado mayores a 1 m, ya se considera una zona de inundación peligrosa. La **Tabla 4** muestra los detalles en distintas ubicaciones en el municipio de San Marcos Arteaga, las calles tienen una longitud total de 7.48 km, y se muestra el tirante, velocidades, y caudales máximos.

Debido a las velocidades y tirantes máximos, la zona alcanzada por el agua es de peligro alto y se debe tener medidas de seguridad, después de

**Tabla 4.** Tirantes, velocidades y caudales máximos en San Marcos Arteaga.

Ubicaciones	Tirante máximo	Velocidad máxima	Caudales máximos
	(m)	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)
Calle Iturbide	23.24	9.36	37.67
Calle Guerrero	21.74	8.65	50.69
Calle Mina	23.96	5.17	52.83
Calle Insurgentes	20.08	3.57	41.07
Calle Reforma	15.43	2.86	26.52
Calle Hidalgo	10.82	3.12	13.76
Calle Allende	8.07	1.04	4.48
Parque de San Marcos Arteaga	15.05	2.87	24.79

la rotura de la cortina de la presa, se tendrán 50 minutos para tomar medidas de evacuación de la zona urbana del municipio de San Marcos Arteaga. En la **Figura 11**, se visualiza el área de la población que es afectada.

**Población de Natividad**

En la población de Natividad ubicada a 21.38 km de la presa Yosocuta y que pertenece al municipio de Santo Domingo Tonalá, el flujo del agua alcanzaría a 12 viviendas particulares y 43 habitantes, el área urbana de la población de natividad es de 1.93 ha, las calles alcanzadas tienen una distancia total de 0.28 km, los detalles se muestran en la **Tabla 5**.

En algunas partes, el tirante alcanzaría un metro que entra dentro de los parámetros de zona peligrosa, sin embargo, la velocidad no rebasaría 1 m/s, se determina que es una zona de inundación baja, la siguiente imagen muestra el área afectada de la población de natividad, con el agua llegando a esta población a las 3 horas con 50 minutos después de la rotura, como se muestra en la **Figura 12**.

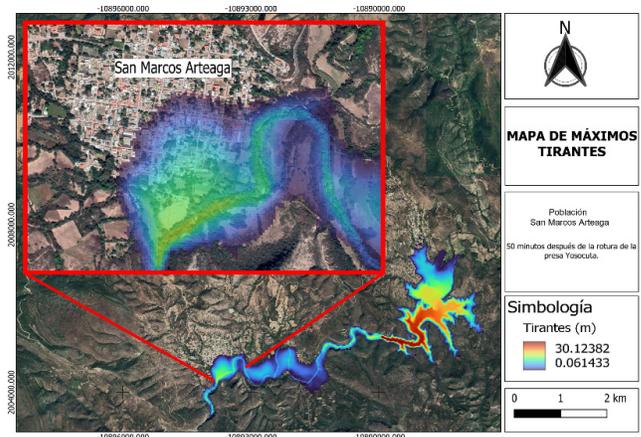
**Santo Domingo Tonalá**

En el municipio de Santo Domingo Tonalá, ubicado a 21.761 km de la presa Yosocuta, la planta tratadora de aguas residuales sería alcanzada por el nivel de agua, así como 6 viviendas y 21 habitantes, el área urbana sería de 0.946 ha y la longitud total de calle sería de 0.15 km, existe una mayor afectación para el área de cultivos, ya que esta equivale a 48.667 ha, la **Tabla 6** muestra los detalles de las ubicaciones urbanas.

