

14 AL 18 DE NOVIEMBRE DE 2022

## HACIA LA RECUPERACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HIDROLÓGICOS EN EL BOSQUE LA PRIMAVERA (JALISCO, MÉXICO): CASO DEL ARROYO GRANDE

Perla Adriana Hernández Hernández; Paulina Carlón Martínez; José Manuel Ramírez León; David Vargas del Río; Hugo de Alba Martínez; Luis David Rizo Decelis; Gil Humberto Ochoa González

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), San Pedro Tlaquepaque, Jalisco.  
[ab709738@iteso.mx](mailto:ab709738@iteso.mx); [ab714227@iteso.mx](mailto:ab714227@iteso.mx); [jmramirezleon@iteso.mx](mailto:jmramirezleon@iteso.mx); [davidvar@iteso.mx](mailto:davidvar@iteso.mx); [hdealba@iteso.mx](mailto:hdealba@iteso.mx); [rizo@iteso.mx](mailto:rizo@iteso.mx); [gilchoa@iteso.mx](mailto:gilchoa@iteso.mx)

### RESUMEN

El Bosque La Primavera (BLP) es un ecosistema biodiverso que provee gran variedad de servicios ecosistémicos al Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) y la región occidental de México. Entre los principales servicios esta la captura de carbono, biodiversidad, paisaje, calidad del aire, regulación de temperatura y escorrentías. Uno de los problemas que ha sufrido el BLP en los últimos años son los incendios y la deficiente gestión de los recursos hídricos. Actualmente el AMG sufre de escasez de agua, sin embargo, llueve seis veces más del agua requerida en toda el área urbana; quiere decir que este recurso no se está aprovechando de manera correcta y se está convirtiendo en un problema por inundaciones.

El objetivo del presente trabajo es analizar intervenciones que contribuyan a mitigar inundaciones y recargar el acuífero. Así mismo, se busca dar un enfoque de restauración ecológica en la zona del BLP donde ocurrió un incendio en 2021, para lograr retención de sedimentos, regulación del caudal de escurrimiento y favorecer la infiltración para la recarga del sistema hidrogeológico

Se estudiaron posibles intervenciones en el Arroyo Grande mediante el software IBER para evaluar zonas de riesgo, hidrogramas, calado máximo y velocidades de escorrentía. Se compararon tres escenarios: con el bosque saludable, antes de los incendios de 2021; con el bosque después de los incendios; y la propuesta solución que incluye represas de geocostal en distintos cauces y un pozo de infiltración profunda aguas abajo, con capacidad de hasta 1 m<sup>3</sup>/s. Se concluye que la propuesta de implementación de represas puede reducir el caudal máximo de escorrentía superficial que desemboca al AMG, además del incremento del volumen de agua retenido en el bosque, propiciando la recuperación de los servicios ecosistémicos.

### INTRODUCCIÓN

La zona del Bosque La Primavera (BLP) se formó hace 140,000 años, es una caldera volcánica cuya actividad conformó el territorio donde se asienta el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG). En los años ochenta, el Bosque fue reconocido como Área Natural Protegida (ANP) a nivel federal, se estableció como Zona de Protección Forestal y Refugio de la Fauna Silvestre. El BLP es único en el país, se ubica en la zona oeste del AMG, comparte territorio entre los municipios de Tlajomulco de Zúñiga y Zapopán, sobre la microcuenca Arroyo Seco, la cual tiene una gran extensión que fluye hasta la ciudad. El sistema de la cuenca permite recargar el acuífero de la ciudad y regular el caudal que llega hasta la zona urbana, así como la producción de sedimentos, reteniendo el volumen de agua y azolves en el bosque.

El bosque es uno de los últimos espacios silvestres que persisten en el entorno de esta región industrializada. Los ecosistemas forestales se han transformado a través de los años debido a tala de árboles e incendios, se ha generado una transformación ecológica del paisaje alrededor, incluyendo contaminación atmosférica y los efectos clima de la isla de calor del AMG. Actualmente quedan poco menos de 20 mil hectáreas del ANP (Ayuntamiento de Zapopan, 2020).

El área forestal brinda distintos servicios ecosistémicos, como la aportación de grandes cantidades de volumen de agua a la región, el cuidado de erosión y deslaves, control de la sedimentación, es regulador de clima para el área urbanizada, cuenta con un gran índice de biodiversidad de la región ya que es el hábitat de distintas especies de flora y fauna; además se utiliza como un espacio para recreación y turismo. De igual manera, la presencia de este bosque provee la regulación de inundaciones del AMG en temporal de lluvias. (Martínez, 2019).

Desafortunadamente, BLP presenta una tasa de incendios forestales que ha variado de 0 a 60 incidentes por años en los últimos quince años. La tasa de pérdida anual de masa forestal debido a incendios es de 1.31%. Se ha detectado que las principales causas de los incendios son debido a la quema de cultivos a los alrededores, principalmente de caña de azúcar, y la acumulación de material combustible junto con las reacciones ambientales extremas como la sequía, el calor y viento. En 2006 se presentó el mayor número de incendios con 61; por otro lado, en el 2005 fue el año en que se afectó una mayor superficie del bosque 8,000 hectáreas. Así mismo en el 2014 se registraron 47 siniestros que afectaron 1,412 hectáreas del área. Las autoridades pusieron bajo alerta ambiental a la Zona Metropolitana de Guadalajara, y restringieron el acceso al lugar (Ibarra-Montoya, 2014).

