

---

---

## Caracterización de la vida útil del vaso Hermanos Escobar basada en la tasa de azolve anual observada durante las tormentas intensas propias del verano

PhD. David Zúñiga de León e Ing. Oscar Javier López de la Rosa

### Resumen

La capacidad de las obras de infraestructura hidráulica tales como: Presas, Diques y Sistemas de drenaje, merecen una atención especial a fin de que brinden seguridad a las personas que viven en su entorno. Por ejemplo, el vaso Hermanos Escobar (HE) está ubicado en una amplia zona urbanizada de Ciudad Juárez y presenta reducción de su capacidad. El problema de éste depósito es que durante la temporada de verano, tormentas periódicas de alta intensidad y corta duración causan la acumulación de gran volumen de agua y sedimentos que son transportados y almacenados en el vaso. En resumen, este trabajo se enfoca en la investigación de la relación entre la intensidad de la lluvia y la tasa de sedimentos arrastrados por los arroyos principales de la microcuenca por lo que, tres grandes objetivos son investigados. La producción de sedimentos que depende de la intensidad y duración de la precipitación implica un análisis de las lluvias de diversa intensidad. Por lo tanto, primero se evaluó la cantidad de sedimentos (azolves) como una función de estas. Posteriormente, se consideró la influencia de la capacidad del vaso de captación producida por sedimentos finos tales como limos arcillas y coloides. Por último, a fin de hacer la anterior simulación dos importantes programas fueron utilizados. Uno, el programa Arc-GIS versión 10.2 a través de su módulo (Hydrology tools) para establecer los parámetros de la hidrología y geomorfología de la cuenca. Estas componentes se incluyen en las herramientas de geo-procesamiento espacial como herramientas del módulo de hidrología. El otro programa es el HEC-HMS muy popular para evaluar los modelos de lluvia-escurrimiento para las áreas desérticas de la zona en estudio. Este programa también es capaz de importar los archivos formulados en Arc-Gis 10.2 (.SHP) donde el programa HEC-HMS en su versión apropiada puede leerlos e insertar las cuencas, microcuencas y sistemas de drenaje implícitos.

Palabras clave: Capacidad; Sedimentos; Lluvia - Escurrimiento; Arc-Gis; HEC-HMS; Vaso de Captación

### Introducción

Ciudad Juárez se encuentra en un ambiente desértico con escasos eventos de lluvia, mayormente de corta duración y alta intensidad. Sin embargo, en promedio, las precipitaciones en la ciudad no rebasan los 254 mm por año. Por lo anterior, muchos diques superficiales han perdido de manera considerable su capacidad por lo que es urgente implementar un plan piloto con el objetivo de remediar y mitigar el problema. En resumen, esta investigación se centra en

tres temas importantes. En primer lugar, la evaluación de los parámetros espaciales y geomorfológicos que intervienen en el modelo de lluvia-escurrimiento usando el programa Arc- Gis 10.2. En segundo lugar, el modelo lluvia-escurrimiento HEC - HMS versión 3.5 que se usó para simular y evaluar la cantidad de almacenamiento de agua, así como el escurrimiento del sistema de arroyos dentro de la microcuenca. Finalmente, el depósito de basura y azolves

que se deposita en el vaso para diferentes tormentas se estimaron en el laboratorio de mecánica de suelos con el fin de encontrar

el volumen de sedimentos finos (arcillas y coloides) y su influencia en la capacidad de vaso Hermanos Escobar.

### **Localización y principales características del área de estudio.**

Ciudad Juárez Chihuahua, México se encuentra situada al norte de la República Mexicana y al sur de los Estados Unidos de América por lo que funciona como una división política con El Paso Texas y el Río Bravo (línea roja continua en la figura 1). La principales estructuras en el área de estudio son: El vaso de captación HERMANOS ESCOBAR, que está indicada como un polígono de color rojo; La Montaña de Juárez que alimenta con sedimentos a las áreas de valles están marcados de acuerdo con la elevación topográfica definida y

delimitada espacialmente mediante el Modelo Digital de Elevación (MDE) que se obtuvo mediante el uso del programa Arc – Gis 10.2; El área urbanizada de la Ciudad se indica como la traza de color negro. La clave o leyenda fue extraída con el uso de las herramientas contenidas en el módulo de geo-proceso del programa Arc -GIS 10.2 y está representada por diferentes colores de acuerdo con su elevación; La cuenca Lomas del Rey está definida por el perímetro marcado en color rojo trazos ESCOBAR (véase la figura 1).

