

# Uso de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) y Percepción Remota (PR) como herramienta para el análisis hidrográfico y de superficie del Jardín Botánico Chepilme

Eduardo Juventino Ramírez Chávez<sup>1</sup>\* & Miriam Guadalupe Godínez Cortés<sup>2</sup>

---

## Resumen

En el presente trabajo se analiza la vegetación, hidrografía y la superficie del terreno del Jardín Botánico Chepilme de la Universidad del Mar mediante el uso de un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) y técnicas de Percepción Remota (PR) como el Índice de Resistencia Atmosféricamente Visible y el Índice Topográfico de Humedad; se encontraron zonas amplias de concentración de humedad y zonas potenciales para la concentración de agua. Se considera que los VANT son una herramienta adecuada y complementaria para técnicas de percepción remota en análisis de vegetación, hidrografía y superficie del terreno.

**Palabras clave:** VANT, Percepción Remota, Jardín, Atmósfera, Vegetación.

## Abstract

In this work, the vegetation, hydrology and the surface of the Botanical Garden of Chepilme of the Universidad del Mar were analyzed. An Unmanned Aerial Vehicle (UAV) was utilized, and remote perception techniques (PR), such as the index of atmospheric visible resistance and the topographic index of Humidity, were used. Large areas of moisture concentration and potential areas for water concentration were found. We also confirmed that UAVs are an adequate and complementary tool for remote perception techniques in vegetation, hydrology and terrain analysis.

**Key words:** UAV, Remote perception, Garden, Atmospheric, Vegetation.

**Recibido:** 11 de octubre de 2018

**Aceptado:** 01 de febrero de 2019

---

<sup>1</sup> Instituto de Ecología, Universidad del Mar. Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Distrito de San Pedro Pochutla, Oax., México C.P. 70902.

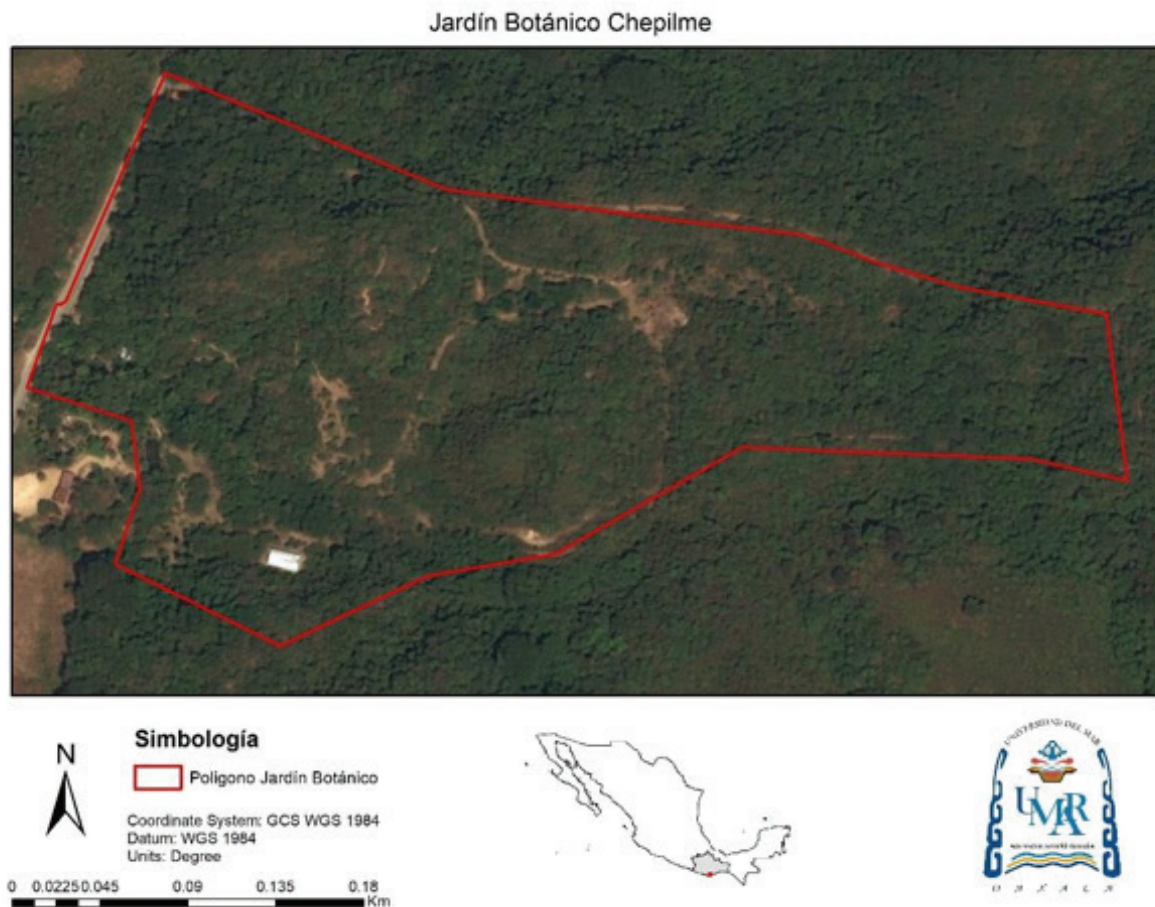
<sup>2</sup> Centro Universitario de la Costa Sur, Ingeniería en Recursos Naturales y Agropecuarios. Universidad de Guadalajara. Independencia Nacional # 151, C.P. 48900, Autlán, Jalisco, México.

