



Quinto  
Congreso Nacional  
de Riego y Drenaje  
**COMEII-AURPAES 2019**

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



**Artículo: COMEII-19009**

*Mazatlán, Sin., del 18 al 20*

*de septiembre de 2019*

## **IMPACTO DE LA RESOLUCIÓN DEL MDE EN LA MODELACIÓN DE PROCESOS HIDROLÓGICOS**

**Azucelli Maythe Mauricio Pérez<sup>1</sup>; Ignacio Sánchez Cohen<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Unidad Regional de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Gómez Palacio - Ciudad Juárez Km 40, Pueblo Bermejillo, C. P. 35230. Durango, México.

<sup>2</sup> NIFAP-Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. Margen derecha canal Sacramento km 6.5, Zona industrial Gómez Palacio, CP. 35140. Durango. México.

sanchez.ignacio@inifap.gob.mx (\* Autor de correspondencia)

### **Resumen**

El trabajo se desarrolló para una cuenca experimental (San Luis del Cordero), ubicada en el municipio de Mapimí, Durango. El objetivo de la investigación fue analizar el impacto de la resolución del modelo digital de elevación (MDE) en la modelación de procesos hidrológicos mediante el uso del modelo hidrológico QSWAT. Para la implementación del modelo hidrológico fue necesario el Modelo Digital de Elevación a diferentes resoluciones (90 m, 30 m, 15 m, 25 cm y 4 cm), mapas de edafología y uso de suelo y datos meteorológicos (precipitación y temperatura). Los resultados obtenidos de la modelación son, generación de Unidades de Respuesta Hidrológica (HRUs por sus siglas en inglés) variante siendo la de más baja resolución la que produce el menor número de HRUs. Además se observó que las áreas que producen mayor escurrimiento y sedimentos son cambiantes según la resolución del MDE con que se realice la modelación hidrológica, sin embargo los MDE con resolución de 25 y 4 cm muestran las mismas áreas con mayor escurrimiento y generación de sedimentos, lo anterior lleva a concluir que un MDE de 25 cm de resolución hace una descripción del sistema hidrológico semejante al MDE de 4 cm por lo que para fines de modelación hidrológica utilizar MDE mayores a los 25 cm no arroja una diferencia significativa en los resultados.

**Palabras claves:** QSWAT, SIG, Unidades de respuesta homogénea, escurrimiento, sedimentos.



## Introducción

La modelación ha tenido un gran desarrollo debido a los Sistemas de Información Geográfica (SIG), sin embargo aún existen limitaciones técnicas de los SIG en los procesos de modelización hidrológica. La integración de nuevos métodos de modelación y fuentes de geoinformación disponibles en la última década es importante ya que entran a suplir necesidades de información e incluso permiten corregir errores de algunas fuentes utilizadas normalmente y que, por el estado tecnológico en el cual fueron levantadas, no cumplen con los requerimientos de los modelos que actualmente se desarrollan (Lima et al., 2012).

En la actualidad es muy difundido el uso de los modelos digitales de elevación (MDE) en las ciencias de la tierra como lo es la hidrología, con el objetivo de representar en forma más cercano a la realidad el relieve terrestre, sin embargo el uso indiscriminado de los MDE, sin tener en cuenta sus alcances y limitaciones, impacta en los resultados finales y en la calidad del producto generado (Burgos & Salcedo, 2014).

