

## Ficha 3. Descripción del modelo

### Antecedentes

La historia del conflicto sobre el proyecto Zapotillo ha creado varios productos científicos que han intentado abordar las incertidumbres y riesgos de un proyecto de esta magnitud. Primero, basándose en la norma mexicana NOM-011-CAN-2000, IMTA (2005) estimó no la factibilidad de la represa, sino la relación entre su altura y su máxima extracción de agua. Aunque este estudio exploró los escenarios de la demanda futura de agua en la cuenca donante, no exploró los escenarios del efecto del cambio climático en los patrones de precipitación. El estudio también recomendó el escenario más optimista donde el uso del agua superficial no aumentaría en el futuro, una decisión poco realista. El estudio tampoco consideró el papel del uso del agua subterránea en el flujo base del Río Verde y el hecho de que, debido al mercado negro de derechos del agua subterránea, la extracción del agua subterránea continuaría aumentando y, por ende, el flujo base del Río Verde disminuiría. Posteriormente, CONAGUA (2006; 2008) publicó la Evaluación de impacto ambiental del proyecto de aprovechamiento del Río Verde, que descartó cualquier efecto negativo relevante en la cuenca donante.

Cuando el gobierno del Estado de Jalisco rediseñó la presa de 80 a 105 m en 2007 para que Guadalajara fuese un segundo usuario de la presa, IMTA no publicó ningún estudio complementario para evaluar un segundo usuario de agua y una mayor distribución de agua. En 2014, la Asociación Ganadera de los Altos encargó al ITESO que estudiara los posibles efectos sociales negativos de la transferencia de agua. El estudio (Ochoa-García et al., 2014) concluyó que, según datos oficiales, la región de Los Altos ya tenía un déficit de agua, por lo que no era factible continuar con el proyecto de trasvase de agua sin acarrear serios efectos socioeconómicos y ambientales negativos a la cuenca del Río Verde.

Después, CEA-Jalisco publicó un estudio de disponibilidad de agua basado en la norma mexicana actualizada NOM-011-CAN-2015 (IMTA, 2015). Si bien el estudio incluyó el cambio climático como una variable, el estudio ignoró sus efectos debido a su alta incertidumbre. El estudio no incluyó la demanda futura de agua ni evaluó el comportamiento de la presa según la esorrentía y su uso del agua. Como resultado, el estudio solo argumentó que había suficiente agua disponible en la cuenca del río Verde para las próximas décadas.

A finales del 2015, el Gobierno de Jalisco contrató a UNOPS para desarrollar un modelo integral de recursos hídricos de la Cuenca del Río Verde a fines de 2015. Durante dos años, el equipo recolectó información social e hidrológica *in situ* de la cuenca del Río Verde. El equipo de UNOPS luego procedió a modelar la cuenca utilizando el software WEAP. Este modelo tiene muchas ventajas metodológicas sobre el estudio de IMTA, como la capacidad incorporada de la plataforma para crear escenarios futuros que incluyeron el *cambio climático* y las variables de *demandas de agua futura*.



IHE  
DELFT

SimBasin

Río Verde TU Delft

De cinco escenarios que el equipo de UNOPS desarrolló (Figura 1), el equipo concluyó que solo el quinto escenario se desempeñó bien con los indicadores de vulnerabilidad, resiliencia y confiabilidad. Sin embargo, el buen desempeño del escenario cinco dependió de la reducción del 13% del gasto firme de agua que se transferiría a León, Guadalajara y Los Altos. El equipo de UNOPS recomendó al Gobierno de Jalisco que prosiguiera con el proyecto con estos ajustes y una altura de presa de 105 m.



**Figura 1. Comparación de los cinco escenarios desarrollados por el equipo de UNOPS (2017).**

## Modelo Participativo de Gestión Integrada del Agua para el Río Verde, León y Guadalajara

A pesar de las mejoras metodológicas introducidas por el proyecto de UNOPS, el modelo presentó algunas inconsistencias. Si bien el estudio de UNOPS se distingue de los trabajos anteriores de IMTA en relación con el uso de variables importantes como el cambio climático y la futura demanda de agua, éstas solo se utilizaron en el cuarto escenario, lo que fue irrelevante para la toma de decisiones. El quinto escenario, que fue el fundamento para la administración estatal de Jalisco para seguir con los planes de construir la presa y el trasvase, no contempló ni el cambio climático ni las demandas futuras.