Es evidente, que la falta de atención hacia los incendios ocurridos en el Bosque está relacionada con las inundaciones en las colonias de Zapopan. Este artículo se centra en la zona sur del BLP donde ocurrió el incendio significativo del 2021, el cual incidió a la erosión del suelo que generó un desbordamiento del Arroyo Seco en las faldas del Bosque de la Primavera, debido a que no había cobertura vegetal que retuviera el agua en el Bosque. El área forestal afectada impide la retención de sedimentos, lo cual causa deslaves hacia la zona urbana. Esto quiere decir que, no se cuida del ciclo hidrológico y existe una mala gestión del agua de lluvia ya que no se aprovecha y se contamina (CENAPRED, 2020).

Por lo tanto, en esta investigación se desarrolla una propuesta hacia la restauración de la zona sur del BLP, contribuir a la microcuenca de Arroyo Grande y recuperar los servicios ecosistémicos del Bosque. Como se sabe, el BLP es un área natural protegido, es por ello que se propone implementar represas con materiales ecológicos. Como son

los geocostales, los cuales están hechos de textiles biodegradables con un tiempo de vida entre 10 y 15 años. Primero se rellenan de materiales de la zona como: arbustos, madera, piedras, grava, tierra, etc. Luego se amarran entre sí hasta formar una pirámide. Se pretende que después de 10 años cuando los geocostales se degraden, el arrastre de sedimentos rellene la pendiente de los cauces para generar una pendiente más estable. De esa manera, baja la velocidad de escorrentía, se reduce el arrastre de sedimentos y mejora la infiltración en el suelo. También se sugiere implementar un pozo de infiltración profunda aguas abajo del Arroyo Seco, cerca de las faldas del bosque, para incentivar que un porcentaje del agua recargue el acuífero con aguas pluviales. Dicho pozo es de absorción, es un hoyo en el suelo relleno con piedras lo cual facilita la infiltración del agua en suelo (CENAPRED, 2020).

**OBJETIVOS**

Analizar intervenciones que contribuyan a mitigar inundaciones, reestablecer el área incendiada del Bosque La Primavera y optar por la restauración ecológica de la subcuenca de Arroyo Grande.

**METODOLOGÍA**

En el presente trabajo se utilizó el software IBER, el cual es una herramienta para la simulación del flujo en 2D de origen español (Bladé *et al.*, 2012). El programa considera variables como la topografía, rugosidad, infiltración, distribución de precipitación, etc. El área de estudio se modela en tres diferentes escenarios: 1) antes del incendio; 2) después del incendio; 3) luego de implementar infraestructura. Así como se muestra en la tabla 1.

En primer lugar, se delimitó el área de estudio Arroyo Grande junto con el Modelo Digital de Elevación (MDE) con 5 m de resolución y se obtuvo de la base de datos de INEGI. Para el coeficiente de rugosidad de Manning se utilizaron los predeterminados por el software IBER, los cuales corresponden al tipo de uso del suelo de la zona de estudio

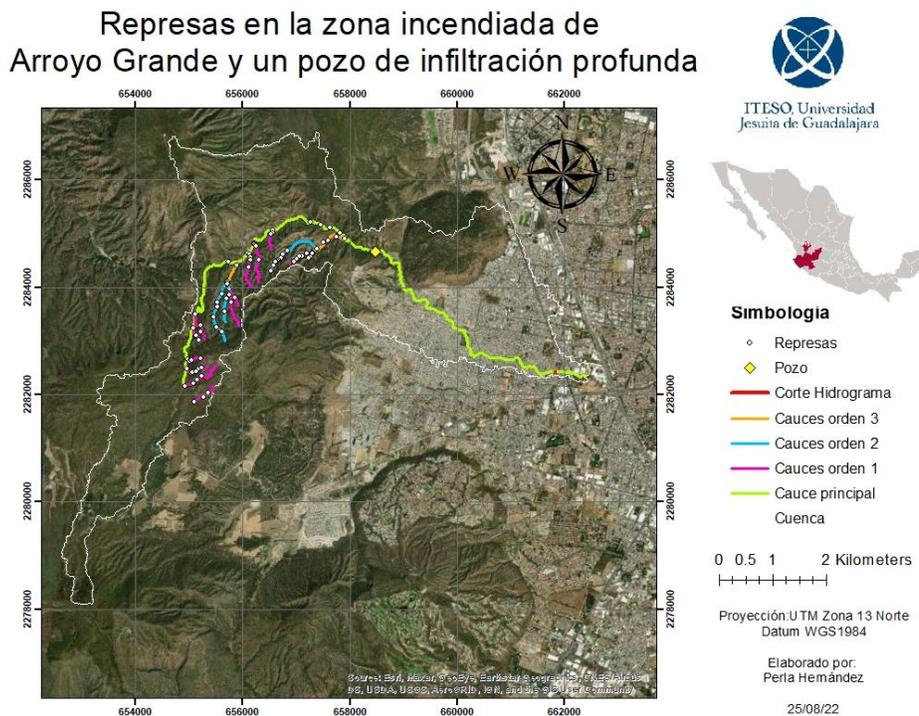
(antes y después del incendio). Los números de curva (NC) utilizados se obtuvieron de la base de datos de Earth Engine Apps GCN250m: Global Hydrologic Curve Number Explorer (Jaafar *et al.*, 2019). Esta plataforma proporciona NCs para tres condiciones: suelo seco, suelo húmedo y promedio. Se utilizó el criterio de suelo húmedo ya que es la condición con menor potencial de escorrentía, debido a su limitada capacidad de retención de flujo.