\* Autor de correspondencia: [eduardo@angel.umar.mx](mailto:eduardo@angel.umar.mx) (EJRM)

## Introducción

Los jardines botánicos son una estrategia de conservación de especies vegetales que contribuyen a la investigación, difusión y educación de los valores de uso directo e indirecto de las especies vegetales que en él habitan, así como de las especies que se mantienen de éstos. En México, tienen su origen en las culturas indígenas y se le podría considerar a nuestro país la patria de los jardines y zoológicos, según señala Martín del Campo (1964), señalando que mientras en occidente no se tenía ningún jardín, en Mesoamérica se contaba con toda una red de jardines dedicados al cultivo de plantas medicinales. Muchos de ellos, en la actualidad, son museos vivientes que contribuyen a la conservación y conocimiento de la biodiversidad (Sánchez & Islebe 2000).

El Jardín Botánico Chepilme se localiza a 3.5 km. de San Pedro Pochutla en el estado de Oaxaca, cuenta con una historia muy peculiar puesto que esta zona funcionó aproximadamente durante dos meses como basurero del municipio de San Pedro Pochutla; sin embargo, la comunidad de Chepilme no estaba de acuerdo con dicha obra por lo que comenzó una lucha social para recuperar el terreno hasta lograr obtener la concesión de las 8.5 hectáreas, mismas que fueron donadas a la Universidad del Mar (Fig. 1). Desde entonces el espacio quedó a cargo del campus Puerto Ángel; de las 8.5 has, tres están destinadas para la exhibición y el resto para la restauración y conservación (Sánchez 2016). En la zona de exhibición se encuentra una colección viva de plantas de la zona costera de Oaxaca, principalmente de selva baja caducifolia o bosque



**Figura 1.** Jardín Botánico Chepilme

tropical caducifolio, además de plantas medicinales que se usan en la región con las especies más representativas como: pochote (*Ceiba aesculifolia*, Kunth), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*, Jacq. Griseb) y macuil (*Tabebuia rosea*, Bertol A. DC) (Sánchez 2016); su historia y diversidad de especies lo hace, tanto un área de estudio con alto potencial para la investigación, así como un ejemplo de restauración que logra destacar la importancia de la vinculación de la universidad con la sociedad.

En el presente trabajo se pretende analizar la hidrografía y la superficie del Jardín Botánico de Chepilme utilizando un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) y técnicas de Percepción Remota (PR) con la finalidad de que sirvan de insumos para evaluaciones y toma de decisiones de las autoridades pertinentes.