El modelo de UNOPS parecía responder a la pregunta incorrecta: *¿cómo optimizar la infraestructura ya existente?* Esta pregunta asume que la decisión ya fue tomada, y los únicos indicadores valiosos son aquellos relacionados con el suministro de agua a Guadalajara y León.

Nuestro proyecto plantea una pregunta mucho más importante: *¿cómo elegir de manera conjunta la mejor alternativa para dotar de agua a León y Guadalajara, proteger los*



IHE  
DELFT

SimBasin

Río Verde TU Delft

*intereses de las poblaciones afectadas en Los Altos y garantizar la sustentabilidad hidrológica en las tres regiones bajo un escenario de cambio climático?*

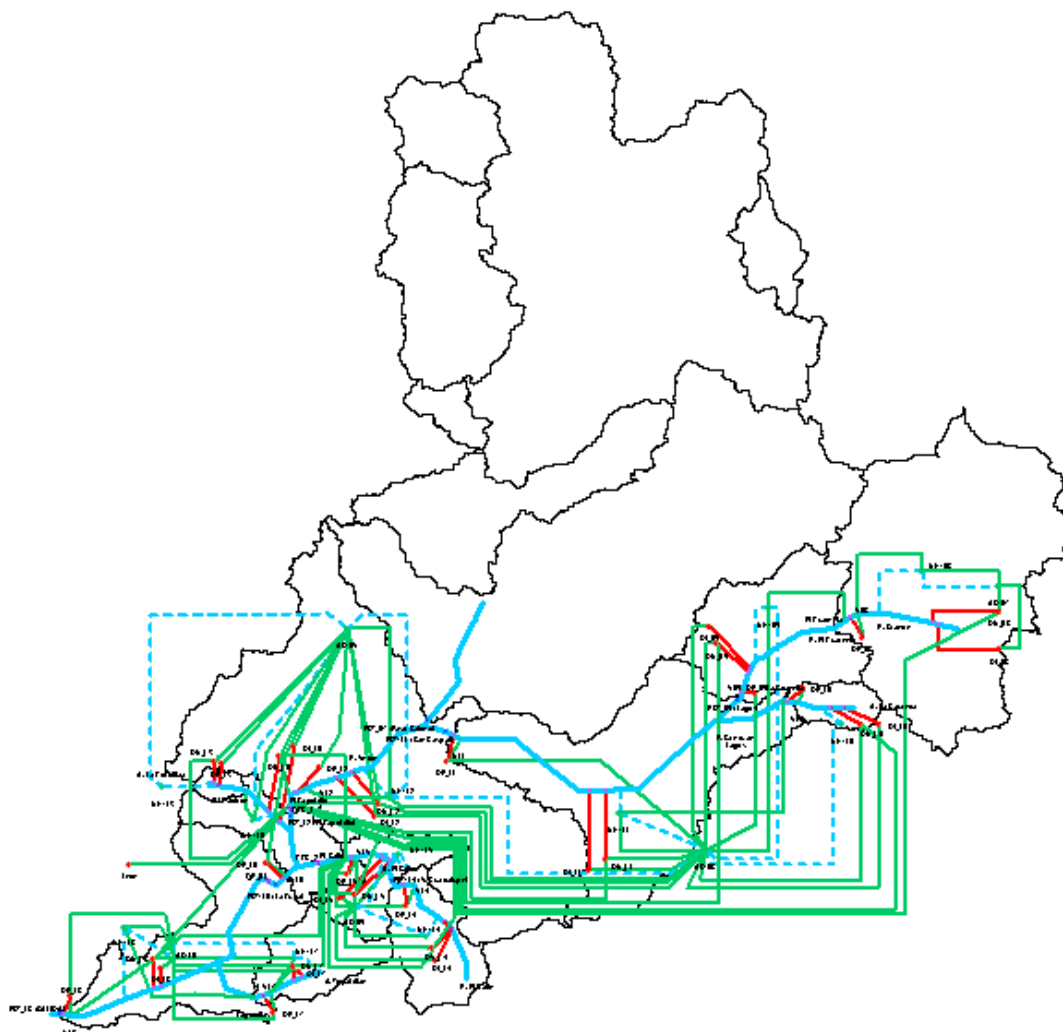
Con el objetivo de proporcionar un análisis más significativo a los actores en conflicto, incluimos en el modelo variables que representasen alternativas a la presa El Zapotillo y el trasvase de agua. Tales alternativas se basaron en las mismas propuestas promovidas por los actores del conflicto. Esto permitirá a los participantes del taller evaluar de forma iterativa todas las alternativas de manera integrada, con indicadores sociales más significativos.