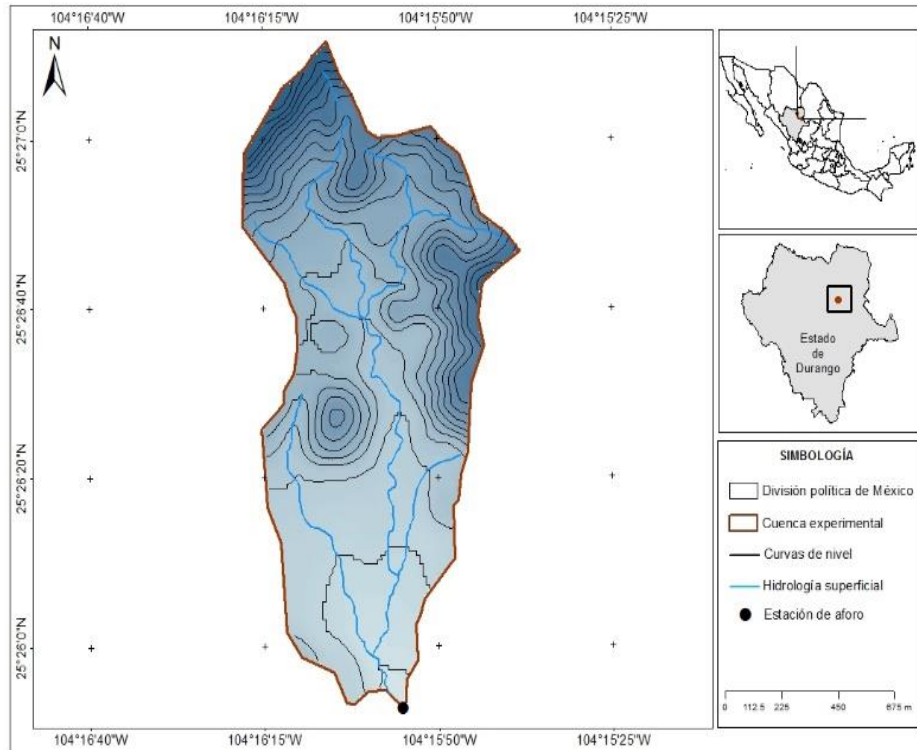
El uso de VANTs en fotogrametría es una tecnología cada vez más accesible. Los VANTs pueden ser utilizados en la actualización, estudio, monitoreo, inspección u otra actividad en áreas puntuales y concretas, además es posible obtener ortofotos y modelos digitales de elevación (MDE) con una resolución superior a imágenes satelitales (Quispe, 2016). La captura de imágenes realizadas con VANTs no solo son útiles en el desarrollo de modelos digitales de elevaciones, también tienen múltiples aplicaciones en áreas del conocimiento como: agronomía, cartografía, ortofotografía, topografía y arquitectura (Vergara & Duarte, 2018).

Partiendo de lo anterior surge este trabajo donde se realiza la modelación hidrológica de la cuenca San Luis del Cordero para 5 resoluciones del MDE (90 m, 30 m, 15 m, 25 cm y 4 cm) con el objetivo de analizar el impacto de la resolución del MDE en la modelación de procesos hidrológicos. El trabajo forma parte de la tesis doctoral del primer autor.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

La microcuenca San Luis del Cordero se ubica dentro del municipio del mismo nombre, en el estado de Durango, forma parte de la Región Hidrológica 36 (Nazas-Aguanaval), ubicada entre los paralelos 25°22' y 25° 25' Latitud Norte y los meridianos 104°10' y 104° 26' Longitud Oeste (Figura 1). Las temperaturas máximas se presentan de mayo a agosto con valor de 40 °C mientras que las menores temperaturas, que son alrededor de 0 °C, comienzan en diciembre y terminan en marzo (Hurtado et al, 2013), teniendo una precipitación promedio anual de 300 mm.



**Figura 1.** Cuenca experimental de San Luis del Cordero.

Para llevar a cabo el análisis del impacto de la resolución del MDE se incorporaron los Modelos Digitales de Elevación de 90 m, 30 m y 15 m de resolución (INEGI, 2018). En el caso de los MDE de más alta resolución (25 y 4 cm resolución) fue necesaria su creación. El proceso para la generación de estos MDE se describe a continuación en el apartado Generación de MDE.

### Generación de MDE

Los MDE de alta resolución fueron creados a partir de fotografías tomadas desde un VANT. El VANT utilizado en las misiones es el modelo DJI Phantom 4, el Phantom 4 está equipado con una cámara aérea altamente sofisticada para toma instantáneas de 12 megapíxeles (DJI, 2019). El VANT es dirigido mediante un control remoto, este control remoto permite manejar el VANT hasta 5 km de distancia, además tiene botones y selectores para exposición, inclinación de la cámara, captura de fotos y grabación de vídeo (Figura 2).



**Figura 2.** VANT modelo DJI Phantom

A continuación se describe someramente algunos de los pasos a seguir para la generación de los MDE de 25 y 4 cm de resolución:

- Ubicación del área de estudio
- Establecimiento de puntos fijos de control
- Georreferenciación de los puntos de control
- Planeación y creación de la misión de vuelo del VANT para la toma fotográfica.
- Armado y calibración del VANT
- Realización de la misión
- Generación de los MDE con el software Pix4D

Una vez realizados los vuelos se descargaron las imágenes de la cámara, estas imágenes fueron utilizadas para construir un mosaico, el cual fue georreferenciado con el software Pix4Dmapper y agregando los puntos de control correspondientes para la creación de los modelos digitales de elevación de la zona de estudio. Como resultados se obtuvieron los Mosaico RGB (unión de todas las imágenes tomadas) y los Modelos Digitales de Elevación de 25 y 4 cm de resolución de la cuenca San Luis del Cordero.