## Material y métodos

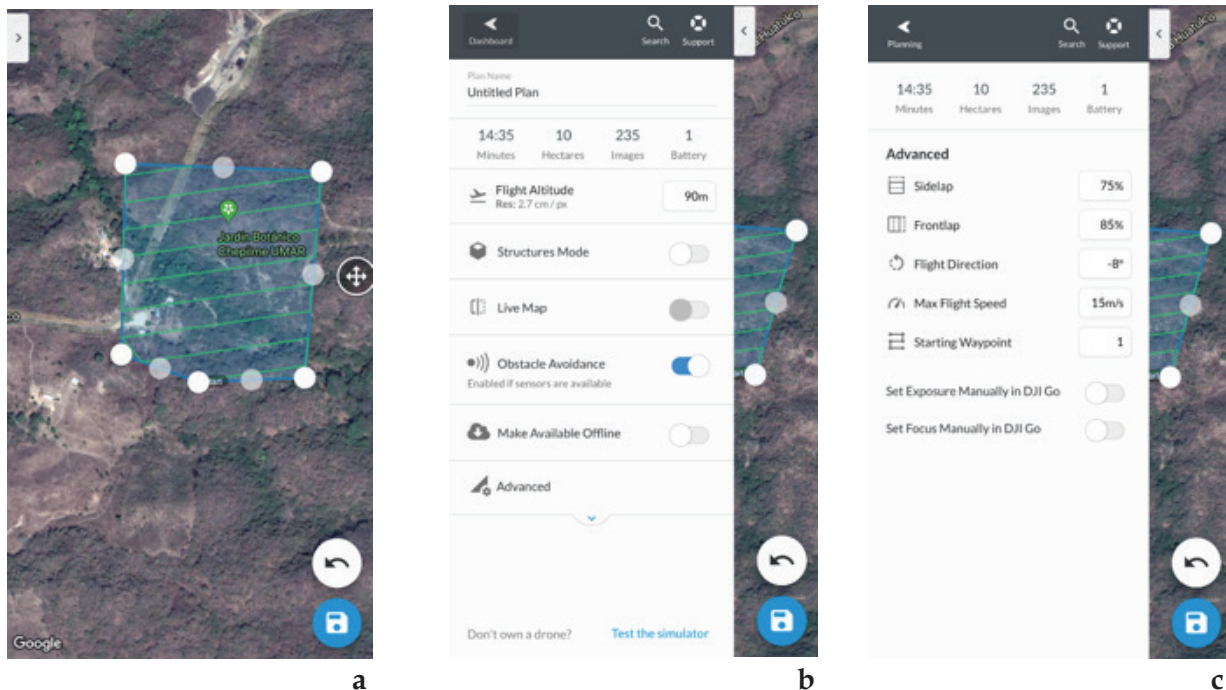
*Trabajo de campo* - Se utilizó una metodología que consta de dos partes: la primera consistió en una salida a campo para recorrer la zona de exhibición y georreferenciar los diferentes tipos de vegetación mediante la técnica

descrita en Ramírez-Chávez *et al.* (2013). Así mismo, se marcaron los puntos de control que posteriormente serían reconocidos en las imágenes aéreas que se obtendrían en un vehículo aéreo no tripulado (VANT).

Posterior a la georreferenciación, se realizó la planeación de la ruta de vuelo empleando la herramienta *drone deploy app* en iOS; al no tener la dimensión y límites del predio se prosiguió a cubrir un área más grande a la del jardín (Figs. 2a, b, c). Esta ruta se trazó con los parámetros que se muestran en la Tabla I.

**Tabla I.** Parámetros de configuración en plan de vuelo de vehículo aéreo no tripulado.

Parámetro	Configuración
Altura	90 metros
Sobrelape lateral	75%
Sobrelape frontal	85%
Dirección de vuelo	-8°
Velocidad máxima	15 m/s
Set de Exposición de sensor	Automático



**Figura 2.** Configuración de plan de vuelo a) Plan de vuelo, b) Configuración de altura de vuelo, tiempo, superficie a cubrir y número de baterías, c) Configuración de sobrelape, velocidad, dirección de vuelo e inicio de vuelo.