#### Metodología: Hackeo al modelo de UNOPS

Debido a que el modelo de UNOPS es el esfuerzo más importante para crear un sistema de ayuda para la toma de decisiones para la cuenca del Río Verde, pedimos por transparencia los archivos completos del modelo. Luego analizamos el modelo para entender las interacciones de todos los elementos del sistema y todas las suposiciones que había detrás. Encontramos que el modelo que recibimos por transparencia tiene una estructura interna sólida que hace que sus resultados sean confiables. Pero la estructura técnica para la toma de decisiones basada en la exploración de escenarios aparecía de manera sesgada y poco justificada. Lo anterior representó una oportunidad invaluable: usar la estructura interna del modelo de UNOPS para integrar variables socialmente relevantes para la exploración de escenarios y toma de decisiones. Para aprovechar esta oportunidad, nuestro equipo de investigadores tuvo que sortear cuatro retos: disminuir el tiempo de ejecución del modelo; incorporar nuevas estrategias para explorar escenarios al modelo; acoplar el modelo WEAP con una plataforma con una interfaz de usuario amigable, accesible a cualquier persona y basada en código abierto; y desarrollar indicadores más relevantes a los actores sociales en el conflicto.

#### Tiempo de ejecución

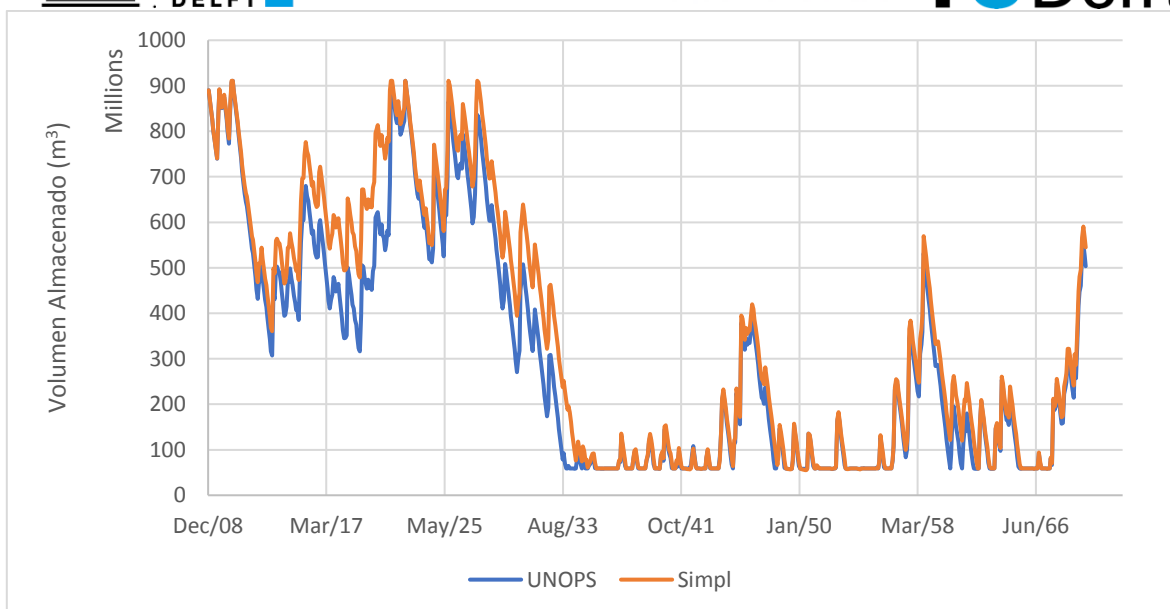
El tiempo de ejecución del modelo de UNOPS es de más de una hora. Esta característica hacía inviable una modificación del modelo para consulta directa ciudadana. Con el objetivo de alentar la participación ciudadana en la construcción de escenarios, redujimos este tiempo de ejecución. Para lograrlo, la cuenca del Río Verde se dividió en dos. La primera fue la región norte, la cuenca superior que empieza en Aguascalientes hasta la represa El Niagara, se separó del modelo y solo usó sus datos de salida, que se convirtieron en datos de entrada de la región sur de la cuenca (Figura 2). Para calibrar el modelo se usó la estación de medición El Ajojujar. De esta manera, el tiempo de ejecución del modelo disminuyó a menos de 10 minutos.



