

Comparación en el uso de globos y drones como herramientas para el mapeo y monitoreo del PNSAV.

Comparing the performance of blimps and drones as monitoring and mapping tools for the PNSAV.

¹Aguilera-Arias J, ²Ramírez-Chávez EJ, ³Bello-Pineda J.

Email: jabello@uv.mx.

¹Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías (ICIMAP)-Universidad Veracruzana. Av. Independencia No. 38, Segundo piso. Col. Centro. Boca del Río, Veracruz, México, C.P. 94290.

²Universidad Del Mar. Laboratorio de SIG y PR. Ciudad Universitaria Puerto Ángel, Distrito de San Pedro Pochutla, Oax. México, C.P. 70902.

³ICIMAP-Universidad Veracruzana. Av. Independencia No. 38, Segundo piso. Col. Centro. Boca del Río, Veracruz, México, C.P. 94290.

RESUMEN

La percepción remota (PR) ha probado su eficiencia para la caracterización, evaluación, monitoreo y modelaje en arrecifes coralinos someros, sin embargo algunos productos de PR más usados, como son las imágenes de satélite, presentan limitantes de resolución espacial o espectral que limitan obtener mapas de fondos a escala fina. Por esto se requieren enfoques de múltiples escalas, que implican la toma de datos de campo o usar imágenes de mayor resolución espacial para identificar los componentes a un detalle fino y así clasificar y verificar las imágenes de satélite. Esto aumenta los costos de los proyectos considerablemente. En años recientes y ante la disminución de costos en equipo de fotografía y video de alta definición se ha planteado la alternativa del uso de plataformas independientes para obtener imágenes aéreas de alta resolución espacial y disminuir así los costos de trabajo de campo. En este estudio se comparan dos plataformas autónomas para obtener imágenes de alta resolución espacial en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano; por un lado un globo inflado con helio y por otro lado un "dron". En ambos casos a estas plataformas se les montaron cámaras de alta definición no especializadas y en ambos casos la alta calidad de las imágenes permitió identificar tipos de fondo a una escala espacial similar a la obtenida con evaluaciones visuales rápidas en campo. A pesar que con ambas plataformas se obtienen resultados similares en cuanto a resolución espacial, existieron diferencias al evaluar tres categorías de aspectos para su uso práctico en campo: a) Facilidad de uso en terreno, b) facilidad de aprendizaje y adquisición de habilidad para su manipulación y c) aspectos relacionados al precio, accesorios y mantenimiento del equipo. La síntesis global arroja un puntaje ligeramente superior para el globo en comparación al dron.

Palabras clave: Percepción remota, arrecifes coralinos, imágenes de alta resolución.

ABSTRACT

Remote sensing (RS) has proven to be efficient in characterizing, evaluating, monitoring and modeling shallow coral reef; however some widely used RS products, such as satellite imagery, have limitations in their spatial and spectral resolutions to produce fine scale bottom types maps. That is why multi-scale approaches are required,

which implies the need of getting field data or using higher resolution imagery to identify bottom components to a finer detail and use them to classify and verify satellite imagery. This increases project costs considerably. Recently, the reduction on costs for high definition photography and video equipment has offered the alternative of using independent platforms to obtain high-resolution aerial imagery and reducing field work costs. In this paper, we compare two independent platforms to obtain high-resolution imagery at Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano; namely a Helium inflated blimp and a remotely operated drone. In both cases, platforms carried non-professional high definition cameras and in both cases high-resolution imagery obtained, allowed us to identify bottom types to a similar spatial resolution of rapid visual assessment techniques conducted directly in field. Despite that we obtained similar results with both platforms regarding spatial resolution, there were differences when we evaluated three categories of aspects related to their practical use in field: a) Ease to use in field, b) Ease to learn and developing skills for their use and c) aspects related to costs, accessories and maintaining of equipment. The overall synthesis ranked the blimp lightly above drone.

Key words: Remote sensing, coral reefs, high-resolution imagery.

INTRODUCCIÓN.

Los arrecifes coralinos se encuentran entre los ecosistemas más productivos y biodiversos en el planeta, y proveen de importantes servicios ambientales a las comunidades humanas (Costanza 1997; Hatcher 1997; Moberg y Folke 1999). Además de que contribuyen en gran medida a la economía de un área, por su valor turístico principalmente (Moberg y Floke 1999; Burke et al. 2011). Estos ecosistemas se encuentran en riesgo debido al acelerado crecimiento poblacional en zonas costeras y el cambio climático que ponen en riesgo su integridad ecológica (Souter y Lindén 2000), debido a la importancia de los arrecifes coralinos, existe una mayor conciencia para su conservación y protección (Wilkinson 2008).

El establecimiento de áreas naturales protegidas es una estrategia exitosa para conservar áreas coralinas a nivel mundial, sin embargo, el establecer e implementar un programa de monitoreo en tales sitios representa un costo económico que algunos países no pueden mantener (Phinn 1998; Green et al. 2000; Spalding et al. 2001; Coppin et al. 2004). La Percepción Remota (PR) ofrece una alternativa costo-efectiva que permite obtener información de extensas áreas arrecifales y a diversas escalas de tiempo, por lo que se han convertido en importantes herramientas en el monitoreo y evaluación de arrecifes coralinos (Mumby y Edwards 2002; Andréfoüet et al. 2004; Scopéltis y Lindén 2010).

En ecosistemas de arrecifes coralinos, se han utilizado productos de PR, obtenidos mediante el uso de diversas plataformas (satélites, aviones, globos, papalotes, sondas, etcétera), en diversas aplicaciones como el mapeo de hábitats arrecifales (Cuevas-Jiménez et al. 2002; Aguirre-Gómez et al. 2005; Kabiri et al. 2014), detección de cambios a través del tiempo (Andréfouët et al. 2001; Palandro et al. 2003), evaluación de pérdida y cobertura coralina (Lewis 2002; Mumby et al. 2004), e incluso como insumo básico en el diseño de áreas marinas protegidas (Aswani y Lauer 2006).