La programación de vuelo dio un tiempo de 14 minutos con 42 segundos, una superficie de 10 hectáreas y 235 imágenes tomadas. Antes de cargar el vuelo al VANT se realizó una verificación por el encargado del Jardín para realizar la confirmación de las dimensiones.

El VANT utilizado fue el modelo *Inspire 1* de la empresa DJI, con la cámara X3, mostrando una serie de características que se muestran en la Tabla II.

**Tabla II.** Especificaciones de la cámara de *Inspire 1*.

Sensor	1/2.3"
Grabación	4096 × 2160 (25fps) o a 1920 × 1080 (60fps)
Fotografías	12 MP
Objetivo	9 capas de diseño rectilíneo y ángulo amplio

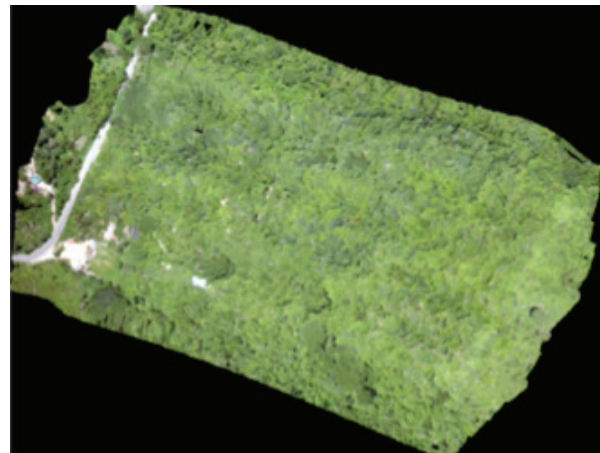
La segunda etapa consistió en procesar las imágenes en el laboratorio. Para ello, las imágenes fueron descargadas y se llevó a cabo el proceso fotogramétrico para obtener un ortomosaico georreferenciado y un modelo digital de elevación del jardín botánico; se utilizó el software *Agisoft PhotoScan Professional* y se seleccionó una serie de parámetros para el proceso fotogramétrico como se muestra en la Tabla III.

**Tabla III.** Configuración de modelo fotogramétrico.

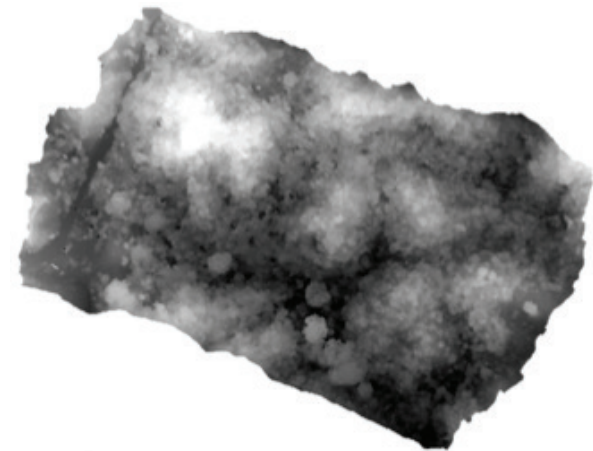
Orientar fotos	
Precisión	Media
Pre-procesar	Desactivado
Nube de puntos densa	
Calidad	Alta
Filtro de profundidad	Moderado
Malla de construcción	
Tipo superficie	Bajo relieve
Numero de caras	30,000
Interpolación	Habilitada por defecto

Con el ortomosaico y el modelo digital (Figs. 3a, b) de elevación generados en *Agisoft* se prosiguió a exportarlo en formato Tiff para su análisis en el software *ArcMap 10.5*; con estos insumos base se llevó a cabo el análisis hidrográfico y de superficie del lugar. En el análisis hidrográfico se generaron productos como direcciones del flujo de agua, acumulación del flujo, así como zonas de vertiente de agua donde se concentra el flujo; posteriormente se llevó a cabo el análisis de la superficie, en el cual los productos obtenidos fueron: las pendientes del terreno, curvas de nivel, aspecto y sombreado.