### **Métodos y Resultados**

En primer lugar, se evaluaron los parámetros geomorfológicos tales como: Áreas de las microcuencas y cuencas, así como el sistema de drenaje correspondiente. Posteriormente, se construyó el Modelo Digital de Elevación (MDE) tomando como base los datos de un archivo de puntos de elevación. Estos puntos que se conocen como Lydar y están espaciados a una distancia de un metro para hacer el levantamiento con la resolución apropiada y de esta manera generar la superficie de la zona de estudio. Una vez que se colectaron los puntos Lydar UACJ (2011) estos se procesaron y se importaron al programa Arco-Gis 10.2 dando como resultado un conjunto entramado de datos a los que se les asignó el nombre (Lomrey conjunto de datos).

Después de eso, se emplearon las herramientas de Hidrología incluidas en el análisis espacial para configurar las microcuencas y el sistema de drenaje respectivo: Posteriormente se llena la trama con los siguientes parámetros: Conversión del archivo TIN a formato raster; Relleno de las depresiones que se detecten en el archivo raster previamente obtenido; Obtención de la dirección del flujo; Acumulación de flujo; Longitud de flujo; Configuración de la Cuenca; Acumulación o vertido de flujo o sistemas de arroyos que confluyen al punto bajo de captura; Orden de los arroyos; translación de las características a las cuencas hidrográficas. Por último, una vez que se obtuvieron los modelos Raster se realiza la conversión de estos archivos a

formato vectorial cuyas características se guardan como (.shp). De esta manera, se obtuvieron los atributos de: área de la cuenca y microcuencas por lo que se registraron en el programa para las tres microcuencas que se muestran en la figura 2 (colores azul, verde y rojo). Además, un sistema de drenaje completo para el área total de estudio de la cuenca se muestra en color blanco. De manera paralela se definió la red de drenaje que es presentada en el mapa, esta sugiere una polarización entre el drenaje de la cuenca y la zona urbanizada con características tales como: Calles y canales que son fáciles de distinguir e Identificar. Bajo estas consideraciones, características tales como: (las vialidades perimetrales como: Juan Gabriel; Casas Grandes; Teófilo Borunda OESTE y Teófilo Borunda ESTE). Por último, el rojo sub-cuenca llamada Lomas del Rey es el objetivo de la presente investigación (véase la Figura 2).

Segunda Parte. En esta segunda etapa se trabajó con el modelo de Lluvia-Escurrimiento por lo que se utilizó el programa de Ingeniería Hidrológica conocido como: (HEC-HMS) versión 3.5. Este programa es muy efectivo para modelar el escurrimiento directo asociado a las tormentas de lluvia durante varios periodos de retorno. En la presente investigación se utilizó un período de retorno de 100 años para las precipitaciones históricas, por lo que se consideró la tormenta de diseño de 55 mm para Ciudad Juárez (Zúñiga., 2013; Zúñiga et al. 2015). Se usaron los parámetros físicos y geomorfológicos obtenidos en la primera etapa para las diferentes sub-cuencas del área de estudio

como: Áreas, perímetros, longitudes y pendientes del sistema de drenaje de acuerdo con la sección, de manera paralela, se llevó a cabo el modelado programa HEC-HMS versión 3.5 usando el criterio del Número de Curva (NC) establecido por SCS (1983) en: V.T. Chow., et al. (1994) Un inventario de campo para las tres sub-cuencas para evaluar los coeficientes de escorrentía (NC) también se realizaron para Lomas del Rey. Estos parámetros fueron investigados de acuerdo con el uso del suelo de la región y por las tasas de infiltración de los diferentes suelos hidrológicos: (A, B, C y D). Además, los parámetros tales como: Las áreas impermeables y longitud principal corrientes se definieron como: sub-cuencas conectadas en el orden de: Alta, Media y Baja con el fin de calcular su tiempo de concentración ( $T_c$ ). Considerando la evaluación directa de la escorrentía media superior e inferior de estas sub-cuencas se definieron tres pasos principales. A) pérdidas iniciales de (0.2) fueron de acuerdo con la recomendación del método, Por último, las zonas impermeables como calles y muchas plataformas como áreas de estacionamiento fueron incluidos en estas. B) Esta parte se cubrió midiendo la longitud del campo de las corrientes principales así como la pendiente y el coeficiente de manning ( $n$ ), Se procedió a determinar el tiempo de concentración ( $T_c$ ) Chow., et. al., (1994); HEC-HMS 3.5 en United States Army Corps of Engineers (2000). Finalmente, la evaluación del tiempo de demora usando el criterio del 60% del ( $T_c$ ) en HEC-HMS 3.5