Las imágenes satelitales, son uno de los productos de PR más costo-eficientes debido a que permiten mapear grandes áreas logrando una visión general del ecosistema, sin embargo, es necesario un

extensivo trabajo en campo para calibrar las imágenes, esto representa una alta inversión económica que depende directamente de la resolución de clasificación en la imagen satelital, es decir, a mayor detalle descriptivo es mayor el esfuerzo de trabajo en campo (Bird et al. 2000; Green et al. 2000; Capolsini et al. 2003).

Como alternativa al trabajo de campo, se han empleado enfoques de múltiples escalas (Scopéltis y Lindén 2010) que combinan diferentes tipos de productos de PR (imágenes satelitales, imágenes aéreas), estos productos son generalmente costosos ya que implican el uso de una plataforma alterna, principalmente aviones o avionetas (Green et al. 2000; Andréfoüet et al. 2005; Eakin et al. 2010). Otros trabajos han implementado el uso de plataformas independientes (globos, papalotes) como una manera costo-efectiva que reduce la inversión económica y el tiempo necesario para obtener información en campo (Estep et al. 1994; Boike y Yoshikawa, 2003; Sklaver et al. 2006; Terrados y García 2011; Kabiri et al. 2014). Recientemente, se ha popularizado y diversificado el uso de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV's por sus siglas en inglés) comúnmente llamados "Drones" (Añonuevo 2013; Fleur 2013; Kabiri et al. 2014), pero existen pocos trabajos que evalúen su eficiencia en zonas costeras.

En este trabajo se compara el uso de dos tipos de plataformas alternativas para la obtención de datos de PR en ecosistemas de arrecifes coralinos, un globo y un "dron". El estudio se realizó en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, donde nos enfocamos en varios aspectos técnicos y discutimos el potencial de utilizar ambas herramientas como auxiliares en el mapeo y monitoreo de este tipo de ecosistemas.

ÁREA DE ESTUDIO

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) se ubica en las coordenadas extremas: 19°02'16'' - 19°15'32'' Norte and 95°46'55'' - 96°11'45'' Oeste en el Golfo de México (Fig. 1). El PNSAV está conformado por 23 arrecifes de tipo plataforma divididos de manera natural por las descargas del Río Jamapa en grupos Norte y Sur (Lara et al. 1992). El grupo norte se encuentra frente a la ciudad de Veracruz (una de las ciudades más antiguas en México y puerto importante del Golfo de México), el grupo sur frente a la localidad de Antón Lizardo en el municipio de Alvarado. Históricamente, el PNSAV ha estado sujeto a fuertes impactos ambientales como la extracción de piedra coralina para la construcción de edificios en la época colonial (Carricart-Ganivet 1998), sedimentación por las descargas de ríos (Krutak et al. 1997), contaminación por descargas de aguas residuales, basura y sobrepesca (Tunnell 1992; Ortíz-Lozano et al. 2005) y recientemente por un proyecto de ampliación portuaria en las inmediaciones de algunos arrecifes cercanos al recinto portuario (APIVER 2011).

El PNSAV es un Área Natural Protegida desde 1992 (D.O.F. 1992), sin embargo aún no cuenta con un programa de manejo que establezca las medidas de conservación y aprovechamiento de esta área, aunado a esto ha sufrido modificaciones en su extensión (D.O.F. 2012) dejando de lado la protección a algunos sitios arrecifales previamente protegidos. El monitoreo que se realiza en esta área (por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), presenta limitantes espaciales que concentran sus

esfuerzos principalmente a los arrecifes de la parte Norte ya que existen carencias de infraestructura, personal y recursos económicos para monitorear toda la zona (CONANP 2012).