**Tabla 1. Descripción de escenarios.**

No. Escenario	Descripción
1	Zona de estudio antes del incendio en el bosque
2	Zona de estudio después del incendio en el bosque
3	Implementación de estructuras hidráulicas en la zona de estudio después del incendio

En el presente trabajo se desarrollaron tres escenarios. El primer escenario es el BLP antes del incendio y de la inundación ocurrida el 24 de julio del 2021, el segundo escenario es el bosque después del incendio, y el tercer escenario es la implementación de represas y un pozo de infiltración profunda con el bosque incendiado. En México experiencias similares ya se han llevado a cabo con éxito, tal es el caso de Mendoza *et al.* (2017) en el Río Magdalena al sur de la Cd. de México.

En el tercer escenario para la implementación de las estructuras hidráulicas se generó una red hidrográfica, se realizaron perfiles de escurrimiento de los cauces de la zona sur de la cuenca de Arroyo Grande ya que es la sección que resultó afectada con el incendio. Se analizaron los perfiles y solo se conservaron los que cumplieron con las características de longitud mayor o igual a 300 m y una pendiente mayor a 0.05. Una vez que se trazaron los perfiles, se unieron los cauces de diferente orden cuando eran consecutivos y se nombraron; como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Mapa de represas en cauces secundarios y principal con un pozo de infiltración profunda en Arroyo Grande. (Puede consultar el mapa en la siguiente liga: <https://arcg.is/11bTv80>)

Sobre esta base, se importaron los datos de los perfiles de escurrimiento a AUTOCAD para ubicar represas a lo largo de cada cauce con una pendiente de 1% y 1m de altura. Posteriormente, en ArcMap se georreferenciaron los cauces para facilitar la identificación de las represas. Luego se importaron esos datos a ArcMap con la respectiva ubicación geográfica de cada represa y se creó un archivo de información vectorial el cual permitió visualizar con puntos cada represa. Seguidamente, se realizaron curvas de nivel a cada 2 m y se generó un *shapefile* de polígonos alrededor de cada punto de las represas, en el cual se tomaron en cuenta 85 represas como se muestra en la siguiente figura. Asimismo, también se añadió un pozo de infiltración profunda con un caudal de 1m<sup>3</sup>/s con una profundidad de 45 m, el caudal se tomó como referencia de los valores reportados por Vanegas *et al* (2022).

Para realizar la modelación del comportamiento de los cuerpos de agua superficiales se utilizó el software IBER, con el objetivo de analizar la diferencia que existe entre los tres escenarios propuestos. Se importó una malla RTIN con una tolerancia de 20 m, lado máximo de 20 m y un lado mínimo de 10 m, se eligieron estas medidas para una mejor una mejor observación de las variables. Después se asignaron las condiciones iniciales, en las cuales todas las áreas de captación se utilizó un valor de 0 m de profundidad de agua en toda la zona, es decir se encuentra seca la zona. Enseguida se agregaron las condiciones de contorno, es decir los lugares de salida de los escurrimientos. Las salidas asignadas fueron seleccionadas a partir del punto de menor elevación de la zona de estudio.

Se prosiguió por agregar a toda la zona un hietograma con periodo de retorno (*Tr*) de 10 años para cada simulación, el hietograma fue generado por el Rojas y González (2015) así como se muestra en la figura 2. Después, se asignaron los valores de rugosidad y NC. Posteriormente, se asignó un tiempo inicial de 0 s, el tiempo máximo de simulación fue de 14,400 s debido a que ese valor fue la suma de la duración de la tormenta y el tiempo de concentración según cada área de captación, y los resultados fueron arrojados con un intervalo de tiempo de 900 s; se corrió el cálculo del modelo, y se obtuvieron los resultados de calado, velocidad y peligrosidad máxima. Además, se obtuvieron hidrogramas para poder observar el caudal de descarga de agua de cada escenario.



Figura 2. Hietograma con un tiempo retorno de 10 años (Rojas y González, 2015).

**RESULTADOS**

En la tabla 1 se muestra los tres escenarios planteados, donde se estudia el comportamiento hidrológico de la cuenca de Arroyo Grande. La propuesta solución se pretende implementar en una cuenca con alto potencial de erosión y remoción de suelo a causa de los incendios. Las condiciones en las que se realizaron las simulaciones difieren un poco a comparación de lo que ocurre en la realidad, debido a la complejidad que implica un temporal de lluvias. Se decidió trabajar con un *Tr*=10 años debido a que este es el tiempo aproximado de recuperación natural del bosque.