### **Modelación**

Para la modelación de los procesos hidrológicos de la microcuenca San Luis del Cordero se hizo uso de la plataforma QSWAT. Dentro de la plataforma, se cargaron los archivos que contenían el Modelo Digital de Elevación y los mapas de edafología y uso de suelo obtenidos de la página de CONABIO (2019), además se cargaron los datos meteorológicos de la subcuenca de los años 1979-2014, esta base de datos se obtuvo de la página Waterbase (2019) que es de acceso público.

De manera general el proceso de modelación en QSWAT consistió en los siguientes pasos: a) Adquisición de los archivos tipo ráster de MDE, Edafología y Uso de suelo y Vegetación, b) Proyección de los archivos ráster en coordenadas UTM (para el presente caso de estudio, Zona 13), c) Creación de un nuevo proyecto en la plataforma QSWAT d) Delimitación de la cuenca usando el archivo ráster del MDE, e) Creación de los HRU's utilizando los archivos ráster de edafología y uso de suelo y vegetación, f) Dar de alta la base de datos meteorológicos y correr el modelo y finalmente g) Visualizar los resultados generados. El software arroja como resultado bases de datos de sedimentos, precipitación, escurrimiento, etc., para cada HRU creado. El programa da la opción de simulación de procesos y calibración del modelo hidrológico. Para el presente trabajo solo se reporta la variación en sedimentación y escurrimiento para cada HRU generado. La Figura 3 presenta un diagrama detallado sobre el proceso de modelación dentro de la plataforma QSWAT, el proceso que se describe en la figura 3 fue repetido para cada resolución del MDE.