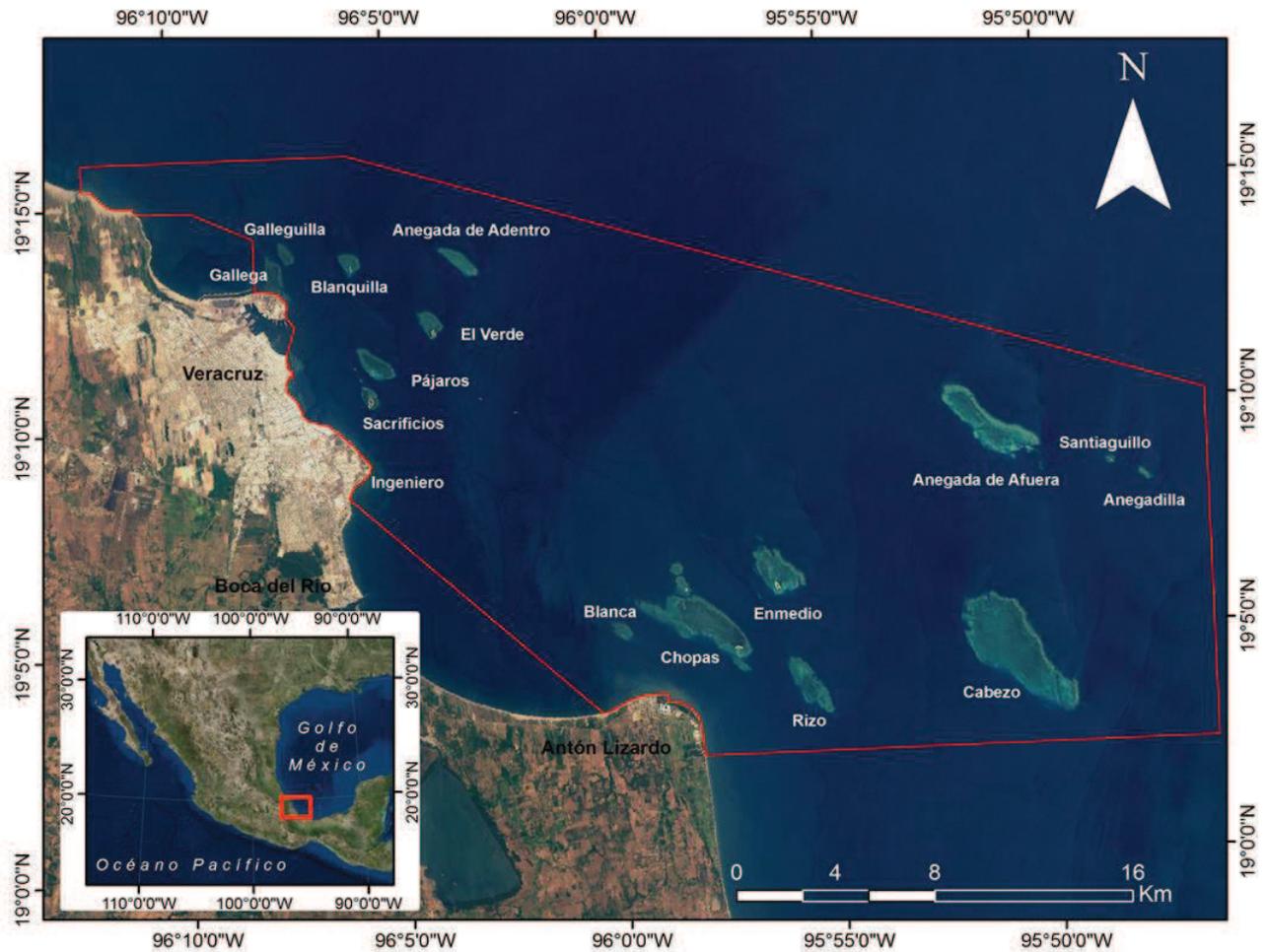


Fig. 1.- Área de estudio.

MATERIAL Y MÉTODOS.

Uso de un Globo para obtener video aéreo de alta resolución.

Para obtener video de alta resolución espacial (HD en inglés) se utilizó como plataforma un globo con forma de dirigible de 5 m de largo x 2m de ancho, hecho de nylon ultra-ligero con doble cámara e

inflado con Helio. Se emplearon dos tipos de cámaras, una de marca Sony HDR-SR10 (1920 X 1080 resolución) con la que se tomó video en los arrecifes Blanquilla, Sacrificios y Verde; y otra cámara de marca KODAK HD-K630 para los arrecifes Anegada de Afuera, Cabezo y En medio. Las cámaras se ajustaron a la base del globo mediante un tripie, al instalar la cámara se cuidó que el lente quedara perpendicular a la superficie del mar para comenzar a grabar con un zoom a infinito. El globo se elevó a 100 m de altura. Al utilizar un globo como plataforma no es posible mantener el control sobre la grabación así que al finalizar un transecto se recuperaba y revisaba el video. Los videos fueron tomados describiendo transectos en zigzag sobre las lagunas arrecifales durante la mañana (08:00 a 11:00 a.m.) en días calmos y sin nubes; los transectos fueron realizados utilizando una lancha de aluminio con motor fuera de borda, desde el bote los usuarios arrastraban el globo (líneas guías) que con el trayecto del bote abarcaba la mayor área posible del arrecife muestreado. Simultáneamente a la colecta de video aéreo desde la lancha y ayudados de una cubeta con fondo de vidrio se describían y registraban los tipos de fondos, utilizando una técnica de evaluación rápida considerando los elementos visualmente dominantes de acuerdo al sistema modificado de clasificación de Bello-Pineda (1998) y registrando los puntos de observación mediante un GPS Map76Cx Garmin™ (Done et al. 1981; Bello-Pineda et al. 2005).

Procesamiento del video aéreo obtenido con el globo.

El video aéreo se procesó congelando cuadros individuales y guardándolos como imágenes *.jpg con el programa Picture Motion Browser™. Estos cuadros fueron combinados mediante el software Photoshop para crear mosaicos de al menos tres imágenes. Estos mosaicos fueron importados al software Arc Gis 9.3 donde fueron corregidos geográficamente (georeferenciados), usando como referencia fotografías aéreas (adquiridas en Junio de 2007), y una imagen de satélite SPOT del 2009.

Generación de mapas temáticos de tipos de fondo.

Los mosaicos georeferenciados y los puntos de las estaciones con los resultados del análisis de datos de campo, fueron sobrelapados a las fotografías aéreas y a la imagen SPOT del 2009. Dicha imagen SPOT recibió un pre-procesamiento que consistió en aplicar una máscara (Green et al. 2000) con la cual se seleccionaron únicamente las lagunas arrecifales a estudiar, eliminando los elementos que “generan” ruido (agua profunda, islas, etc.) en la imagen (Green et al. 2000). La máscara se realizó empleando la banda infrarroja (longitud de onda 780 - 890 nm) de la imagen SPOT, ya que esta banda no penetra el agua (Green et al. 2000). Debido a las notorias diferencias en propiedades de la columna de agua (Lara et al. 1992), la imagen original fue subdividida entre arrecifes al norte y sur del sistema. Con el software TNT mips™ (<http://www.microimages.com>), se generaron los sitios de entrenamiento (Green et al. 2000), empleando la herramienta “sample cell ranges” del mismo programa, esta herramienta permite asignar pixel por pixel a cada tipo de clase (hábitat), para llevar a cabo la clasificación supervisada de la imagen de satélite se utilizó el algoritmo de máxima verosimilitud (Microimages 1997), ya que ha sido reportado que tiene una asignación de clases más precisa respecto a otros algoritmos de clasificación

supervisada (Green et al. 2000). El procedimiento de clasificación se realizó independientemente para las sub-imágenes de la parte norte y sur en que se dividió el área de estudio.

Evaluación de precisión de los mapas temáticos de tipos de fondo.