En resumen, los resultados de HEC-HMS están disponibles, dos hallazgos

importantes merecen ser destacados en la presente investigación, estos son: 1) un volumen de 220,500 m<sup>3</sup> de agua se almacenan en el vaso HERMANOS ESCOBAR para un período de retorno de 100 años; 2) La descarga correspondiente para ese mismo período fue de 57 m<sup>3</sup>/seg. Esta descarga se vierte a lo largo de dos afluentes y dos sub-cuencas (véase figura 3). 3) Por último, los suelos finos depositados en el vaso HERMANOS ESCOBAR fueron evaluados por Oscar de

la Rosa (2015) durante tres eventos de lluvia: Primero, uno de (0,689 kg / m<sup>3</sup> = para 1 mm) registrados el 17 de marzo durante una tormenta de duración (14:20-15:20), otros (0,455 kg / m<sup>3</sup>=0.8 mm) registrada el 10 de agosto durante el período de (23:45-24:45) y el otro (1,6 kg / m<sup>3</sup> = 1.8 mm) registrada el 24 de agosto durante un período de (1:15-2:15). Finalmente, se obtuvieron volúmenes de depósitos de 1,13 kg / m<sup>3</sup> por cada 1 mm de precipitación.

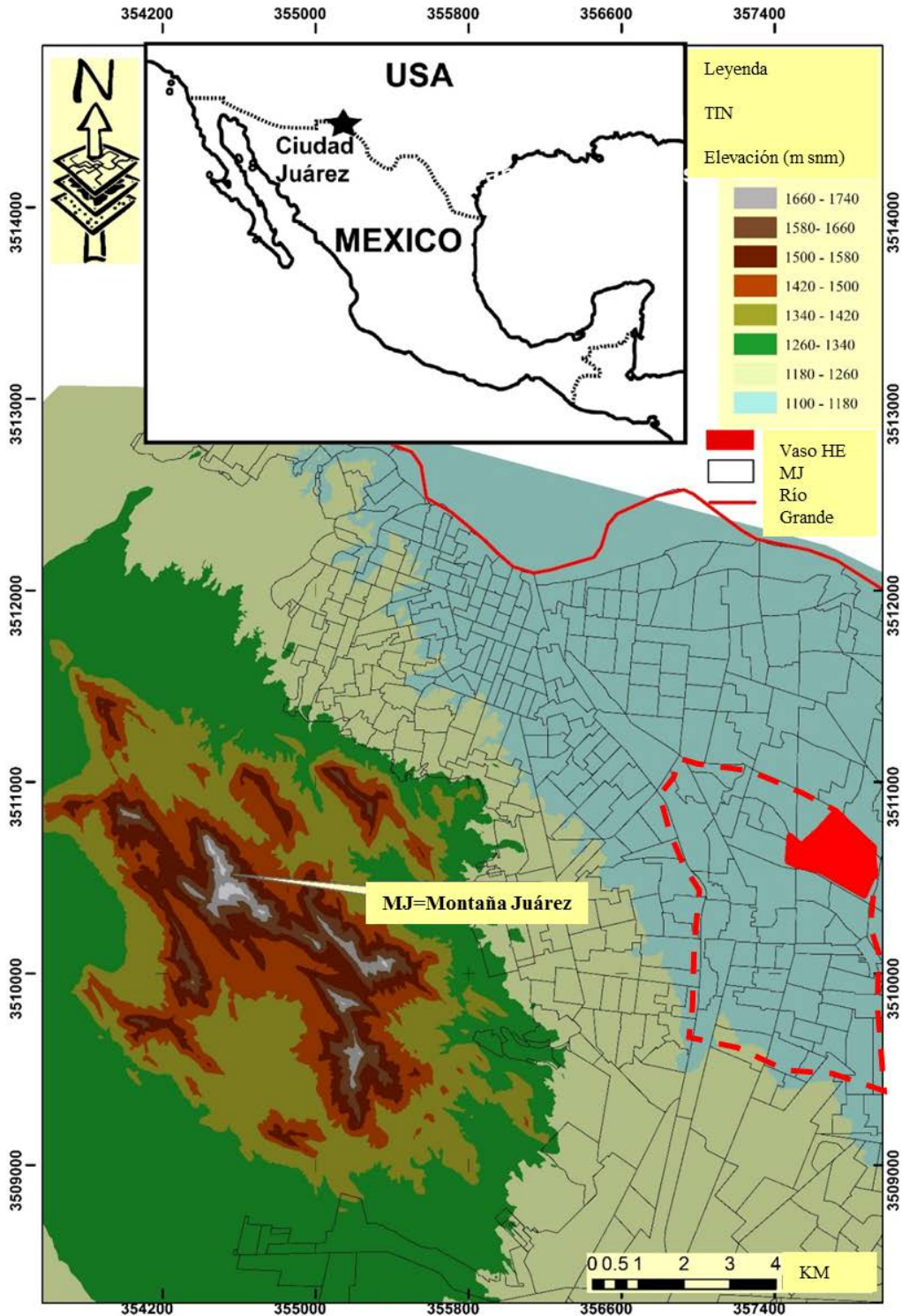


Figura 1 Localización del área de estudio: Modelo Digital de Elevación, ver leyenda en la parte superior derecha; sistema vial (color gris); vaso Escobar (HE) (polígono color rojo); Límites del área de estudio y parteaguas de microcuena (líneas discontinuas color rojo); del Río Bravo = (Río Grande) línea continua color rojo, JM = Montañas de Juárez. Sistema de Coordenadas: UTM y datum WGS 1984. Fuente: Zúñiga (2013) GIS Arc-Map 10.2 y base de datos puntos Lydar obtenidos de laboratorio de Sistemas de Información Geográfica UACJ (2011).