Con la finalidad de resaltar la vegetación en la parte visible del espectro, a la vez de mitigar las diferencias en la iluminación y



a



b

**Figura 3.** Productos fotogramétricos. a) Ortomosaico georreferenciado, b) Modelo digital de elevación.

los efectos atmosféricos, se aplicó el Índice de Resistencia Atmosféricamente Visible (VARI), el cual resulta idóneo para las imágenes RGB o en color; su fórmula es:

$$VARI = ((G - R)/(G + R - B)) \left( \frac{G - R}{G + R - B} \right)$$

Donde, R es la longitud de onda roja, G es la longitud de onda verde y B es la longitud de onda azul.

Igualmente se aplicó el Índice Topográfico de Humedad (ITH) que identifica las zonas donde se concentra la humedad o las zonas de acumulación de agua y modela la dinámica de los flujos de agua basados en la topografía de los escurrimientos (Alcántara-Ayala 2000). Con este índice también se buscó identificar zonas del Jardín con gran potencial de recepción de agua, pudiendo delimitarlas como zonas potenciales de surgencia de humedales.

Para obtener el ITH se ocupó el modelo digital de elevación corregido y el mapa de direcciones de flujo en radianes; cabe mencionar que los mapas en la herramienta Surface de ArcMap de direcciones de flujo se presenta en grados, por lo cual se debe transformar a radianes mediante la siguiente expresión:

$$SR = ([SLOPE] * 1.570796)/90$$

Donde, SR es la dirección de flujo, SLOPE es la pendiente en grados

Ya con esta conversión se prosigue a calcular la tangente de la pendiente mediante:

$$ST = \text{Con}([SR] > 0, \text{Tan}([SR]), 0.001)$$

Donde, SR es dirección de flujo; Con, coseno de la pendiente y Tan es tangente de la pendiente

El siguiente paso es calcular la superficie de contribución de aguas arriba:

$$UCA = ([ACUMULACION] + 1) * \text{TAMAÑO PIXEL}$$

Donde, UCA es la superficie de contribución, ACUMULACION son las zonas de acumulación de flujo.

Finalmente se aplica la ecuación del Índice Topográfico de Humedad:

$$ITH = \text{Ln}([UCA])/([ST])$$

Donde, ITH es el Índice Topográfico de Humedad, UCA es la superficie de contribución de aguas arriba, Ln es logaritmo natural y ST es la tangente de la pendiente.

## Resultados

Se obtuvieron 235 fotografías aéreas, un ortomosaico georreferenciado en RGB y un modelo digital de elevación (MDE) como insumos para los análisis hidrográficos y de superficie al Jardín Botánico Chepilme.

En el mapa de direcciones de flujo (Fig. 4a) se ubicaron tres zonas de mayor potencial de flujo, las zonas en color naranja indican la superficie donde es mayor la acumulación de agua las cuales se podrían llegar a utilizar para la captura de agua de lluvia.

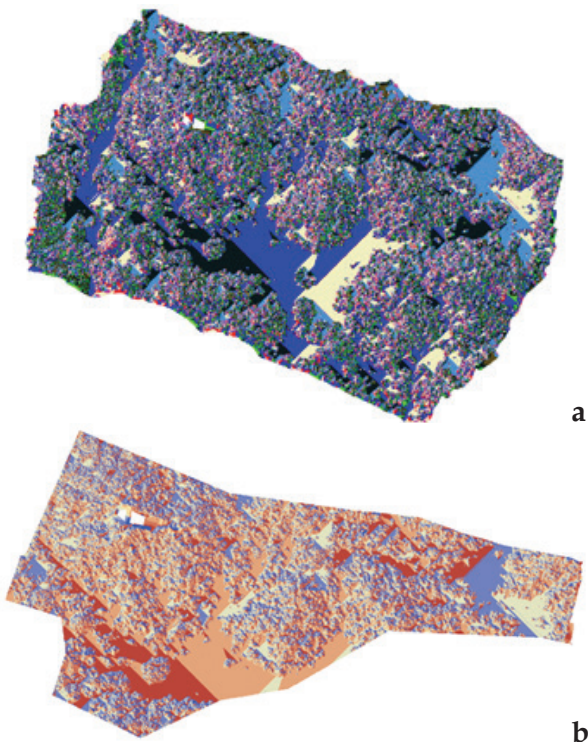
Con el mapa de dirección de flujo se obtuvo la referencia para llevar a cabo el mapa de acumulación del flujo (Fig. 4b) donde se detectaron tres áreas dentro del polígono en las que se acumula el flujo de agua y otras tres más que están fuera de; sin embargo, algunos casos llegan a influir en el Jardín Botánico Chepilme.