Como resultado se obtuvieron hidrogramas de los distintos escenarios donde se toma un *Tr*=10 años. Los hidrogramas constan de un determinado tiempo de simulación de 14,400 s con respecto al caudal (m<sup>3</sup>/s).

Para generar los hidrogramas se necesita hacer un corte en el área de interés, por lo que se tomó la decisión de realizar un corte para mayor claridad de los resultados, en la figura 3 se muestra el caudal de descarga que puede ocurrir dentro de la ciudad; aquí se consideran distintas variables como el tipo del suelo y su porcentaje de infiltración.

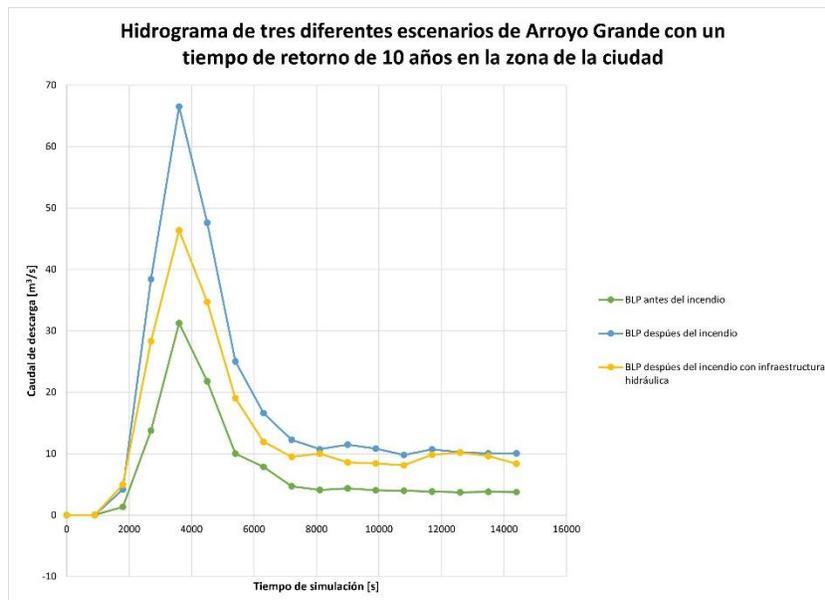


Figura 3. Hidrogramas de los tres escenarios propuestos en la zona urbana correspondientes al Arroyo Grande.

En la siguiente gráfica se muestra los tres escenarios, por lo cual la línea de color verde corresponde al primer escenario (el BLP antes del incendio), la línea de color azul corresponde al segundo escenario (el BLP después del incendio), mientras que la línea de color amarillo corresponde al tercer escenario (el BLP después del incendio y la propuesta de 85 represas y un pozo de infiltración profundo).

Mientras que, en la tabla 2 se muestran los datos obtenidos a partir de los hidrogramas, en las cuales se observa el caudal máximo, el volumen de agua que llegará a las zonas bajas que se calculó con el área bajo la curva de cada serie de datos, y el volumen de agua retenida que se calculó a partir de la diferencia que existe contra el primer escenario.

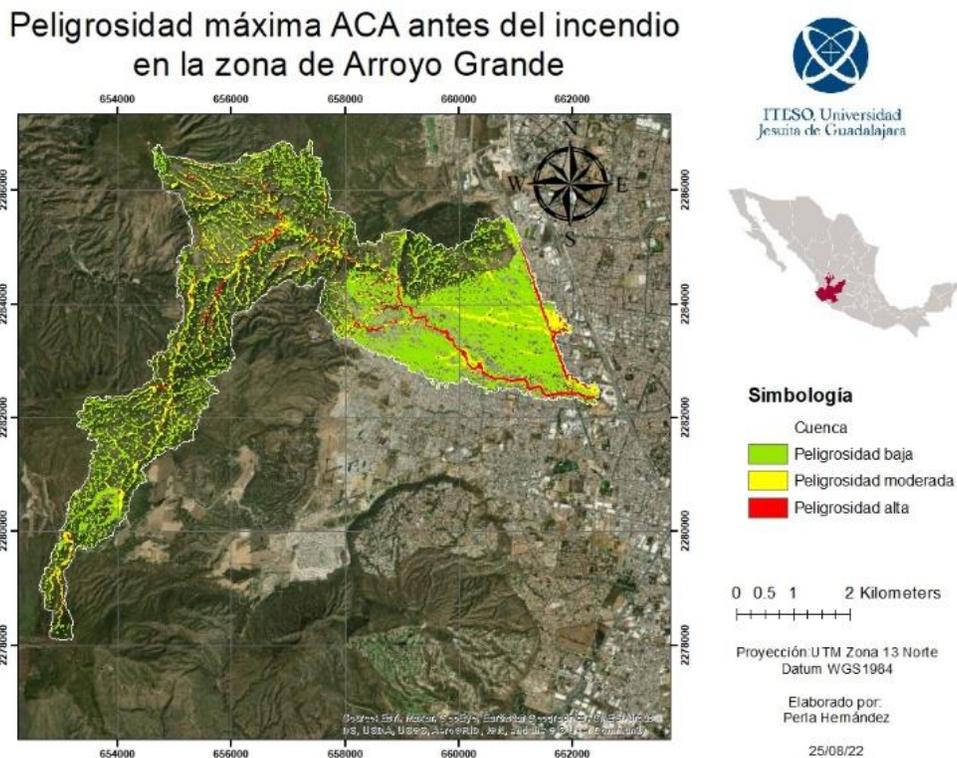
**Tabla 2. Volúmenes de agua generados por cada escenario.**