Para realizar la evaluación de la precisión de los mapas temáticos generados, se utilizaron algunos mosaicos de imágenes obtenidas del post-procesamiento de video aéreo HD. Se generaron sitios de verificación (polígonos) de los tipos de fondos presentes en las lagunas arrecifales usando el programa ArcMap 9.3™. Estos polígonos fueron convertidos a formato raster con el software IDRISI Andes™ (<http://www.clarklabs.org/>) y posteriormente exportados al programa TNT mips™. Estos polígonos se utilizaron como verificación de campo (“groundtruth”) en el proceso de evaluación de la precisión (Green et al. 2000), se utilizó el índice de Cohen Kappa para evaluar la precisión de los mapas generados (Cohen 1960).

Uso de un dron para obtener fotografía aérea de alta resolución.

El uso del dron tuvo como objetivo obtener exclusivamente imágenes aéreas de alta resolución del arrecife Verde. Las fotografías aéreas se obtuvieron el 7 de mayo de 2014 utilizando un Dron DJI Phantom V.1 (Fig. 4) el cual cuenta con sistema autopiloto Naza-M + GPS que ayuda a mantener estable su altitud. Se adaptó al fuselaje del dron un GPS Garmin modelo fénix de ± 1 m de error, cuya función es el registro del recorrido de vuelo con “checkpoint” (puntos de referencia) cada cinco segundos siendo sincronizado con la cámara fotográfica, GoPro 3+ Black edition (Dimensiones del sensor 6.6 [mm] x 4.95 [mm]) tomando fotografías cada cinco segundos con resolución de siete mega-píxeles. Para saber la altura a la que se encuentra el UAV se usó un Telemetro (Bushnell de precisión ± 1 m), y también para registrar el ascenso y detenerlo a una altura de 150 m.

Procesamiento de fotografías aéreas obtenidas con el dron.

Tanto las imágenes como los checkpoint fueron descargados y se seleccionaron las fotografías que se encontraban a una altura media de 150 m. El software Panorama Studio fue usado para crear un mosaico fotográfico que posteriormente fue exportado en ArcGIS 10.2 donde se le asignó referencia geográfica usando una imagen Landsat 8. En el caso de estas imágenes no se continuó ningún otro procesamiento de las imágenes de satélite pues el objetivo era obtener solo el mosaico del arrecife Verde.

Comparación de metodologías.

Con el objetivo de comparar los aspectos técnicos y prácticos del uso de ambas metodologías los autores tuvieron sesiones de análisis y se elaboró una tabla comparativa de ventajas y desventajas con el objetivo que sirva de guía sobre el tipo de enfoque a usar en estudios futuros. Adicionalmente y con el

objetivo de hacer una comparación lo más objetiva y sistemática posible se optó por utilizar un enfoque de análisis multicriterio. Los análisis multicriterio incluyen una serie de metodologías para abordar problemas que involucran la selección, orden y ponderación, que envuelven tanto objetivos como criterios múltiples (cuantitativos o cualitativos) y dar estructura a problemas de decisión poco estructurados (Bello-Pineda et al. 2013). En este caso se utilizó el Proceso analítico jerárquico (PAJ) implementado en el software Expert Choice™ (EC) (Saaty 1980). El PAJ permite establecer la importancia o contribución relativa de criterios, objetivos o preferencias utilizando comparaciones pareadas de los elementos utilizando un sistema de jerarquías. El resultado de las comparaciones pareadas de todos los elementos de un mismo nivel jerárquico entre sí permite asignar pesos (valores cuantitativos) relativos a cada elemento de acuerdo a su contribución respecto al criterio u objetivo del nivel jerárquico superior (Saaty 1980).

Utilizando el PAJ se realizó la comparación pareada de los siguientes atributos: accesibilidad de forma controlada y monitoreada, telemetría a distancia y programable para vuelos seguros, maniobrabilidad, escalabilidad, altitud y velocidad, estabilidad, tiempo de vuelo, precio, refacciones y accesorios, mantenimiento, control, transportación del equipo, curva de aprendizaje para el manejo y flyaway (vuelos en donde el vehículo no responde a los comandos del piloto).

La Fig. 2 muestra la estructura jerárquica usada para esta comparación. Debido a la diversidad de atributos a comparar, estos se agruparon en tres categorías:

- a. Facilidad de uso en terreno.
- b. Facilidad de aprendizaje y adquisición de habilidad para su manipulación.
- c. Aspectos relacionados al precio, accesorios y mantenimiento del equipo.



Fig. 2. Esquema jerárquico de los principales aspectos comparativos entre plataformas utilizadas (globo y dron).

Primero se estableció el peso global de cada uno de los tres grupos de atributos a evaluar y posteriormente cada atributo fue comparado de manera pareada para ambas plataformas utilizadas (globo y dron). Finalmente, utilizando el módulo de síntesis del EC, se estableció cuál de las dos plataformas ofrece mayores ventajas.

RESULTADOS.

Uso del Globo.

La Fig. 3 muestra la sobreposición de los mosaicos obtenidos a partir del video aéreo sobre las fotografías aéreas y la imagen SPOT. La resolución espacial alcanzada en estas imágenes fue de 4 cm en promedio.