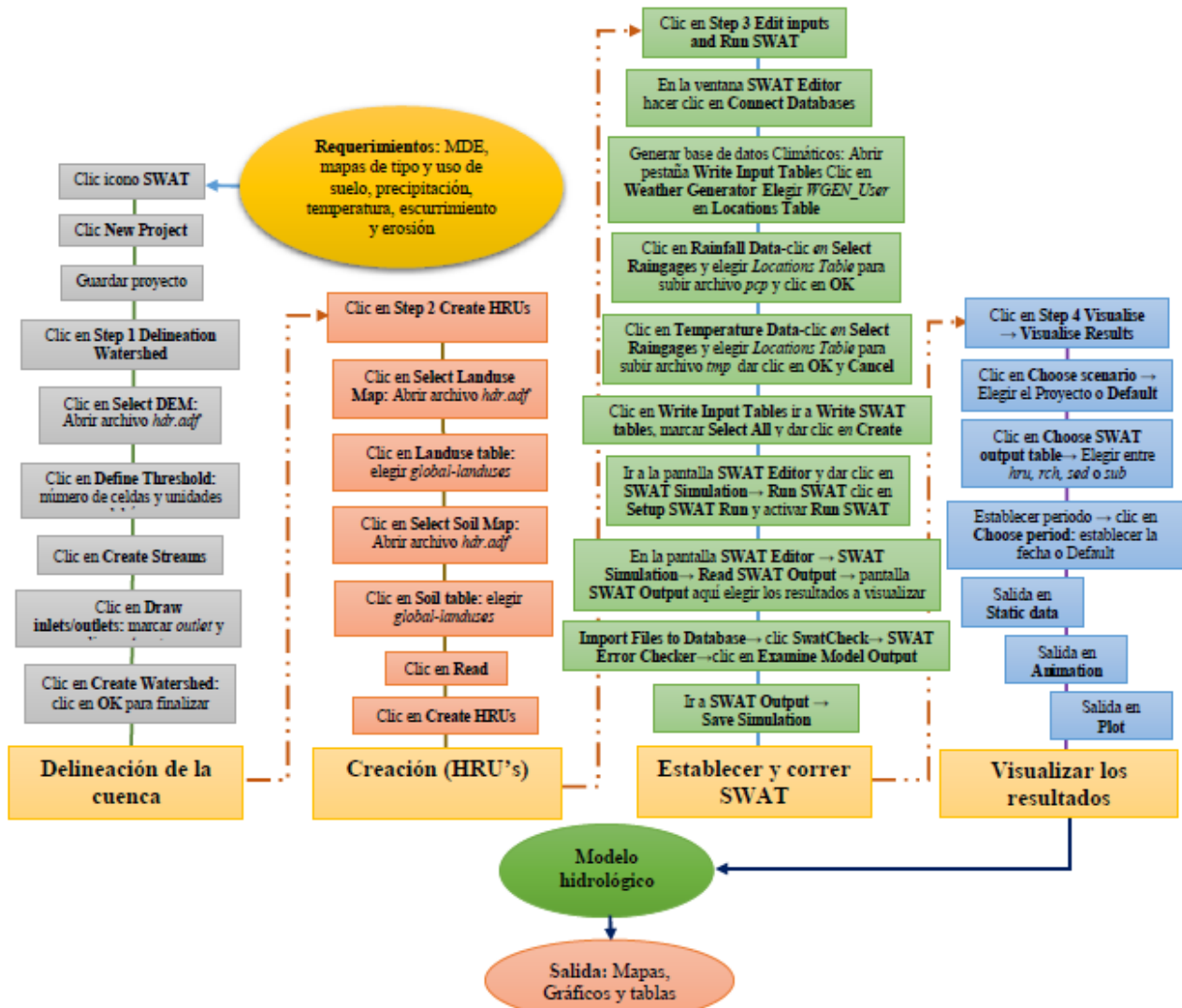
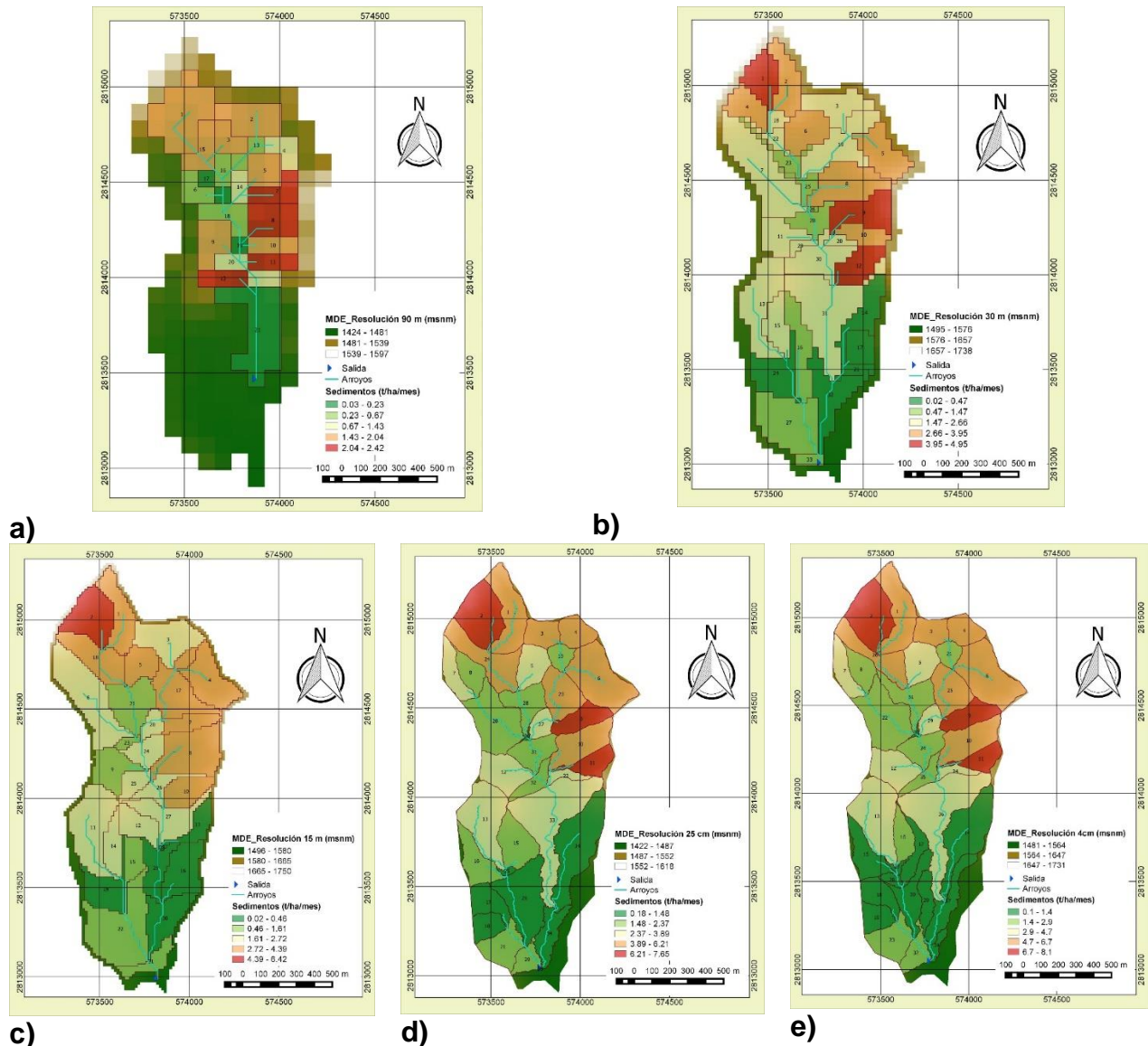