No. Escenario	Caudal máximo	Volumen de agua que llegará a zonas bajas	Volumen de agua retenida
	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
1	31	110,147	-
2	67	265,121	154,974
3	46	205,213	95,065

Como se puede apreciar, en la figura 3 y en la tabla 2, al comparar los escenarios 1) y 2), el resultado de los hidrogramas muestra un aumento

del gasto máximo y del volumen de agua descargado luego del incendio, pasando de 31 a 67 m<sup>3</sup>/s y de 110,147 a 265,121 m<sup>3</sup>, respectivamente. Esto nos indica que la regulación de caudal atribuida al servicio ecosistémico del Bosque La Primavera (BLP) es de 154,974 m<sup>3</sup>. Mientras que al comparar los escenarios 2) y 3) se observa una disminución de escorrentía, de 67 m<sup>3</sup>/s a 46 m<sup>3</sup>/s, es decir un 30% del caudal pico. Sin embargo, la implementación de infraestructura de retención arroja 95,065 m<sup>3</sup> más a la zona urbana respecto al escenario 1), y 59,908 m<sup>3</sup> menos que el escenario 2). Lo anterior nos muestra que el sistema de represas propuesto junto con el pozo de infiltración profunda regulan el caudal y ayudan a mitigar inundaciones, pero no igualan el servicio ecosistémico del BLP en ese aspecto.

El volumen de agua retenida se calculó a partir de la diferencia de los escenarios 2) y 3) contra el 1). Los valores se interpretan como el volumen de agua que regula el bosque, es decir entre menor sea la diferencia significará que el modelo tendrá una mayor aproximación al escenario antes del incendio, por lo que los resultados indicarán que con un suelo menos erosionado los servicios ecosistémicos pueden cumplir con su función. Por lo que, un porcentaje de ese volumen de agua se quedará retenida en el bosque se evaporará, otra será evapotranspirado por la vegetación y una pequeña parte llegará al acuífero por percolación. En las siguientes figuras se muestran los resultados de los cálculos de peligrosidad máxima según la clasificación de la Agencia Catalana del Agua (ACA,2004). Este valor es el resultado del producto de la cota de agua máxima y la velocidad del fluido máximo. En los cuales se puede observar las zonas de peligrosidad bajas, moderada y alta.



**Figura 4. Mapa de peligrosidad máxima ACA antes del incendio en el BLP de Arroyo Grande. (Puede consultar el mapa en la siguiente liga: <https://arcg.is/mrPz00>)**

### Peligrosidad máxima ACA después del incendio en la zona de Arroyo Grande

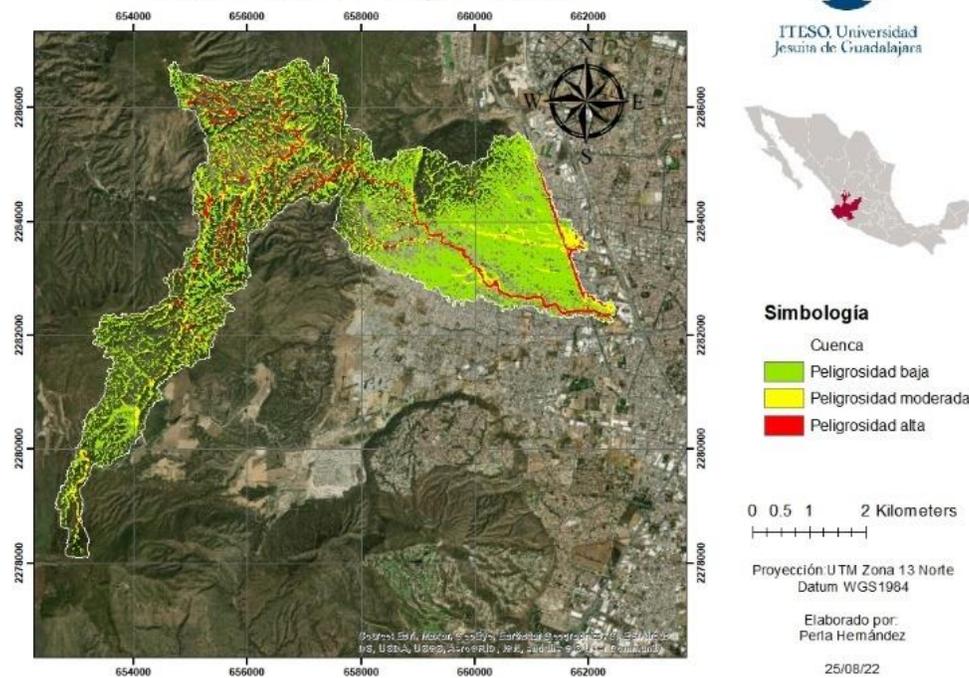


Figura 5. Mapa de peligrosidad máxima ACA después del incendio en el BLP de Arroyo Grande. (Puede consultar el mapa en la siguiente liga: <https://arcg.is/mrPz00>)