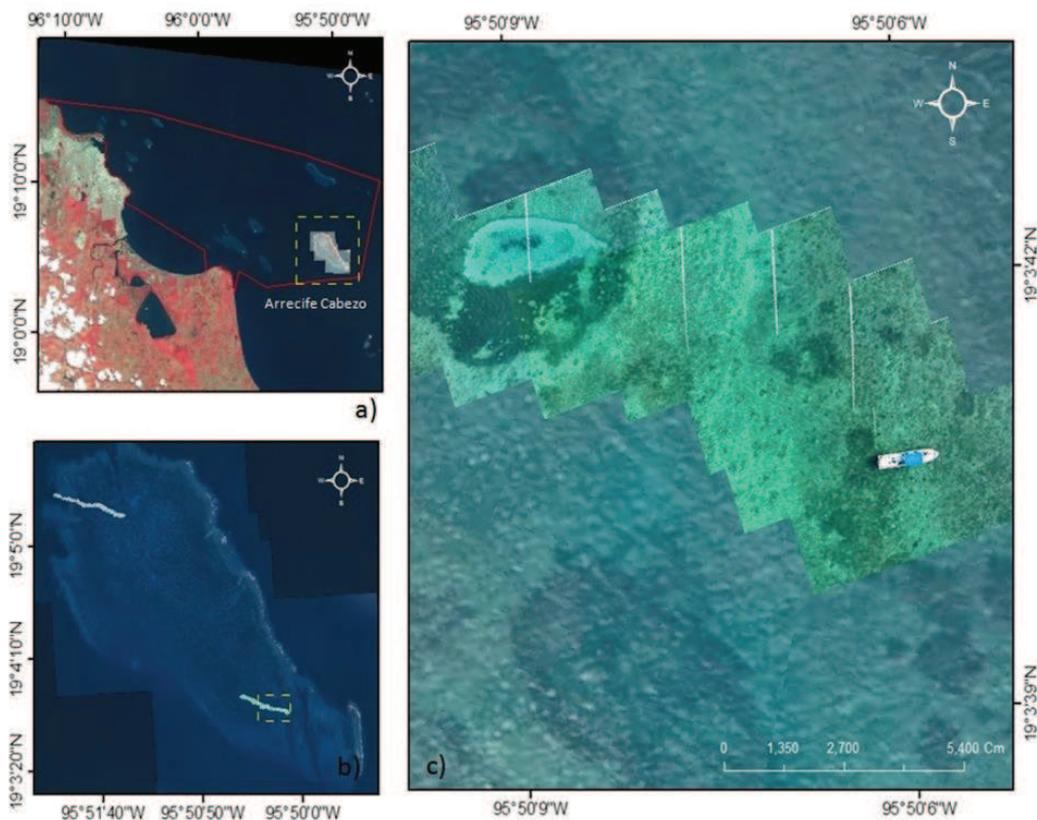


Fig. 3. Proceso de georreferencia de video aéreo obtenido mediante el uso del globo, a) imágenes satelitales, b) fotografía aérea y c) video aéreo.

La Fig. 4 muestra el mapa temático obtenido del proceso de clasificación de la imagen SPOT considerando las clases temáticas determinadas con el análisis estadístico de las clases de campo. La imagen muestra una clara diferencia estructural entre lagunas arrecifales al norte (cuatro tipos de fondos) y sur (tres tipos de fondos). La evaluación de la precisión mostró la utilidad del uso del video aéreo como fuente de información para verificar los mapas resultantes; obteniéndose un valor del índice de Kappa estimado para norte (72.95%) y para sur (77.53%). Los resultados presentados, sólo incluyen el procesamiento final de los datos obtenidos por Aguilera-Arias (2012).

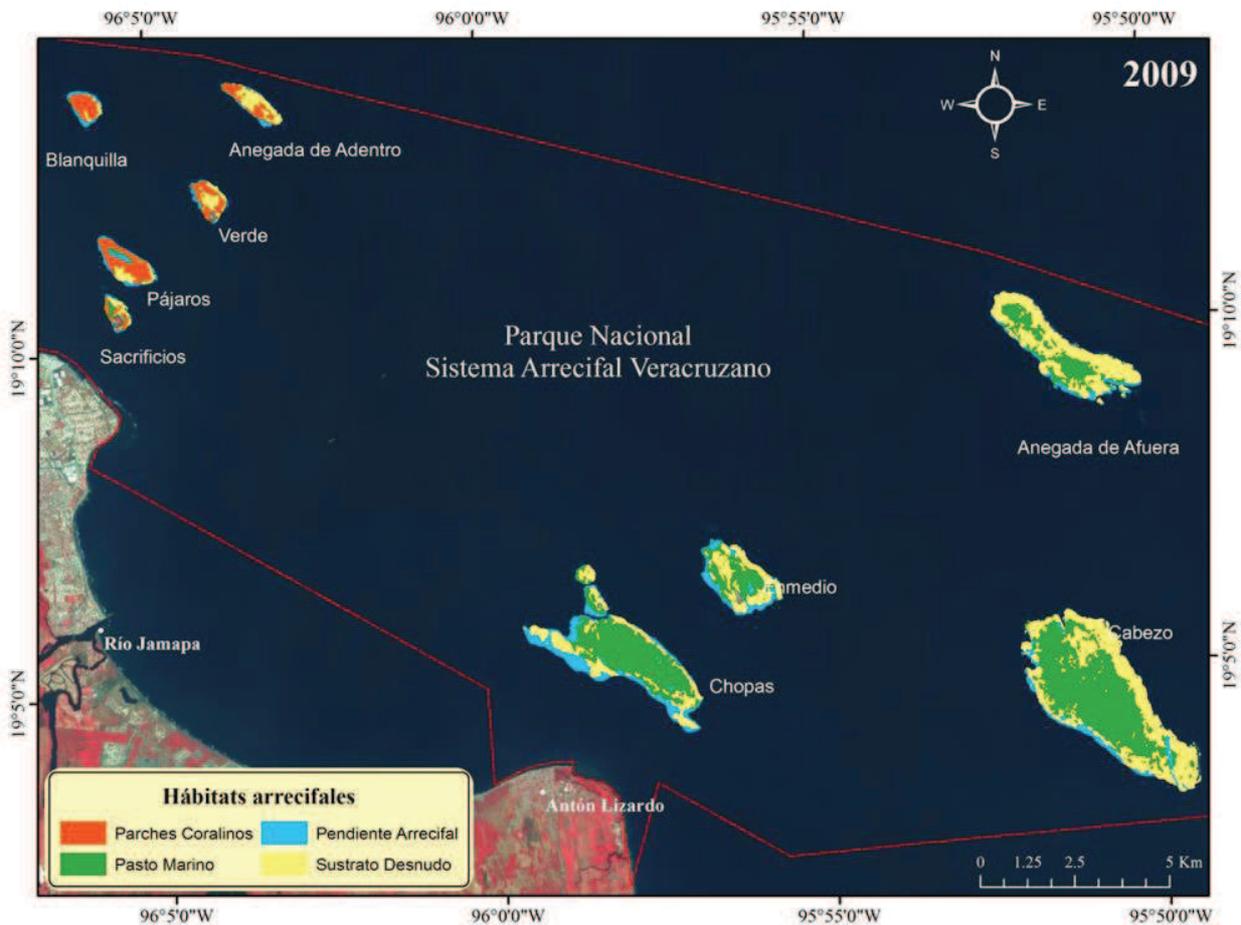


Fig. 4. Mapa temático de los tipos de hábitats presentes en lagunas arrecifales del PNSAV.