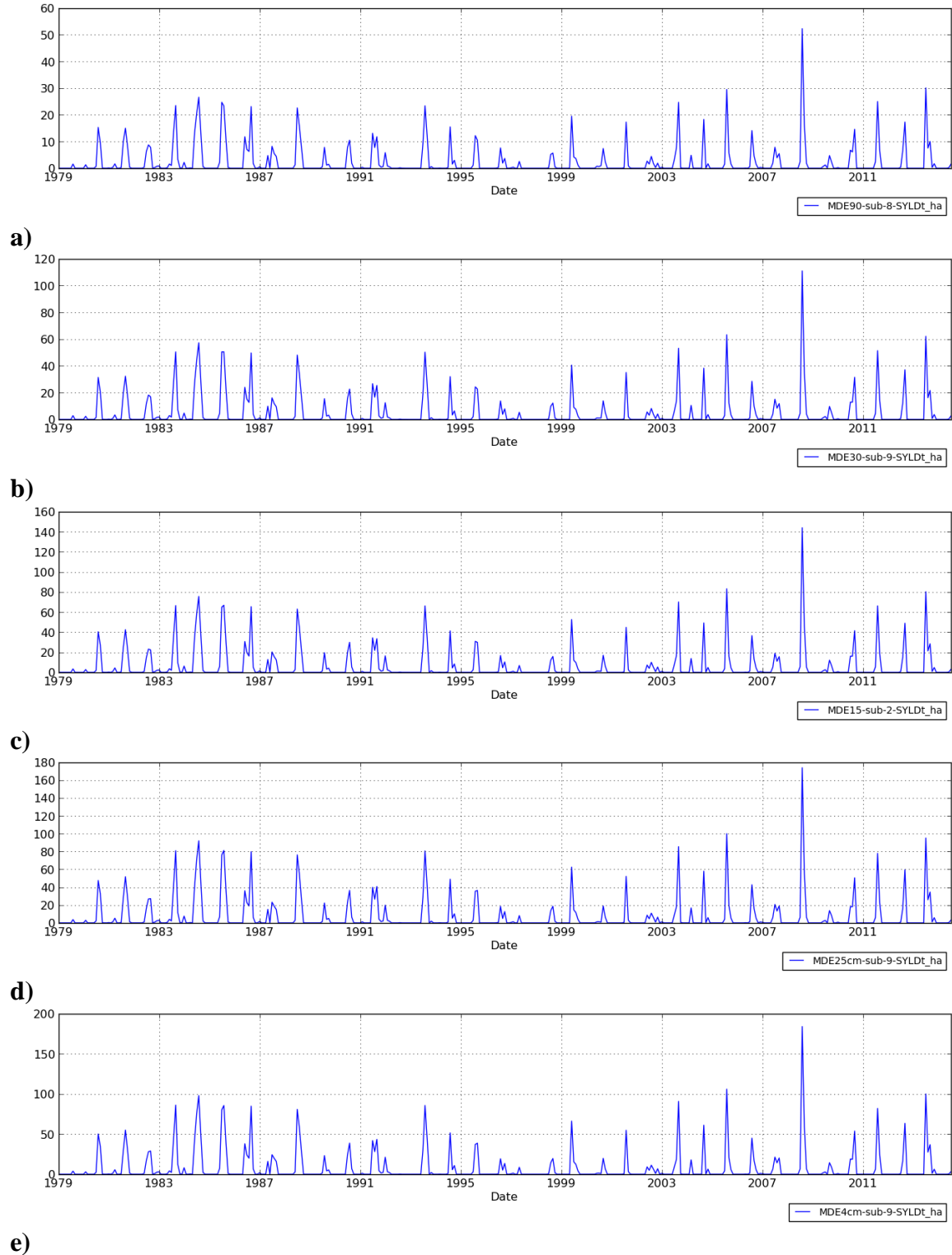
Figura 3. Diagrama de flujo de modelación hidrológica con QSWAT.