### Peligrosidad máxima ACA después del incendio con la implementación de represas y pozo de infiltración en la zona de Arroyo Grande

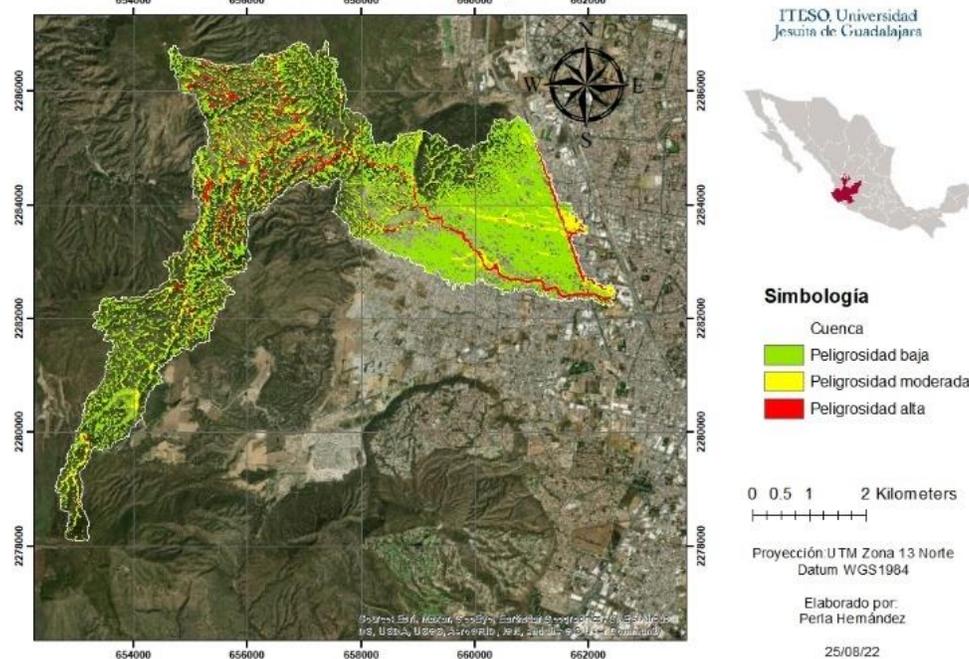


Figura 6. Mapa de peligrosidad máxima ACA después del incendio en el BLP de Arroyo Grande con la implementación de represas y un pozo de infiltración profunda. (Puede consultar el mapa en la siguiente liga: <https://arcg.is/mrPz00>)

Posteriormente, en la tabla 3 se muestran las áreas calculadas a partir de la clasificación de peligrosidad otorgada. En ella se puede observar que las áreas que presentan peligrosidad alta y moderada en el tercer escenario disminuyeron a 1,730 m<sup>2</sup> de peligrosidad moderada y 5,078 m<sup>2</sup> de peligrosidad alta, al comparar los datos del tercer escenario contra el segundo escenario. Asimismo, para el tercer escenario la peligrosidad baja incrementó al compararlo con el escenario 2, por lo tanto, la peligrosidad baja aumento 6,782 m<sup>2</sup> para el tercer escenario el cual cuenta con 85 represas y un pozo de infiltración.

**Tabla 3. Áreas de peligrosidad de cada escenario.**

No. Escenario	Peligrosidad baja	Peligrosidad moderada	Peligrosidad alta
	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]
1	20'261,933	1'527,689	662,371
2	19'799,204	1'635,895	1'017,229
3	19'806,076	1'634,165	1'012,151
<b>Disminución de peligrosidad al implementar la solución [m<sup>2</sup>]</b>	<b>-6,872</b>	<b>1,730</b>	<b>5,078</b>

## ANÁLISIS

El caudal del área de captación ha aumentado como resultado de la impermeabilización de la superficie urbana; por causa del crecimiento exponencial de la población. La ciudad se fue impermeabilizando de manera que ocurren inundaciones cuando el caudal de escurrimiento supera la capacidad de los colectores. No se han tomado medidas de mitigación suficientes (Félix, 2005).

La idea de la propuesta del tercer escenario es que con los sedimentos se rellene la pendiente estable. La pendiente estable es menor a la pendiente de flujo, por lo cual la velocidad es directamente proporcional a la pendiente; la velocidad es directamente proporcional al esfuerzo tangente de rozamiento ( $\tau_0$ ) (fuerza tangente / superficie de rozamiento). De esa manera, si baja la pendiente, baja la velocidad entonces  $\tau_0$  es menor porque se espera que el cauce ya no vaya a erosionar. Se estima que esas represas permitirán reducir el arrastre de sedimentos hasta cuando se restaure la cuenca y regrese la cobertura vegetal en el suelo.

Por lo tanto, de esta manera las represas funcionan como sistemas de infiltración que contribuyen a disminuir las escorrentías superficiales, y por consecuencia las inundaciones, al tiempo que favorecen la recarga natural y artificial del agua subterránea debido a la disminución de la pendiente en el suelo y la reducción en la velocidad de escorrentía de agua superficial (Woods-Ballard *et al.*, 2015). Además, los valores de recarga están basados en simulaciones que otorgan valores aproximados. Para implementar un proyecto de recarga se recomienda realizar un análisis hidrogeológico que incluya información relativa al tipo de acuífero, la capacidad de infiltración del suelo y la conductividad hidráulica (Ojeda, 2016). De la misma manera, es importante mencionar que la cantidad de agua que se infiltraría al bosque tiene una buena calidad, debido a que no ha tenido contacto con actividades antropogénicas.