Uso del Dron.

La Fig. 5 muestra la imagen del arrecife Verde obtenida con el dron. Se alcanzó una resolución espacial de 2 cm y una cobertura de alrededor de 1 Km². A pesar de que en este caso no se prosiguió con una etapa de clasificación, el detalle de la imagen permitiría en teoría un enfoque análogo al seguido en Ramírez-Chávez et al. (2014) para la costa de Oaxaca.



Fig. 5. Mosaico de imágenes del arrecife Verde obtenidas con el dron sobrepuesta a la fotografía aérea.

Comparación de métodos.

La tabla 1 muestra un comparativo de ambos métodos considerando los diferentes aspectos evaluados.

Tabla 1. Análisis comparativo entre aspectos técnicos relacionados con las plataformas alternativas utilizadas para la obtención de imágenes aéreas.

Atributo	Globo	Dron
Accesibilidad de forma controlada y monitoreada	De fácil acceso en áreas remotas e inaccesibles. Mantienen la integridad del ecosistema al ser una técnica no intrusiva.	Se puede acceder a zonas inaccesibles, peligrosas o a una distancia considerada manteniendo intacta la integridad del usuario ya que puede transmitir video en tiempo real (Trimble 2013).
Telemetría a distancia y programable para vuelos seguros	No es posible programar la dirección del vuelo, que depende totalmente del usuario que arrastra el globo con ayuda de cordel de longitud variable.	El GPS, la brújula, acelerómetros, giroscopios interno además de evitar la pérdida del dron, se enlazan a una aplicación que permite calcular automáticamente la energía para no rebasar punto de no retorno. De esta manera el dron entra en modo de vuelo autónomo "Home Lock" y regresa al punto de despegue siempre y cuando se haya esperado el despegue para que registre dicho punto.
Maniobrabilidad	Debido al uso de cordel guía los cables o árboles son un obstáculo considerable.	Puede librar obstáculos con mucha facilidad, evitando así los problemas de accesibilidad. Pero esta características no solo pueden variar por el diseño, también el usuario juega un papel importante en el desempeño de la maniobrabilidad, así como las condiciones climatológicas.
Escalabilidad	Soporta pesos mayores a 5 Kg por lo que se pueden acoplar varios aditamentos sin problema.	Gran número de drones son diseñados con el objetivo de obtener fotografía y video aéreo comercial o publicitario. Es por eso algunos cuentan con <i>gadgets</i> como complementación. Tal es el caso de diferentes tipos de arneses, estabilizadores de cámaras digitales de diferentes modelos para su manipulación. Hay que señalar que el peso extra de los <i>gadgets</i> afecta en la duración del vuelo.
Altitud y velocidad	La altitud depende enteramente del usuario. La velocidad está dada por el usuario que tiene el control del globo en tierra, pero el uso de cuerda limita su altitud pues entre más larga sea, mayor la resistencia al viento.	Pueden alcanzar alturas de hasta 6 Km, con una velocidad máxima registrada de 18 km/h. Al momento de escribir este artículo se cuenta con la circular CO AV-21.2/07Rde la SCT la cual divide a estos vehículos en 3 secciones según su peso, para el uso en este artículo se recomienda no volarlo a menos de 8 km de un aeropuerto y nomas allá de 150 metros.

Atributo	Globo	Dron
Estabilidad	Diseño aerodinámico que permite al globo adaptarse a las condiciones climáticas presentes (cuenta con alerones que se ajustan a la dirección del viento).	Depende de la eficiencia de los motores, así como de las variables climáticas, puesto que no soportan vientos de más de 40 km/H, Índice K (electromagnetismo del sol) mayor a 7. Sin embargo su GPS, controlador electrónico de velocidad de los motores, giroscopios y acelerómetros permite mantener al dron en una sola posición sin necesidad de ajustarla manualmente con el radio control, con una precisión de +/- 50 cm.
Tiempo de vuelo	Indefinido, depende directamente del Helio (entre 2 o 3 días de durabilidad). El tiempo de vuelo depende directamente de la capacidad de la batería utilizada en la cámara (entre 1 a 2 horas continuas).	El tiempo de vuelo está relacionado a las baterías, debido a su durabilidad. Se han registrado drones no militares con vuelos de alrededor de 9 a 25 minutos sin equipo fotográfico, lo cual podría ser una limitante, sin embargo programando la cámara para tomar fotografía cada 3 o 5 segundos se puede llegar a cubrir 16 Ha.
Precio	Entre \$US 1,000.00 y 1,200.00	Variaran de acuerdo a los diseños y modelos que pongan a disposición las diferentes empresas distribuidoras, o los componentes que uno quiere comprar para ensamblar, sin embargo se puede conseguir desde \$10,000 ^{Mn} . Aun así es claro que se pueden obtener drones a muy buen precio y con muy buenos atributos. Es importante mencionar que la rentabilidad de estos dependerá del uso y el mantenimiento que se proporcione. Un apartado especial son las baterías éstas van desde los \$800 hasta los \$6,000, según el numero de celdas, capacidad de carga y de descarga. Se recomienda por lo menos tener un par de baterías para aprovechar al máximo el UAV
Refacciones y accesorios	Mínimas. Parches y pegamento de PVC alrededor de \$50.00, pero el precio de cada recarga de Helio es de \$1,900.00.	Actualmente es fácil de conseguir refacciones para drones comerciales, se pueden encontrar en línea de diferentes empresas alrededor de la republica que ofrecen servicios de reparación o envío, refacciones, teniendo costos desde \$150 hasta \$6,000.
Mantenimiento	No se considera obligatorio, solamente si el globo se moja con agua salada se recomienda enjuagarse con agua dulce para eliminar el salitre y secarlo. La garantía de fábrica es de 2 años.	El mantenimiento es de bajo costo, salvo que se tenga que cambiar o reparar una pieza, sobre todo si se trata del estabilizador de la cámara. Se requiere limpieza de motores por cada sesión de trabajo, actualizaciones de software una vez al mes, revisión mecánica tuercas y conexiones eléctricas, verificación de carga de las baterías. No es recomendable volar el UAV por más de 4 baterías, se recomienda un descanso de una hora con la finalidad que los motores no se sobrecalienten.