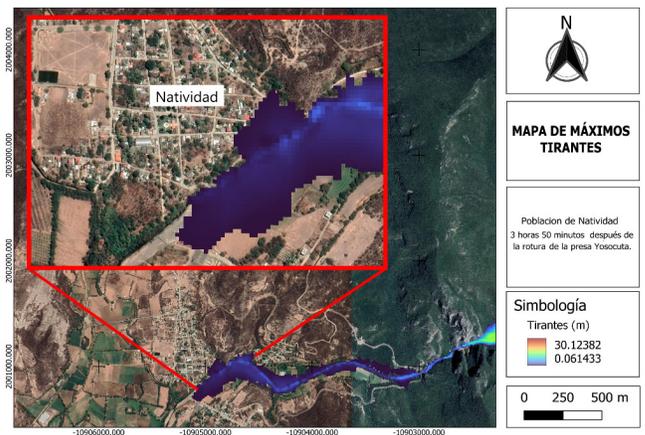
En la zona de la PTAR el tirante máximo casi llega al metro y en cuestión de la velocidad máxima se encuentra en 1.02 m/s, lo que lo coloca dentro de los parámetros para considerarlo zona peligrosa, se determina como zona de inundación peligrosa media, a continuación, la siguiente imagen muestra el área alcanzada por el agua en Santo Domingo Tonalá a las 4 horas después de la rotura de la presa (**Figura 13**).

**Yetla de Juárez**

La población de Yetla de Juárez se encuentra a 26.221 km de distancia de la presa Yosocuta y



**Figura 11.** Visualización de la zona afectada en San Marcos Arteaga.

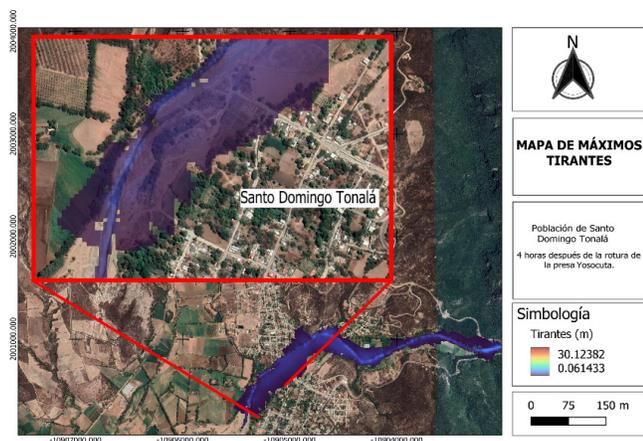


**Figura 12.** Visualización del área afectada de la población de Natividad.

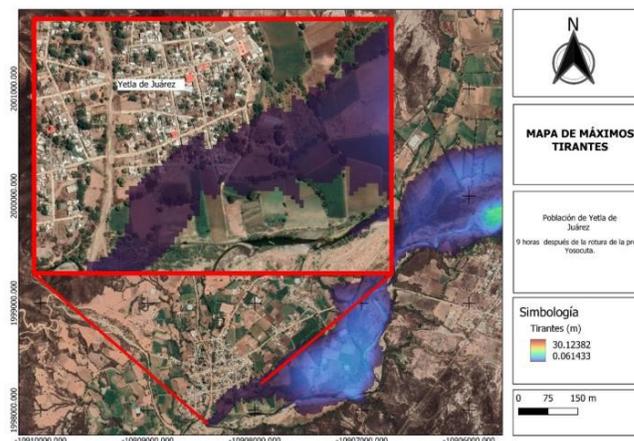
**Tabla 5.** Tirantes máximos, velocidades y caudales máximos de Natividad.

Ubicaciones	Tirante máximo	Velocidad máxima	Caudales máximos
	(m)	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)
Rayón	1.04	0.41	0.38
Victoria	0.5	0.31	0.23
Madero	0.45	0.51	0.29
Juárez	0.54	0.19	0.1

pertenece al municipio de Santo Domingo Tonalá, los cultivos afectados por el nivel del agua serán de 46.921 ha y el área urbana es de 3.479 ha, dentro del área urbana se encuentran 23 viviendas y 82 habitantes, tiene 4 calles que serán alcanzadas por



**Figura 13.** Vista de afectaciones en Santo Domingo Tonalá.



**Figura 14.** Vista de la zona de afectación de Yetla de Juárez.

los niveles de agua, en total estas calles tienen una longitud de 4.41 km, en la **Tabla 7** se muestran los detalles