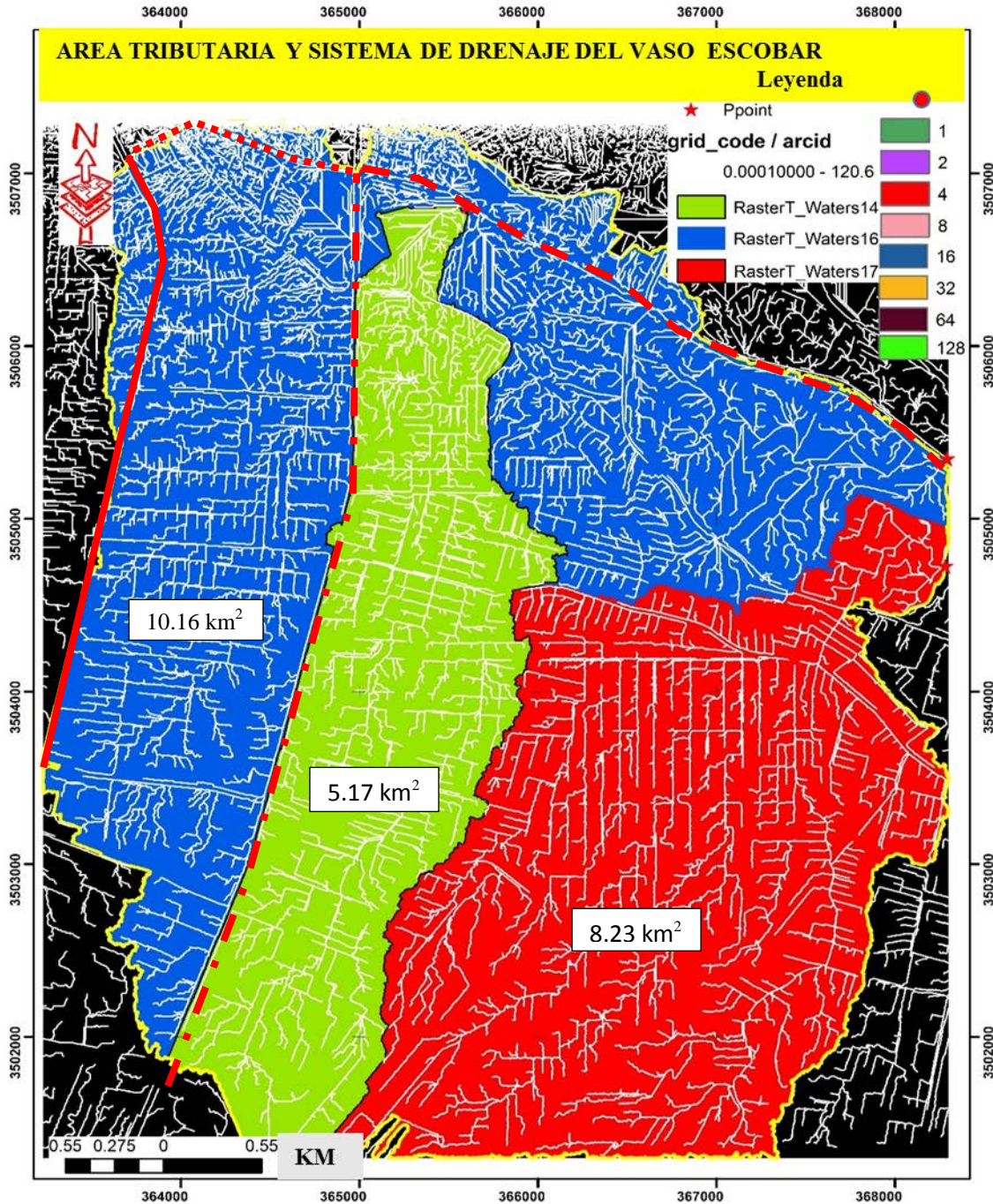


Figure 2 Estructuras en el área de estudio: Sistema de Drenaje (color blanco) vaso ESCOBAR definido de la base de datos de la Cuenca Lomas del Rey (color rojo); Cuenca Oeste (color azul); Center; Cuenca central (color verde); Vialidad eje Juan Gabriel (línea color verde continua); Vialidad Casas Grandes (línea de ejes color rojo); Vialidad hacia el Oeste de la calle Teófilo Borunda (Línea de puntos color rojo); vialidad Norte de la vialidad Teófilo Borunda (línea discontinua de color rojo) coordenadas UTM datum WGS 1984. Fuente: Zúñiga (2013) GIS Arc-Map 10.2 y base de datos puntos Lydar obtenidos de laboratorio de Sistemas de Información Geográfica UACJ (2011).