**Figura 2. Modelo optimizado del modelo WEAP**

Aunque el modelo fue optimizado, los resultados de los modelos fueron consistentes y solo con ligeras variaciones que no afectan las tendencias generales. La Figura 3 compara los resultados en el almacenamiento de El Zapotillo para el escenario 4 de UNOPS y los resultados de nuestro propio modelo optimizado con los mismos parámetros.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Para validar nuestra optimización solo tomamos el escenario 4 que incluye las variable de cambio climático y demandas futuras, ya que consideramos que éstas variables son las que más se apegan a la realidad.



**Figura 3. Validación del modelo optimizado mediante la comparación de capacidades de almacenamiento de la presa El Zapotillo.**

#### Nuevas estrategias

Logrado ese primer objetivo, luego nos dimos a la tarea de introducir estrategias que representasen alternativas a la presa El Zapotillo y el acueducto a León. Tales estrategias modificaron las variables de entrada del modelo y añadieron otras variables. Basándonos en tendencias discursivas basadas en literatura científica (ver Ficha 5), reportes gubernamentales, periódicos regionales y entrevistas a actores clave, generamos estrategias adicionales que interactuasen con el modelo desarrollado por UNOPS: **distintas alturas de la presa y su posible desmantelamiento, distintas formas de distribuir el agua de la presa, reparación de fugas en la red de distribución en las ciudades de León y Guadalajara, captación de aguas pluviales, gestión de la demanda, captación de aguas de tormenta, límites al crecimiento, reutilización de aguas tratadas, precios del agua, tecnificación del campo para liberar agua a la demanda urbana y caudales ecológicos.**

Para incorporar estas estrategias fue necesario anexar las dinámicas socio-hidrológicas de Guadalajara y León al modelo como nuevas variables. Específicamente agregamos nuevas fuentes de abastecimiento para modelar la captación de agua de lluvia y agua de tormenta. La Tabla 1 presenta la comparación de las fuentes de agua para cada región, la demanda total y el déficit que presentan respecto a estas fuentes de agua.

**Tabla 1. Comparación de la demanda y abastecimiento para Los Altos, Guadalajara y León (SIAPA, 2017; CEA Jalisco, 2018; SAPAL, 2018; Conagua 2016)**

	<b>Población</b>	<b>Total water supplied and per capita</b>	<b>Fuentes de abastecimiento</b>	<b>Déficit</b>
<b>León</b>	1,578,626	2.56 m <sup>3</sup> /s (80.8 hm <sup>3</sup> /año) 140 l/cap/d	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Acuíferos</b> 2.42 m<sup>3</sup>/s (76.6 hm<sup>3</sup>/año) 95.3%</li> <li>• <b>Presa Palote</b> 0.13 m<sup>3</sup>/año (4.2 hm<sup>3</sup>/año) 4.7%</li> </ul>	Sobre explotación de acuíferos Valle de León y Romita= 177 hm <sup>3</sup> /año
<b>Guadalajara<sup>2</sup></b>	4,128,981	9.97 m <sup>3</sup> /s (313 hm <sup>3</sup> /año) 207 l/cap/day	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Lago de Chapala</b> 5.97 m<sup>3</sup>/s (188.5 hm<sup>3</sup>/año) 60%</li> <li>• <b>Acuíferos</b> 2.72 m<sup>3</sup>/s (85.8 hm<sup>3</sup>/año) 27%</li> <li>• <b>Presa Calderón</b> 1.1 m<sup>3</sup>/s (35.4 hm<sup>3</sup>/año) 11%</li> <li>• <b>Manantiales</b> 0.14 m<sup>3</sup>/s (4.6 hm<sup>3</sup>/año) 2%</li> </ul>	Sobre explotación de acuíferos Atemajac y Toluquilla= 84.5 hm <sup>3</sup> /año
<b>Los Altos</b>	855,575	2.12 m <sup>3</sup> /s (67.1 hm <sup>3</sup> /año) 214 l/cap/d	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Agua superficial público-urbano</b> 19 hm<sup>3</sup>/año</li> <li>• <b>Agua subterránea público-urbano</b> 48.1 hm<sup>3</sup>/año</li> <li>• <b>Agua superficial (todos los usos)</b> 276.5 hm<sup>3</sup>/año.</li> <li>• <b>Agua subterránea (todos los usos)</b> 619.9 hm<sup>3</sup>/año.</li> </ul>	Sobre explotación de los 17 acuíferos = 155.4 hm <sup>3</sup> /año.