## Resultados y Discusión

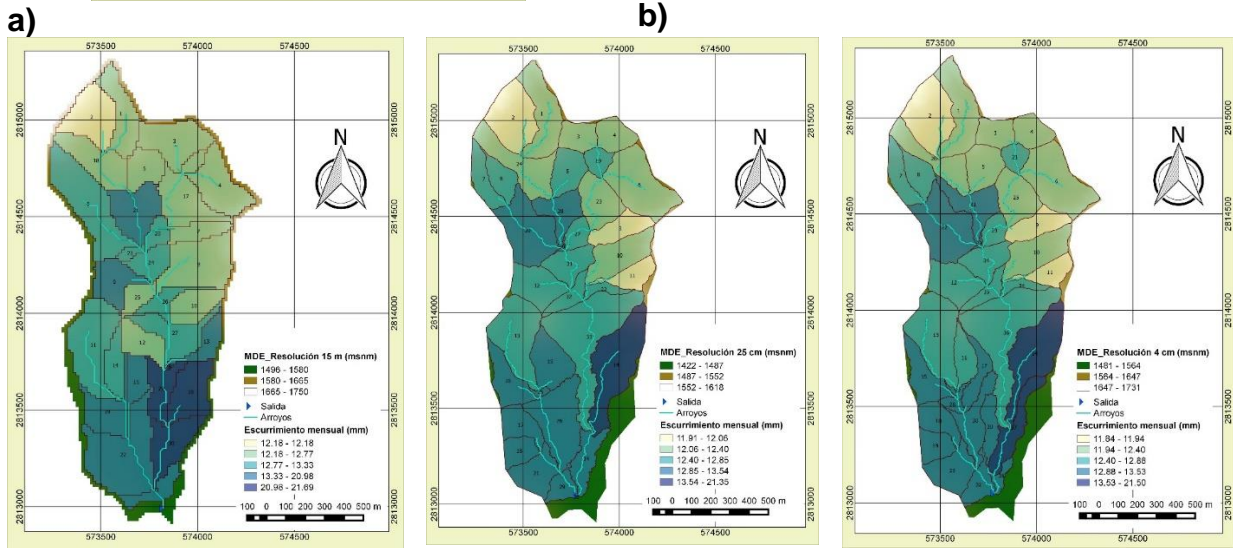
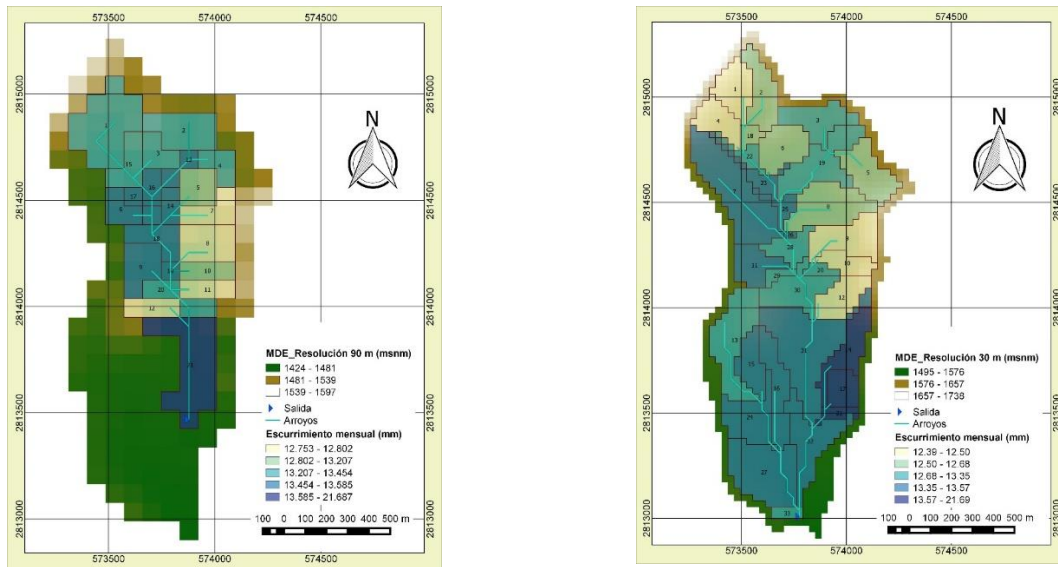
A continuación se presentan los resultados obtenidos de la modelación hidrológica para la producción mensual de sedimentos mediante datos estáticos donde se calculó un solo valor de resumen para cada HRU representado en un mapa (Figura 4) y la producción de sedimentos para un periodo de 35 años visualizados en gráfico QSWAT (Figura 5); de igual forma se presenta los resultados obtenidos para el escurrimiento (Figura 6 y 7).



**Figura 4.** Datos estáticos de la producción de sedimentos en la cuenca San Luis del Cordero para MDE de a) 90 m, b) 30 m, c) 15 m, d) 25 cm y e) 4 cm de resolución.