El agua que llega al subsuelo por medio de la infiltración depende de varios factores: la pendiente de la superficie del terreno, la vegetación, la profundidad del suelo y el tipo de roca (Craig *et al.*, 2007). Por lo

cual, las represas harán que la pendiente baje, entre menos inclinada sea la pendiente, más lento es el movimiento del agua (Sánchez San Román, 2019).

Evidentemente el Bosque de la Primavera es un área natural protegida que provee distintos servicios ecosistémicos a los habitantes del AMG. Como son el provecho recreativo, cultural, de investigación y también por un enfoque a la mitigación al cambio climático. Funciona como un regulador de la temperatura ambiental a los alrededores de la ciudad ya que tanta vegetación funciona como una esponja para la radiación. De igual manera, contribuye a mejorar la calidad de aire del AMG ya que los árboles y forestación absorben un porcentaje de las emisiones industriales.

Es por esto que el desarrollo urbano ha traído por consecuente un aumento en la demanda de servicios ecosistémicos que va de la mano con la disminución de la capacidad de satisfacerlos debido al impacto ambiental de cambio de uso de suelos, deterioro del ecosistema, deterioro de vegetación y otras consecuencias de acciones humanas. A medida que la urbanización avanza en la AMG, se realiza un cambio de paisaje donde todos los arroyos y cauces naturales terminan dentro de vialidades como el arroyo del Atemajac, Chicalote y San Juan de Dios. Lo que ha traído por consecuente afectaciones en el desarrollo urbano y de nuevo pérdida de servicios de ecosistema de ríos como también el control de inundaciones y avenidas de agua, arrastre de sedimentos y la regulación de temperatura, conservación de biodiversidad (IMEPLAN, 2017). La valoración de un paisaje digno y alrededores naturales llenos de vegetación, flora y fauna endémica le suman valor al área natural.

Cabe mencionar que tanto la deforestación y erosión de suelo a causa de incendios, perjudica directamente los servicios del ecosistema que ofrece el BLP. Para mantener los servicios es necesario preservar las zonas forestales. De igual manera la regulación de las inundaciones en la zona urbana permite que las dinámicas urbanas se desarrollen de mejor manera ya que no se verán afectadas por el temporal de lluvias. Esto se traduce en una recuperación económica debido a que no se ven afectadas sus viviendas, bienes como autos, recámaras, cocinas, electrónicos. De igual manera las personas podrán seguir sus vidas e ir a trabajar o a la escuela sin temor a inundaciones. La mitigación a escorrentías y arrastre de sedimentos en la zona del bosque afirma que la cobertura y uso de suelo tiene capacidad de proveer servicios de regulación que brinda el ecosistema. Las coberturas forestales y el desarrollo agrícola juegan un papel muy importante para impedir dichas escorrentías, por ende, se disminuye los riesgos de inundación aguas abajo del Bosque.

## CONCLUSIONES

Finalmente, se puede concluir que los objetivos del presente trabajo se cumplieron, debido a que se analizaron las posibles intervenciones que pueden contribuir a mitigar inundaciones, reestablecer el área incendiada del Bosque La Primavera y optar por la restauración ecológica de la subcuenca de Arroyo Grande. Se estima que el BLP ofrece un servicio de regulación de caudal de 154,974 m<sup>3</sup> y 354,858 m<sup>2</sup> de superficie vulnerable a peligrosidad de inundación alta al considerar un  $T_r=10$  años. Los resultados de la propuesta de implementación de represas no regresan las condiciones del BLP antes del incendio, sin embargo, disminuyen la descarga de agua del escenario después del incendio en 59,908m<sup>3</sup>, y reduciendo el área con peligrosidad alta en 5,078m<sup>2</sup>. Lo que indica que minimizan los accidentes dentro del área urbana debido a la disminución del caudal en el AMG.

Cabe mencionar que las represas que se proponen son prácticamente modificaciones a la naturaleza para su futura sostenibilidad, se

plantean represas creadas con materiales naturales como rocas y costales de polipropileno tejido resiste a perforaciones y roturas. Por lo tanto, no se requiere de un mantenimiento futuro. Es importante tomar en cuenta este aspecto, debido a que en temporadas de lluvia la falta de vegetación ocasiona una disminución en la tasa de recarga, mientras provoca un aumento en los caudales y velocidades de escorrentía, de manera que el suelo desnudo se erosiona y es arrastrado en forma de sedimentos por la lluvia, la cual llega a la ciudad y provoca severas inundaciones.

## REFERENCIAS

**AGENCIA CATALANA DEL AGUA.** (2004). *Guía técnica. Recomendaciones técnicas para el diseño de infraestructuras que interfieren con el espacio fluvial*, ACA, enero, 2004.