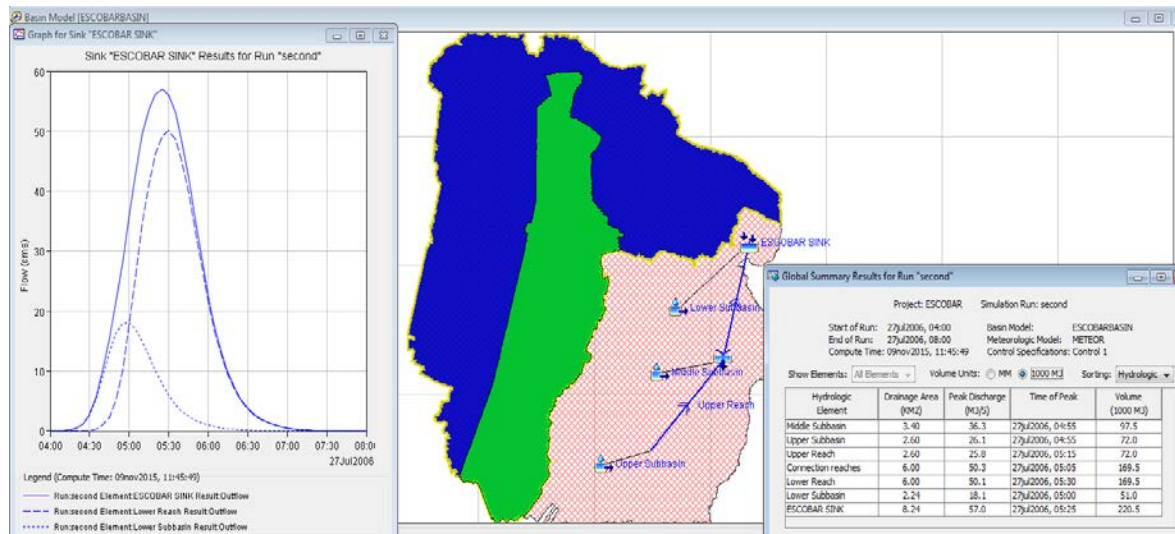


Figura 3 Modelo de Lluvia- Esguerrimiento HEC-HMS 3.5 para las 4 microcuencas: almacenamiento de agua en el vaso HERMANOS ESCOBAR y descarga en el mismo de 55 mm en una hora de duración de lluvia intensa ver área asurada de color rojo. Fuente: HEC-HMS 3.5 y Arc-Gis 10.2

## Discusión y conclusión

El vaso de captación Hermanos Escobar presenta riesgo permanente de inundación, sobrellenado con suelos muy finos mayormente limos, arcillas y coloides que están provocando su pérdida de capacidad. Esto se debe a que la mayor parte del volumen de partículas finas se depositan en el vaso como respuesta de las Lluvias intensas de la temporada cálida del verano.

Lo anterior, se destaca dado que su capacidad original es de aproximadamente **214,000 m<sup>3</sup>** JMAS (2014). Sin embargo, la tasa de depósito determinada actualmente es de **1.13 kg/m<sup>3</sup>** por cada 1 mm de precipitación, lo que produciría **2362 ton** de azolve por año, Aproximadamente (**4015 m<sup>3</sup>**). Como resultado, el vaso Hermanos Escobar tendría una vida útil de **53 years**.

Por otra parte, la tasa de lluvia/esguerrimiento definida en el modelo HEC-HMS en este trabajo descrito en la tercer etapa (figura 3) para un evento de lluvia de **55 mm** que corresponde a un período de retorno de 100 años puede producir un sobre-derramamiento del vaso ESCOBAR porque **220,500 m<sup>3</sup>** rebasan su capacidad de **214,000 m<sup>3</sup>** (ver figura 3).

## Referencias

- Arc-Gis 10.2 modelling computer programs.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). Hidrología aplicada. En V. T. Chow, D. R. Maidment, & L. W. Mays, *Hidrología aplicada* (págs. 110, 130). Santa fé de Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA.
- HEC-HMS 3.5 (2000) "Hydrology Modeling System" US Army Corps of Engineers Hydrology Engineering Center. Disponible en: Corps of Engineers of Texas internet web page
- JMAS. (2014). Estudio de factibilidad de agua pluvial al acuífero. Juárez.
- López., de la Rosa., O.J. (2015). Caracterización del agua Pluvial y cuantificación de azolve depositado en el vaso de captación Hermanos Escobar en Ciudad Juárez Chihuahua México, Tesis de Licenciatura de Ingeniería Civil UACJ
- UACJ (2011) Elevación de contornos de curvas de nivel a cada 1m de separación obtenidos

con tecnología Lydar; suministrados por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez Instituto de Ingeniería y Tecnología (Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica).

United States Army Corps of Engineers (2000). Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Technical Reference Manual. Pg. 53, 56, 57, 58, 59.

**Zúñiga., et. al. (2015). Análisis de lluvias intensas en Juárez Chihuahua, usando método de Chen Lung Chen y de Gumbel para valores extremos (GEV1).**

**CULCyt/Enero-Abril, 2015; año 12, No 55: Disponible en:**  
[http://www.uacj.mx/IIT/CULCYT/Documents/2015\\_Enero\\_Abril/Revista%20CULCYT%2055%20Completa.pdf](http://www.uacj.mx/IIT/CULCYT/Documents/2015_Enero_Abril/Revista%20CULCYT%2055%20Completa.pdf)

Zúñiga, D., 2013 Alluvial fan dynamics with special emphasis in inundation on the Ciudad Juárez area. Ph.D. Thesis Brunel University West London.