Se identificaron cinco microcuencas o puntos donde el agua fluye hacia el mismo lugar, de éstos sólo tres se encuentran dentro del Jardín mientras que los otros dos quedan fuera del polígono (Fig. 5).

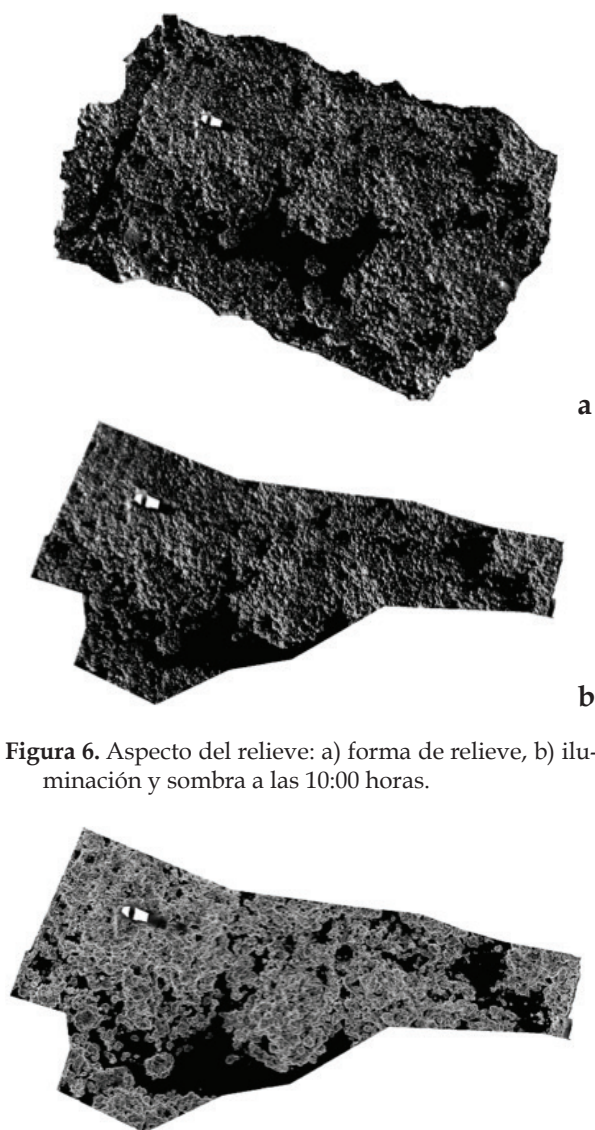
En los mapas de la superficie del terreno del Jardín se obtuvo su aspecto, en él se ubican las zonas planas (Fig. 6). También se pueden encontrar las zonas de iluminación o sombreadas que ayuden a identificar los sitios

propicios para la ubicación de plantas que requieran periodos largos o cortos de luz.