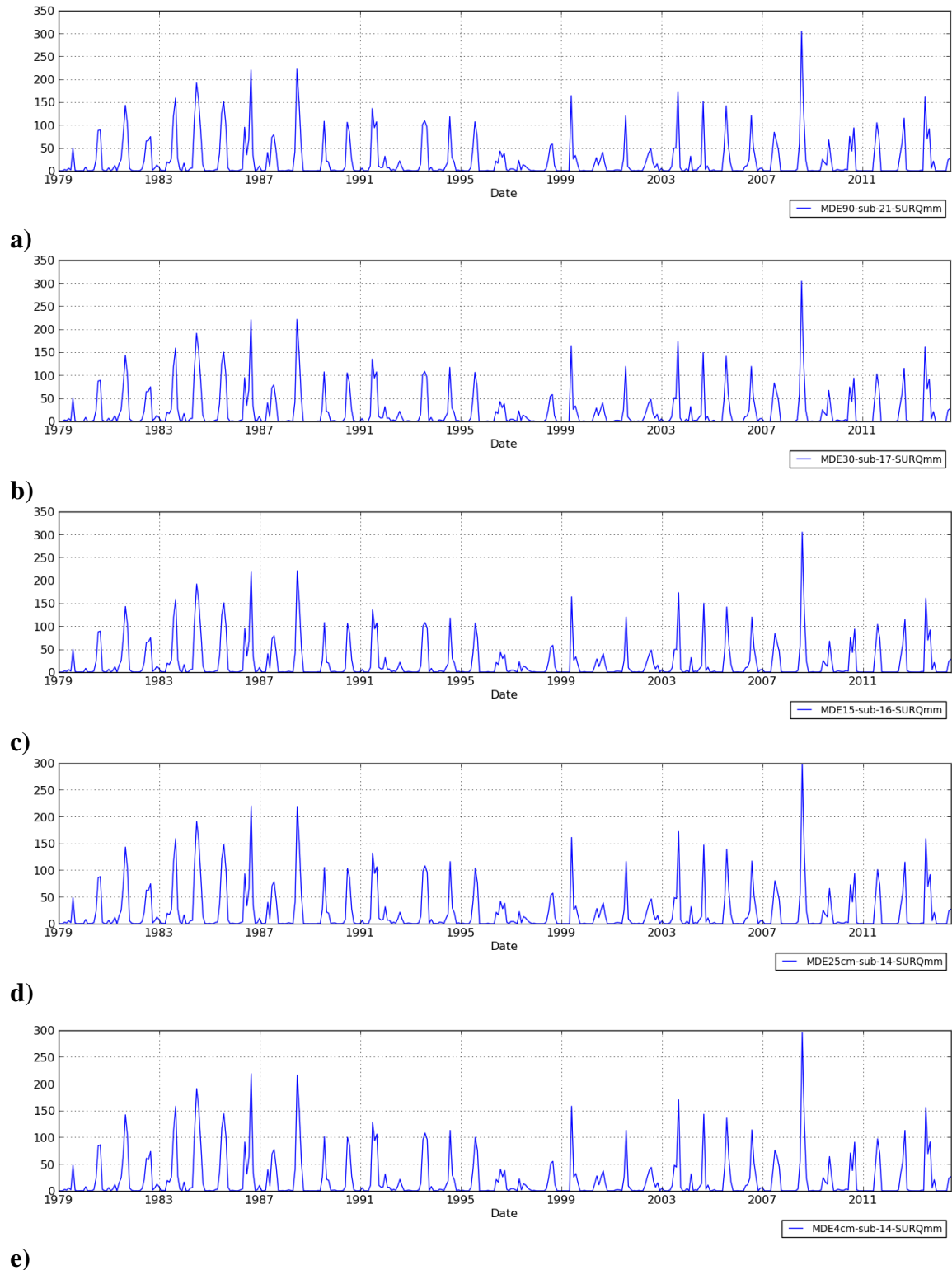


**Figura 5.** Datos históricos de la producción de sedimentos en la cuenca San Luis del Cordero con el MDE de 90 m de resolución para a) subcuenca 8; MDE de 30 m de resolución para b) subcuenca 9; MDE de 15 m de resolución para c) subcuenca 2; MDE de 25 cm de resolución para b) subcuenca 9 y MDE de 4 cm de resolución para b) subcuenca 9.



**Figura 6.** Datos estáticos del escurrimiento producido en la cuenca San Luis del Cordero para para MDE de a) 90 m, b) 30 m, c) 15 m, d) 25 cm y e) 4 cm de resolución.





**Figura 7.** Datos históricos del escurrimiento producido en la cuenca San Luis del Cordero para a) MDE de 90 m de resolución en la subcuenca 21; b) MDE de 30 m de resolución en la subcuenca 14; c) MDE de 15 m de resolución en la subcuenca 16; d) MDE de 25 cm de resolución en la subcuenca 14 y e) MDE de 4 cm de resolución en la subcuenca 14.



Lo primero a resaltar de los resultados presentados anteriormente es la necesidad de una resolución mínima para la creación de la red hidrológica que defina adecuadamente la cuenca de estudio, como se observa en la figura 4 con el MDE de 90 m de resolución no es posible crear la red hidrológica que describa en su totalidad a la cuenca, pero a medida que la resolución aumenta la red hidrológica se crea con mayor nitidez dando paso a tener una mejor delimitación de la cuenca y con esto una variación de los resultados obtenidos.