Atributo	Globo	Dron
Control	Este globo no cuenta con control remoto. Depende directamente del usuario en tierra ya que se maneja el globo a través de una cuerda de longitud variable.	El radiocontrol y el GPS de los drones pueden considerarse una ventaja. Debido a la accesibilidad y el control que permiten. Aun así puede ser una desventaja debido a que pueden ser <i>hackeados</i> mediante su navegador GPS (Wozni 2012). Logrando hacer que el dron entre en piloto automático mencionado anteriormente, al aumentar el nivel de ruido, para después ser guiado por una señal pirata que le proporciona coordenados de aterrizaje, que el dron tomará como punto de inicio.
Transportación del equipo	Equipo frágil. Un Volumen de 0.5 m ² y peso de 3 Kg con accesorios. Requiere un maletín especial.	En el país, el transportar un UAV principalmente por medio aéreo, no cuenta con regulaciones estrictas. Sin embargo ante la creciente demanda y conocimiento de ellos, algunos aeropuertos piden documentar baterías o guardarlas en bolsas protectoras y maletines especiales.
Curva de aprendizaje para el manejo de Dron	No es necesario un entrenamiento extenso para manipularlo solo es necesario mantenerlo estable (1 a 2 semanas).	Apenas se empiezan a generar estadísticas sobre el uso de los drones, sin embargo se estima una curva de 4 a 6 meses para maniobrar de forma precisa el equipo y saber cómo reaccionar ante algún imprevisto.
<i>Flyaway</i> (vuelos en donde el vehículo no responde a los comandos del piloto)	Depende básicamente de la resistencia del cordel con que se sujeta, pero puede resistir vientos de hasta 40Km/h manteniéndose estable.	Principalmente se deben a errores de piloto o falta de mantenimiento. Sin embargo, se han dado por fallas eléctricas de los motores, aunque con probabilidad del 1% o menor.

La tabla 2 muestra el peso asignado, primero a cada grupo de atributos y posteriormente a los diferentes atributos por cada grupo. Se puede observar que se le asignó un mayor peso al grupo de atributos relacionados con la facilidad de uso (0.523), seguido por el grupo de aspectos relacionados al precio, accesorios y mantenimiento del equipo (0.289) y finalmente el grupo relacionado a la facilidad de aprendizaje y adquisición de habilidad para su manipulación (0.188). Posteriormente se observa el puntaje asignado a cada atributo individualmente, mediante la comparación pareada. Es importante resaltar que la contribución individual de cada atributo es a su vez ponderada por el peso asignado al grupo al que pertenece, por lo que los atributos del grupo relacionado a la facilidad de uso (con un peso de 0.523) tienen un mayor peso global que los del grupo relacionado a la facilidad de aprendizaje y adquisición de habilidad para su manipulación (con un peso 0.188).

La síntesis global de los resultados asigna una calificación ligeramente mayor al globo con un valor general de 0.515 respecto al 0.485 del dron.

Tabla 2. Peso asignado a los diferentes grupos de atributos y calificación parcial asignada para cada plataforma y para cada atributo.

Nivel 1 Grupo de Atributos	Peso	Nivel 2 Atributo	Peso	Calificación Parcial	
				Globo	Dron
Uso	0.523	estabilidad	0.092	0.092	0.046
		control	0.090	0.069	0.090
		tiempo	0.089	0.089	0.029
		accesibilidad	0.078	0.049	0.078
		telemetría	0.070	0.035	0.070
		altitud	0.056	0.037	0.056
		velocidad	0.049	0.022	0.049
Precio	0.289	costo	0.093	0.093	0.075
		mantenimiento	0.071	0.071	0.036
		refacciones	0.050	0.039	0.050
		escalabilidad	0.042	0.042	0.042
		transportabilidad	0.033	0.033	0.021
Aprendizaje	0.188	maniobrabilidad	0.077	0.023	0.077
		flyway	0.066	0.066	0.025
		aprendizaje	0.046	0.046	0.017

DISCUSIÓN.

El uso de imágenes satelitales continua constituyendo una herramienta importante en el mapeo de arrecifes coralinos debido a que ofrecen una visión sinóptica regional de un área arrecifal (Andréfouët et al. 2004; Eakin et al. 2010). Actualmente, las plataformas independientes alternas (globos, papalotes, paracaídas y drones) han cobrado popularidad en diversas aplicaciones, que incluyen los arrecifes coralinos (Añonuevo 2013; Fleur 2013; Kabiri et al. 2014; Schill 2014). Las plataformas alternas permiten obtener información de alta resolución, pero con menor amplitud de área; por esta razón, se propone que el uso de plataformas alternas sirva como información complementaria en el mapeo de arrecifes coralinos, tal y como en este trabajo, que se demostró la utilidad del video aéreo con el globo para obtener información útil en la clasificación y verificación de mapas temáticos, similar a los trabajos de Schill (2014) y Kabiri et al. (2014) donde utilizan video aéreo de una plataforma alterna (dron y paracaídas) como fuente de información en el mapeo de arrecifes coralinos.