**Ayuntamiento de Zapopan.** (2020). *Ayuntamiento de Zapopan*. Obtenido de Estudio hidrológico detallado del municipio de Zapopan: <https://servicios.zapopan.gob.mx:8000/wwwportal/publicfiles/2020-07/Gaceta%20Vol.%20XXVII%20No.%2040%20TIII.pdf>

**Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez Cendón, E., Coll, A.** (2012). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. Obtenido de ELSEVIER España: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213131512000454#:~:text=Iber%20es%20un%20modelo%20matem%C3%A1tico,Compostela\)%20C%20del%20Instituto%20Flumen%20](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213131512000454#:~:text=Iber%20es%20un%20modelo%20matem%C3%A1tico,Compostela)%20C%20del%20Instituto%20Flumen%20)

**Bosque la Primavera.** (2020). *Bosque la Primavera*. Obtenido de Conocer el bosque: <https://bosquelaprimavera.com/conoce-el-bosque/>

**CENAPRED.** (diciembre de 2020). *Centro Nacional de Prevención de Desastres*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/cenapred/es/articulos/la-relacion-entre-el-cambio-de-uso-del-suelo-y-las-inundaciones>

**Conesa, C., & García, R.** (2011). *Factores e índices de peligrosidad de las aguas de avenida en cruces de carreteras con ramblas*. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 195-218.

**Craig, J. R., Vaughan, D. J., & Skinner, B. J.** (2007). *Recursos de la Tierra*. Madrid: Pearson prentice hall.

**Félix, C. P.** (2005). *Riesgo Causado por Inundaciones Pluviales en la Zona de Plaza del Sol*. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.

**IMEPLAN.** (2017a). *Instituto Metropolitano de Planeación de Área Metropolitana de Guadalajara (IMEPLAN)*. Guadalajara. Recuperado a partir de: [http://imeplan.mx/sites/default/files/IMEPLAN/POTmet\\_IIIIFB-BajaRes.pdf](http://imeplan.mx/sites/default/files/IMEPLAN/POTmet_IIIIFB-BajaRes.pdf)

**Ibarra-Montoya, F. M.-M.** (2014). *Researchgate*. Obtenido de WILDFIRES AT LA PRIMAVERA FOREST, JALISCO, MEXICO: AN APPROACH TO POSSIBLE CAUSES AND CONSEQUENCES: [https://www.researchgate.net/publication/321257308\\_Incendios\\_en\\_el\\_bosque\\_la\\_primavera\\_Jalisco\\_Mexico\\_un\\_acercamiento\\_a\\_sus\\_posibles\\_causas\\_y\\_consecuencias](https://www.researchgate.net/publication/321257308_Incendios_en_el_bosque_la_primavera_Jalisco_Mexico_un_acercamiento_a_sus_posibles_causas_y_consecuencias)

Para implementar correctamente estas soluciones es fundamental conocer el comportamiento del agua superficial y subterránea del área de interés. Es decir, llevar a cabo mediciones de hidrología de superficie y subterránea sobre los cuales pueda simularse el flujo del agua por la ciudad y así estar en condiciones de evaluar la capacidad de las soluciones que se busca implementar.

**INEGI.** (2016). *Modelo digital de elevación tipo terreno con 5m de resolución derivado de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados*. Agosto 15, 2022, de INEGI Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463518921>

**Jaafar, H. H., Ahmad, F. A., & El Beyrouthy, N.** (2019). *GCN250, new global gridded curve numbers for hydrologic modeling and design*. Scientific data, 6(1), 1-9. <https://www.nature.com/articles/s41597-019-0155-x>

**De Alba, M. H.** (2019). *Tesis Servicio ecosistémico de regulación de inundaciones en la microcuenca "El Guayabo", Jalisco, México*. Universidad De Guadalajara Centro Universitario De Ciencias Sociales Y Humanidades Departamento De Estudios Socio Urbanos Centro De Estudios Estratégicos Para El Desarrollo Doctorado En Geografía Y Ordenación Territorial.

**Mendoza, E., J. M. Ramírez L and Z. Puerto-Piedra** (2017). *Recarga Utilizando Agua de Lluvia en la Cuenca del Río Magdalena, Ciudad de México*. Manejo de la recarga de acuíferos: un enfoque hacia Latinoamérica. O. G. Escolero, Carlos Mendoza, Edgar. Jiutepec, Morelos, México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua: 227-281.

**Ojeda, C. G.** (2016). *RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS (Managed Aquifer Recharge)*. La Serena, Chile.

**Rojas, D., & González, M.** (2015). *Incertidumbre en los modelos hidrológicos y planeación de obras hidráulicas en México*. Obtenido de SciELO: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382015000200006&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382015000200006&script=sci_arttext&tlng=pt)

**Sánchez San Román, J.** (2019). *Conceptos fundamentales de hidrogeología*. Obtenido de Universidad Salamanca: <http://hidrologia.usal.es>

**Vanegas, L., Vargas, D., Ochoa, G., & Grindlay, A.** (2022). Flood Mitigation in Urban Areas through Deep Aquifer Recharge: The Case of the Metropolitan Area of Guadalajara. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph19063160>

**Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R.** (2015). *CIRIA*. Obtenido de The SuDS Manual: <http://www.scotsnet.org.uk/documents/nrdg/ciria-report-c753-the-suds-manual-v6.pdf>