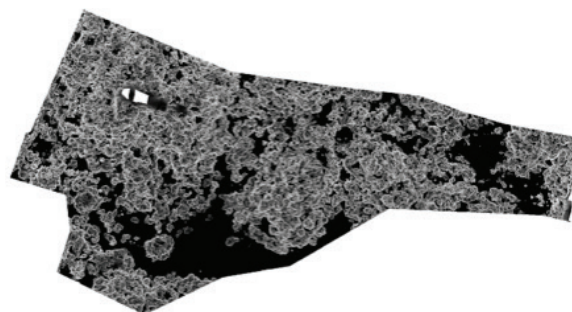
Con las pendientes del terreno (Fig. 7) encontramos una media de  $28.53\% \pm 25.25$  (D.E) de pendiente y una pendiente máxima de 89.60%. El VARI permitió detectar las áreas con vegetación y sin vegetación (Fig. 8). Por último, con el ITH obtuvimos las zonas de mayor acumulación de humedad (Fig. 9).



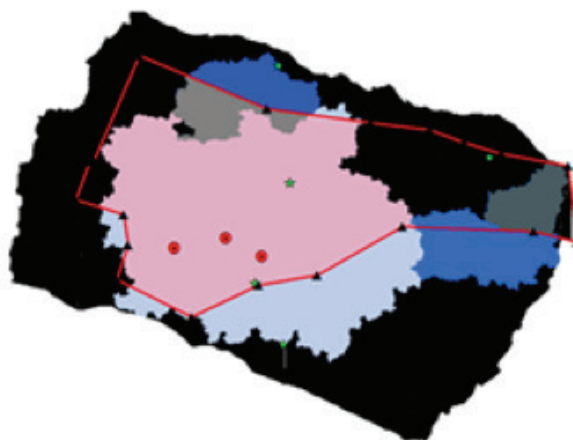
**Figura 4.** Productos de flujo hidrográfico a) Dirección de flujo, b) Acumulación de flujo.



**Figura 6.** Aspecto del relieve: a) forma de relieve, b) iluminación y sombra a las 10:00 horas.

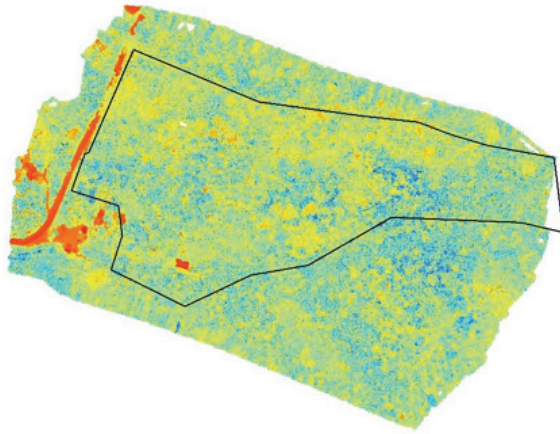


**Figura 7.** Pendientes del terreno en el Jardín Botánico Chepilme.

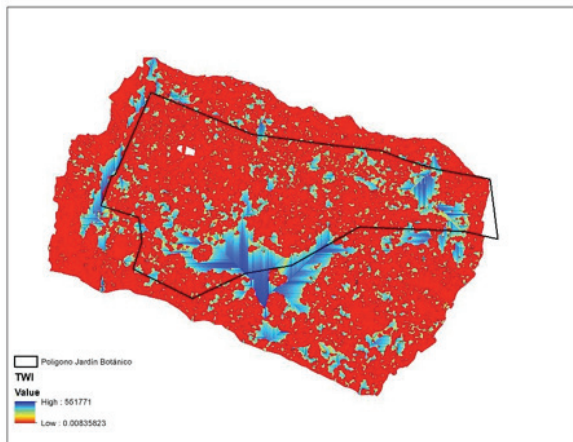


**Figura 5.** Microcuencas dentro del Jardín Botánico.





**Figura 8.** Índice de Resistencia Atmosféricamente Visible generado para el Jardín Botánico Chepilme.



**Figura 9.** Índice Topográfico de Humedad. En color azul las zonas potenciales donde se concentra la mayor humedad o zonas de acumulación de agua. Mientras que colores en rojo representan las zonas potenciales donde se concentra la menor humedad o zonas de acumulación de agua.