La tabla anterior muestra tirantes por debajo de la zona de inundación peligrosa en la parte del tirante, sin embargo, en algunas se muestra una velocidad superior a 1 m/s que supone un peligro para las personas y vehículos, se determina una zona de inundación peligrosa baja. La **Figura 14** muestra las calles que serán alcanzadas por el agua

**Tabla 6.** Tirantes máximos, velocidades y caudales máximos.

Ubicaciones	Tirante máximo	Velocidad máxima	Caudales máximos
	(m)	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)
Planta tratadora de aguas residuales	0.96	1.02	1.03
Calle Hidalgo	0.63	0.68	0.51

**Tabla 7.** Tirantes máximos, velocidades y caudales máximos de Yetla de Juárez.

Ubicaciones	Tirante máximo	Velocidad máxima	Caudales máximos
	(m)	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)
Reforma	0.54	1.52	0.84
Manuel Pino	0.15	0.4	0.12
Valentín Gómez Farías	0.29	1.09	0.33
Melchor Ocampo	0.76	1.38	1.07

en la población de Yetla de Juárez a las 9 horas después del rompimiento de la presa Yosocuta.

### Discusión

El enfoque de este trabajo consiste en la mitigación de inundaciones ante la rotura de la presa, así como establecer medidas previas y durante la rotura. A razón de abundar más en el tema, como medidas de mitigación para la zona de estudio se puede trabajar en posteriores análisis, el establecer una zona de acumulación del flujo, que pueda regular en gran medida el escurrimiento aguas arriba, en la comunidad de San Marcos Arteaga, donde se tiene una extensión de 150 hectáreas de cultivo que puede ayudar como un sistema de control del flujo, si a toda esa zona se excava a una profundidad de 2 metros, se puede tener una zona que puede retener 4.5 hm<sup>3</sup>, es decir una regulación del 17 % del total de flujo que debe de ayudar en gran medida al escurrimiento que se producirá por el efecto de la rotura.

Otras medidas que se pueden establecer, es el dragado del río en zonas donde se tengan llanos o cercanas a las comunidades para generar una mayor área hidráulica, además de diseñar en los primeros 5 km gaviones que puedan contener en primera estancia un flujo mayor a 3000 m<sup>3</sup>/s, que puedan contribuir a reducir la velocidad del escurrimiento de la salida de la presa. Por otra parte, si se tomaran medidas no estructurales, las dependencias como protección civil pueden dar conocer mediante mapas

las zonas de afectación que se pueden tener a raíz de un evento de esta magnitud, con lo que se pueden establecer medidas como rutas de evacuación, sistemas de alertamiento en cada comunidad y establecer un esfuerzo conjunto para evitar pérdidas humanas y materiales.

Arias y Llaguno (2023) Realizaron un análisis de las pérdidas económicas que se pueden llegar a tener, tomando en consideración que un riesgo alto corresponde un 100% de pérdidas, riesgo medio un 50 % y riesgo bajo 30% de pérdida de bienes muebles; resultando que para Santo Domingo Tonalá se tiene una pérdida económica estimada de 11.699 millones de pesos, mientras que para San Marcos Arteaga corresponde una pérdida de 65.124 millones de pesos, por lo que se requiere tanto del diseño de medidas estructurales como de medidas no estructurales para mitigar los efectos de la rotura.

Con base en los trabajos previos de Gaagai *et al.* (2022), quienes estudiaron los efectos de la ola de inundación ante el fallo hipotético de la presa Yabous, ubicada al noreste de Argelia, y de Silva y Eleuterio (2023), quienes investigaron la efectividad de sistemas de alerta específicos en la mitigación de pérdidas en zonas densamente pobladas, un punto importante a destacar es la incertidumbre que se puede tener por los parámetros que se agregan al modelo hidráulico, el mecanismo de rotura, ancho de la rotura, duración de la rotura y el nivel del embalse. Rizzo *et al.* (2023) y Sarchani *et al.* (2022) destacan a los éstos como los factores principales que requieren para un estudio con mayor precisión, necesidad inherente para la gestión eficaz del riesgo, ya que en México existen más de 5000 presas (INEGI, 2024).