La Figura 4 ofrece una descripción gráfica de la ubicación de las tres regiones. Como se puede ver, las fuentes de abasto superficiales de las tres regiones son distintas. Los Altos usan el agua del Río Verde y sus acuíferos. Guadalajara se abastece por medio del agua del Lago de Chapala, acuíferos y la Presa Calderón que se encuentra fuera de la cuenca del Río Verde. León se abastece primariamente de sus acuíferos, y usa solo un pequeño porcentaje de la Presa El Palote, que se nutre de la escorrentía de Sierra de Lobos, al norte de la ciudad.

<sup>2</sup> Se asume solamente la población tan solo de los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá.





IHE  
DELFT

SimBasin

Río Verde TU Delft

Respecto al agua subterránea, hay incertidumbre sobre las interacciones que puedan tener los acuíferos de los que se abastecen las tres regiones. Por su cercanía, se asume que los acuíferos de lo que se abastece León y Los Altos pueden tener influencia entre sí. Los acuíferos de los que se abastece Guadalajara, al estar localizados en un gradiente distinto se asume que estén relativamente desconectados de la cuenca del río Verde.

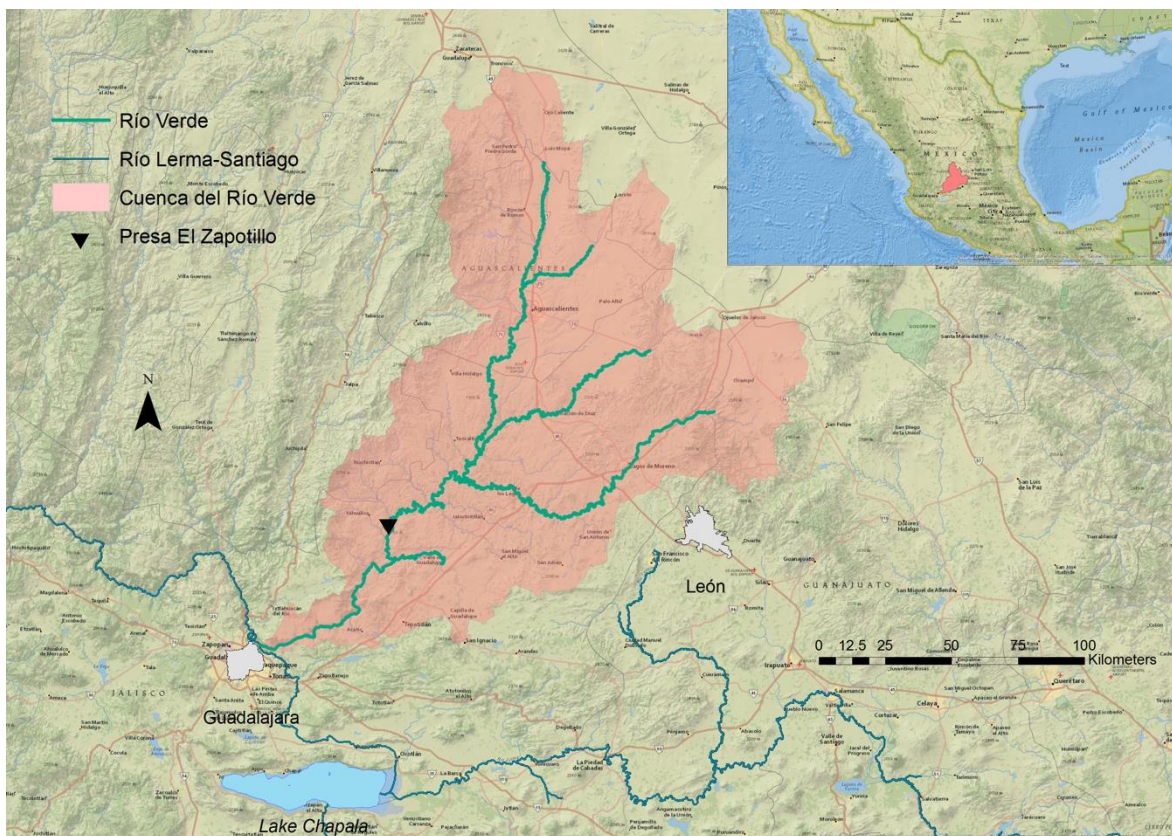


Figura 4. Área de estudio

#### Plataforma Simbasin Río Verde

Acoplamos el sistema WEAP de UNOPS con la plataforma *open source* “SimBasin” desarrollada por Joanne Craven de IHE Delft ([simbasin.hilab.nl/en/index.html](http://simbasin.hilab.nl/en/index.html)). Esta plataforma utiliza macros en Excel para controlar el software WEAP y presentar los resultados de una manera más fácil y clara para el usuario. Introdujimos las variables ya mencionadas anteriormente y las dejamos interactuar con las otras variables integradas del modelo WEAP original. Los participantes en el taller tomarán tres decisiones en cuatro períodos de tiempo (ver Ficha 5 para una descripción más detallada). Los participantes decidirán entre cuatro opciones relacionadas entre sí. Todas las filas de opciones están relacionadas y representan diferentes tipos de estrategias de gestión de agua para la cuenca: incremento de la oferta y/o gestión de la demanda.

## Indicadores

Después reemplazamos los indicadores generados por UNOPS (vulnerabilidad, resiliencia y confiabilidad) por indicadores que reflejaran los objetivos relacionados a la pregunta *¿cómo elegir de manera conjunta la mejor alternativa para dotar de agua a León y Guadalajara, proteger los intereses de las poblaciones afectadas en Los Altos y garantizar la sustentabilidad hidrológica en las tres regiones bajo un escenario de cambio climático?*