## Discusión

Una reflexión de la realización de este trabajo es que la adquisición de datos de forma descentralizada será una tendencia, ya que el poseer sensores remotos para cartografía o para distintos fines es mucho más práctico y sencillo. Para la obtención de una zonificación de un área pequeña, el uso de los VANT se vuelve una herramienta muy útil, como lo mencionan Ramírez-Chávez *et al.* (2016).

La resolución temporal y espacial es calibrada según las necesidades del usuario,

en este trabajo se calibró para el tamaño del citado jardín botánico (8.5 ha) con una resolución espacial de 5 cm.

Respecto a la utilización de MDE derivado de la fotogrametría usando VANT para estudios hidráulicos, resulta viable siempre y cuando se hagan los ajustes altimétricos al comparar estos modelos con un modelo digital de elevación de la misión *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM por sus siglas en inglés), *Light Detection and Ranging* (LIDAR) o por medio de puntos de control terrestres (GCP) debido a que de esta manera permite la simulación de los modelos de flujo delimitando áreas de inundación con un RMSE menor a 10 cm. Sugerimos que los modelos citados con las adecuaciones sugeridas son una fuente de gran valor para la extracción primaria de información y análisis de inundación.

## Conclusiones

Se remarcan las ventajas que tiene el uso de los VANT para llevar a cabo estudios de superficies pequeñas como lo es el Jardín Botánico Chepilme, puesto que debido a su tamaño no se puede representar de manera detallada y precisa con otros sensores de percepción remota.

El uso de índices que trabajan en el espectro de luz visible (RGB), como es el caso del Índice de Resistencia Atmosféricamente Visible, remarca la utilidad de los VANT comerciales que cuentan con cámaras tradicionales que capturan la imagen en el espectro RGB, para estudios de análisis de vegetación.

En este sentido, el análisis de Hiilshade presenta gran utilidad ya que nos determina las zonas que reciben luz en diferentes horas del día, con lo cual se puede ubicar de manera más eficiente las especies de plantas que se quieran salvarguardar en el predio del jardín.

La resolución obtenida en el modelo digital de elevación brinda la oportunidad de registrar los pequeños arroyos que se forman por impactos y manejo del predio; sin embargo, no es aplicable a las depresiones propias de la topografía del lugar.

Los resultados y análisis aquí generados se han entregado al encargado del jardín botánico con la finalidad que ayude en los procesos de reconocimiento del lugar y toma de decisiones en el futuro.

## Referencias

- Alcántara-Ayala, I. 2000. Índice de susceptibilidad a movimientos del terreno y su aplicación en una región semiárida. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 17 (1): 66-75.
- Martín del Campo, R. 1964. Vicente Cervantes y el jardín botánico de Palacio Virreinal. Pp. 123-131 *In: Memorial del primer Coloquio Mexicano de Historia de la Ciencia.*
- Ramírez-Chávez, E., A. Cruz-García, A. Lagunas-Pérez & O. Reyes-Carreño. 2013. Uso de vehículo aéreo no tripulado para caracterización del paisaje sumergido; Bahía Estacahuite, *Ciencia y Mar* XVI (51): 35-40.
- Ramírez-Chávez, E., Cruz-García, A., Reyes-Carreño, O., Lagunas-Pérez A. & C. Lopez-Armeria. 2016. Uso de vehículo aéreo no tripulado para la zonificación del área destinada voluntariamente a la conservación "La Ciénega" Puerto Ángel, Oaxaca. Pp: 289-304 *In: Alatorre-Cejudo, L., L. Bravo-Peña, L. Wiebe-Quintana, M. Torres-Olave, M. Uc-Campos, M. Gonzalez-Leon (ed.), Estudios territoriales en México: Percepción remota y sistemas de información espacial. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juarez, Chihuahua, México.*
- Sánchez, L. 2016. Estructura y diversidad arbórea del Jardín Botánico Chepilme, Universidad del Mar, Oaxaca. Tesis de Licenciatura, Universidad del Mar.
- Sánchez Sánchez, O. & G. A. Islebe. 2000. El jardín botánico Dr. Alfredo Barrera Marín: fundamento y estudios particulares. CONABIO, México.