## Conclusiones

Se obtuvo un volumen de agua vertida en el río de 26.06 hm<sup>3</sup>, el volumen de almacenamiento de la presa en el modelo hidráulico era de 27.29 hm<sup>3</sup>. El municipio de San Marcos Arteaga ubicado aproximadamente a 6 km de la presa y que será alcanzada a los 50 minutos después de la rotura de la presa, tendrá inundaciones que entran dentro de los parámetros de inundación peligrosa con una velocidad de 4.58 m/s en promedio con un tirante de

hasta 23.24 metros, estos parámetro se determinan peligrosos para las personas y para los vehículos, el nivel del agua prácticamente tendrá repercusión en gran parte del pueblo afectado hasta 291 casas y 46.40 ha de cultivos, se determina como zona de inundación de peligro alto.

El pueblo de Natividad el escurrimiento superficial llegará a las 3 horas, afectando 12 viviendas y 43 habitantes, los niveles del agua llegarán a los parámetros de zona peligrosa de inundación superando el metro al igual que las velocidades rebasan el valor de 1 m/s, se determina que es una zona de inundación baja. En Santo Domingo Tonalá, el agua proveniente de la rotura llegará después de 4 horas, afectando a la PTAR, 21 habitantes y 48.66 ha de cultivos, el tirante máximo está por encima de 1 m y las velocidades máximas por arriba del 1 m/s lo coloca en zona de riesgo, se determina como zona de inundación peligrosa media.

La población de Yetla de Juárez será alcanzada por el agua a las 9 horas después de la creación de la brecha en la cortina, afectando a 82 habitantes y 46.92 ha de cultivos, con velocidades que estarán por arriba del metro y 1 m/s, se determinó como una zona de inundación peligrosa baja. Se calcula un área total de 141.98 ha de cultivos alcanzados por el nivel del agua, debido a la cantidad de áreas de cultivo afectadas, se puede determinar que la rotura de la presa provocará pérdidas económicas para los agricultores, además del daño a cultivos destinados al autoconsumo.

Es importante mencionar que mantener en buen estado y dar constante mantenimiento a este tipo de estructuras hidráulicas puede ser un factor crucial a futuro, ya que disminuye el riesgo de que ocurra un escenario de rotura de la cortina de la presa.

## Agradecimientos

Al Organismo de Cuenca Balsas (OCB) de la Conagua, por la facilidad en proporcionar la batimetría de la presa.

## Referencias

Acosta Y (2021). Evaluación de la acumulación de azolves en embalses ubicados en la rh-24. Chihuahua: Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Chihuahua.