De forma general se obtuvo que la producción de sedimentos en la cuenca es mayor en la parte alta, en la parte media se tiene la menor producción de sedimentos y la parte baja de la cuenca tiene una producción media de sedimentos. Respecto a los resultados obtenidos en la producción de sedimentos para el caso de datos históricos del periodo 1974-2014 se observó que durante el periodo 2008-2009 se presenta la más alta producción de sedimentos. Lo anterior se podría deber a un cambio en la precipitación o uso de suelo y vegetación.

Por otro lado, como se observa en la figura 6 los escurrimientos en la cuenca fueron de mayor intensidad en la parte baja para todos los casos de resolución del MDE, caso contrario a esto son las áreas de menor escurrimiento ubicadas en la parte alta de la cuenca. El escurrimiento durante el periodo 2008-2009 al igual que en el caso de la producción de sedimentos ha sido máximo con un escurrimiento de 300 mm pudiendo establecer que a mayor escurrimiento mayor es la producción de sedimentos en la cuenca.

En el Cuadro 1 se muestra un resumen de los valores obtenidos de la elevación y HRUs generados durante la modelación para las diferentes resoluciones del MDE. Se puede observar una tendencia al aumento del área total de la cuenca y número de HRUs a mayor resolución del MDE. El aumento del área de la cuenca obedece a la mejor cobertura de la cuenca debido a la resolución del MDE.

**Cuadro 1.** Resultado de reporte generado por QSWAT para la Cuenca San Luis del Cordero.

Parámetro	Valor				
	MDE 90 m	MDE 30 m	MDE 15 m	MDE 25 cm	MDE 4 cm
Área total-cuenca	70.28 (ha)	133.71 (ha)	142.6 (ha)	149.32 (ha)	149.39 (ha)
Elevación máxima	1530 (m)	1705 (m)	1744 (m)	1618 (m)	1731 (m)
Elevación mínima	1429 (m)	1499 (m)	1500 (m)	1423 (m)	1484 (m)
Número de HRUs	21	33	31	35	39



## Conclusiones

Le resolución del MDE impacta en la modelación hidrológica tanto en el número de Unidades de Respuesta Hidrológica generadas como en las áreas de mayor escurrimiento y producción de sedimento. Algo importante que hay que mencionar es el tiempo de procesamiento de la base de datos ya que a mayor resolución del MDE se necesitará un equipo de mayor capacidad y velocidad de procesamiento.

Respecto al modelo QSWAT, éste modeló la hidrología de la Cuenca San Luis del Cordero de manera correcta permitiendo visualizar las áreas principales en la generación de escurrimiento y sedimentos a las que hay que considerar para un manejo de los recursos agua-suelo-vegetación. El modelo QSWAT puede ser considerado como un apoyo para la toma de decisiones en el manejo integral de cuencas y en el presente caso, para la microcuenca San Luis del Cordero. En cuanto a la implementación del modelo QSWAT, el Modelo Digital de Elevación, mapas de edafología y uso de suelo y datos meteorológicos (precipitación y temperatura) son suficientes para la implementación del modelo QSWAT.

## Referencias Bibliográficas

- Burgos, V. H., & Salcedo, A. P. (2014). Modelos digitales de elevación: Tendencias, correcciones hidrológicas y nuevas fuentes de información. 2do. Encuentro de Investigadores en Formación de Recursos Hídricos.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2019). "Geoportal". <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Consultado 25/02/2019.
- DJI (Dajiang Innovation Technology). (2018). Phantom 4 Pro Especificaciones. Disponible en: <https://www.dji.com/mx/phantom-4-pro>
- Hurtado, P. B., Cohen, I. S., Arriaga, G. E., Valle, M. A. V., & Ibarra, M. A. I. (2013). Caracterización hidrológica para cuencas en zonas áridas en México. *AGROFAZ*, 13(2).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2018). Continuo de elevación mexicano 3.0. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continuoelevaciones.aspx>
- Lima, M. L., Escobar, J. F., Massone, H., & Martínez, D. (2012). Modelación geoespacial exploratoria en cuencas de llanura: caso de aplicación en la cuenca del Arroyo Dulce, Buenos Aires, Argentina. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(2), 51-65.
- Quispe, O. (2016). Análisis de GSD para la generación de cartografía utilizando la tecnología drone, huaca de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 18(36).
- Vergara, Ó. W., & Duarte, H. (2018). Generación de modelos digitales mediante fotogrametría, utilizando vehículos aéreos no tripulados (UAV's). *Revista Tecnología y Productividad*, 3(3), 63-69.
- WaterBase. (2019). "Global Weather Data for SWAT". <https://globalweather.tamu.edu/>. Consultado 03/03/2019.