Para el primer objetivo generamos el indicador de la relación de la demanda de agua de estas ciudades y el agua abastecida. Este indicador tiene un carácter temporal de largo plazo que traza la relación dinámica entre la oferta y la demanda. Tal indicador refleja la **seguridad hídrica** de estas ciudades. Aunado a este indicador, es importante resaltar un indicador de **confiabilidad**, el cual está basado en la demanda insatisfecha a todos los puntos de demanda.

Para el segundo objetivo, desarrollamos indicadores sociales que tienen que ver con la **equidad social en la toma de decisiones**. Calculamos la productividad del agua en el sector agropecuario y estimamos las pérdidas económicas de tener que ceder esa agua a las zonas urbanas.

Por último, desarrollamos el indicador de **sustentabilidad de los sistemas hidrológicos**. Tal indicador se basó en el caudal ecológico en la descarga del Río Verde al Río Santiago, y en el nivel de los acuíferos del norte y sur de los Altos de Jalisco, y los acuíferos de Valle de León, Toluquilla y Atemajac.

Al final de la toma de decisiones del modelo, presentamos una tabla comparativa de costos entre las estrategias escogidas.

## Bibliografía

- CONAGUA. (2006). MIA, modalidad regional del proyecto: Presa el Zapotillo, para abastecimiento de agua potable a los Altos de Jalisco y la ciudad de León, Gto., *Capítulo V*, 223–251.
- CONAGUA. (2008). Manifestación de Impacto Ambiental, modalidad regional del Proyecto: Presa El Zapotillo, para Abastecimiento de Agua Potable a Los Altos de Jalisco y a la Ciudad de León, Gto.
- IMTA. (2005). Estudio Hidrológico Complementario Sobre el Aprovechamiento y Crecientes Para el Diseño de la Presa de Almacenamiento El Zapotillo, Río Verde, Jalisco.
- IMTA. (2015). *Evaluación de la disponibilidad conforme a la norma NOM-011-CNA-2000 para el abastecimiento de la ZCG. Informe final*. Guadalajara.
- Ochoa-García, H., Arrojo, P., Godínez-Madrigal, J., López-Villegas, P., López-Aguayo, A., & Quiroz-Hernández, M. (2014). *Agua para el desarrollo regional en los Altos de Jalisco. Gestión del agua e impacto social del proyecto El Zapotillo*. Tlaquepaque: ITESO.
- UNOPS. (2017). 14. Análisis de Escenarios de Modelación. UNOPS. Retrieved from <http://201.131.6.193:8001/JaliscoSostenible/informe/>