- Arias JC, Llaguno O (2023) Estudio para la generación de mapas de riesgo por inundación ante la rotura de la presa Yosocuta, Estancia de investigación, Grupo Delfín. [Recuperado el 10 de Abril de 2023]
- Bladé E, Cea L, Corestein G, Escolano E, Puertas J, Vázquez-Cendón E, Dolz J, Coll A (2014) Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería* 30(1):1-10. doi:10.1016/j.rimni.2012.07.004
- Chow V (1994). Hidráulica de canales abiertos. Santafé de Bogotá, Colombia: McGRAW.
- CIMNE (s.f.). Pre and post processing system for F.E.M. calculations. Recuperado el 03 de marzo de 2023, de International Center For Numerical Methods In Engineering: <https://acortar.link/3KCmFs> [Consultado el 05 de mayo del 2023]
- CONAGUA (2012). «Inventario de presas». <https://presas.conagua.gob.mx> [Recuperado el 08 de mayo del 2023]
- Estrada D. “Denuncian contaminación de la presa de Yosocuta, en Huajuapán de León”. Obtenido de diario Imparcial Oaxaca: <https://acortar.link/jR93uc> [recuperado el 25 de abril de 2018]
- Gaagai A, Aouissi HA, Krauklis AE, Burlakovs J, Athamena A, Zekker I, Boudoukha A, Benaabidate L, Chenchouni H (2022) Modeling and Risk Analysis of Dam-Break Flooding in a Semi-Arid Montane Watershed: A Case Study of the Yabous Dam, Northeastern Algeria. *Water* 14 (5):767. doi:10.3390/w14050767
- GEAMA (s.f.). Iber, modelo de flujo en lámina libre para ríos y estuarios. <http://geama.org/hidraulica/index.php?s=11&i=27> [Recuperado el 09 de marzo de 2023]
- Huajuapán de León (2019). Plan municipal de desarrollo. Heroica Ciudad de Huajuapán de León: Gobierno municipal, Gobierno municipal.
- ICOLD (s.f.). Definition of a Large Dam. Recuperado el 15 de marzo de 2023, de ICOLD: [https://www.icold-cigb.org/GB/dams/definition\\_of\\_a\\_large\\_dam.asp](https://www.icold-cigb.org/GB/dams/definition_of_a_large_dam.asp) [Recuperado el 13 de marzo de 2023]
- INEGI (2020). Censo de Población y Vivienda. Obtenido de INEGI: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Microdatos> [Recuperado el 27 de marzo de 2023]
- INEGI. (2023). Continuo de elevaciones mexicano. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/> [Recuperado el 05 de abril de 2023]
- INEGI (2023). Temas, mapas temáticos de México. Obtenido de INEGI: <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/> [Recuperado el 02 de mayo del 2023]
- INEGI (2024) Cuéntame en territorio – presas, obtenido de <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/presas>. [recuperado el 08 de agosto del 2024 ]
- Martínez Ramírez S (2010). El manejo sustentable de la cuenca alta del Río Mixteco. Obtenido de UTM: <https://www.utm.mx/~cseminariosinvestigacion/enero10.html> [Recuperado el 7 de abril del 2023]
- MMA (2021). Guía Técnica para la elaboración de los planes de emergencia de presas. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- Municipio de San Nicolás Hidalgo, Silacayoapan (2011). Plan municipal de desarrollo. San Nicolás Hidalgo: Municipio de San Nicolás Hidalgo, Silacayoapan.
- Nava J, Llaguno O, Rodríguez J (2019). Simulación de rotura de la presa de la Olla con la plataforma Iber, *Revista tlaloc*, num. 70 enero - marzo.
- OCB. (2012). Plano de estudio topobatimétrico de la presa Yosocuta. Cuernavaca, Morelos, México.
- Rizzo C, Maranzoni A, D’Oria M (2023). Probabilistic mapping and sensitivity assessment of dam-break flood hazard. *Hydrological Sciences Journal* 68(5):700-718. doi:10.1080/02626667.2023.2174026
- Sarchani S, Koutroulis AG (2022). Probabilistic dam breach flood modeling: the case of Valsamiotis dam in Crete. *Nat Hazards* 114:1763-1814. doi:10.1007/s11069-022-05446-0
- SCS (1972). National Engineering Handbook, section 4. US Department of agriculture.
- Silva AFR, Eleutério JC (2023) Analysis of flood warning and evacuation efficiency by comparing damage and life-loss estimates with real consequences related to the São Francisco tailings dam failure in Brazil. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 23 (9):3095-3110. doi:10.5194/nhess-23-3095-2023
- SRI (2016). Reportaje, presa de Yosocuta el manantial a punto de morir. Obtenido de SRI: <https://acortar.link/LpYZTh> [Recuperado el 01 de abril del 2023]
- Témez JR (1992). Inundaciones y redes de drenaje urbano, Control del desarrollo urbano en las zonas inundables (págs. 105-115). Madrid.
- Toledo A, Ramírez H, López M (2008). Gaceta parlamentaria. Obtenido de Senado de la república: [https://www.senado.gob.mx/65/gaceta\\_comision\\_permanente/documento/16915](https://www.senado.gob.mx/65/gaceta_comision_permanente/documento/16915) [Recuperado el 02 de mayo del 2023]