Adicionalmente, la resolución final del video y fotografía aéreos ofrece una herramienta que pueda ser utilizada en el monitoreo de organismos marinos. Tal y como lo señalan Kabiri et al. (2014), quienes indican que las imágenes HD obtenidas mediante una plataforma alterna proporcionan información detallada sobre cobertura coralina que podría ser utilizada en un programa de monitoreo para observar cambios en colonias de corales. Durante la realización de este trabajo, se pudieron observar

organismos como tortugas, peces grandes (rayas), camas de pastos marinos, erizos de mar y corales, que pueden ser objetivos de monitoreo posterior.

Al comparar las plataformas utilizadas (globo y dron), fue posible establecer algunas diferencias y similitudes entre ambas herramientas. Sin embargo, una diferencia relevante es el tiempo de grabación de video que en el caso del globo depende de la batería de la cámara, pudiendo grabar hasta 2:30 hrs. En el caso del dron, la grabación no es constante ya que necesita cambios de baterías cada 12 minutos, lo que concuerda con Schill (2014) quién menciona que fueron necesarias 10 baterías de 2700 mAh para obtener 100 minutos de grabación de un ecosistema arrecifal. Sin embargo, el dron presenta mayor estabilidad para tomar video y/o fotografía debido a sus giroscopios, acelerómetros y GPS integrado, por lo que en un periodo de tiempo más pequeño la cantidad de material desperdiciable llega a ser nulo o cercano a nulo. En el caso del globo, el Helio dura entre 2 – 3 días, por lo cual se podría considerar una herramienta con mayor costo-beneficio ya que no es necesario adquirir varias unidades de baterías. A pesar de esta diferencia, actualmente los drones se están convirtiendo en herramientas más comerciales y de fácil acceso, cada vez con mejoras en cuanto a eficiencia, tiempo de vuelo, maniobrabilidad y navegación (Austin 2010). Por lo que representan herramientas en proceso de mejoramiento, con potencial de uso en el monitoreo de ecosistemas naturales.

En el presente trabajo se comparó el uso de dos plataformas independientes (globo y dron) para obtener imágenes aéreas en arrecifes coralinos someros. El análisis comparativo de ambos métodos se inclina al uso del globo como una mejor alternativa, sin embargo, las características tecnológicas del dron no demeritan su enorme potencial. Debe considerarse que esta comparación es un ejercicio basado en la percepción de los autores y que con seguridad otros usuarios pueden tener percepciones diferentes. Tanto el método de comparación, como los atributos evaluados, la forma en que éstos fueron agrupados y los pesos asignados a dichos grupos determina el resultado obtenido, por lo que se recomienda ampliar la muestra con otros usuarios de plataformas independientes e incluso extenderla a otros tipos de cámaras. Los resultados sugieren que ambas alternativas son herramientas no intrusivas que mantienen la integridad ecológica del ecosistema, las imágenes aéreas obtenidas son de alta resolución (4 cm/pixel para el globo y 2 cm/pixel para el dron) lo que representan gran potencial para identificar organismos en el fondo (camas de pastos marinos, corales, peces grandes, erizos, entre otros). Aunque aquí no se realizó un estricto análisis costo-beneficio, si se incluyeron en la evaluación los aspectos de precio, accesorios y mantenimiento del equipo, que nos permite considerar que ambas herramientas son opciones costo-efectivas para el monitoreo de ambientes arrecifales. Esto es relevante, sobre todo en países como el nuestro, con bajos presupuestos para el monitoreo ambiental; como quedó de manifiesto en el proceso que llevó a la modificación de la poligonal del PNSAV (Diario Oficial de la Federación 2012), pues la Comisión de Áreas Naturales Protegidas cuenta con un presupuesto muy reducido para monitorear las áreas naturales protegidas (ANP) del país, especialmente ecosistemas costeros y marinos como el PNSAV. Consideramos que el uso de plataformas independientes como son globos o drones representan una oportunidad de obtener información a diferentes resoluciones espaciales y temporales que pueden contribuir a un mejor manejo de los recursos naturales.

AGRADECIMIENTOS.

Agradecemos el financiamiento por el CONACYT al proyecto 89997 y la beca de maestría a Aguilera-Arias. Al Dr. J.L. Hernández-Stefanoni por sus recomendaciones y apoyo para conseguir las imágenes de satélite a través de la SEMAR (convenio DIS-007/09). Al Biol. Jorge Carranza por las fotografías aéreas utilizadas.

BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilera-Arias J. 2012. Caracterización estructural y dinámica del paisaje en lagunas arrecifales: estudio de caso Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías de la Universidad Veracruzana, Boca del Río, Veracruz, México. 81 p.
- Aguirre-Gómez R y LM Morales-Manilla. 2005. Análisis espectral del arrecife coralino de Cayos Arcas, Campeche, México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 57: 7-20.
- Andréfouët S y B Riegl. 2004. Remote sensing: a key tool for interdisciplinary assessment of coral reef processes. *Coral Reefs* 23: 1-4.
- Andréfouët S, EJ Hochberg, C Chevillon, FE Muller-Karger, JC Brock y C Hu. 2005. Multi-scale remote sensing of coral reefs. p. 297-315. En Miller RL, CE Del Castillo y BA McKee (eds.). *Remote sensing of coastal aquatic environments*. Springer. Netherlands.
- Andréfouët S, FE Muller-Karger, EJ Hochberg, C Hu y KL Carder. 2001. Change detection in shallow coral reef environments using Landsat 7 ETM+ data. *Remote Sensing of the Environment*. 78: 150-162.
- Año nuevo. 2013. How kites are being used to save PHL coral reefs. GMA news online. <http://www.gmanetwork.com/news/story/337627/scitech/how-kites-are-being-used-to-save-phl-coral-reefs> (accesado el 20 de Abril de 2015).
- APIVER. 2011. Programa Maestro de Desarrollo Portuario de Veracruz 2011-2016, p. 57 y 160, Disponible en <http://www.puertodeveracruz.com.mx/apiver/archivos/PDMP/PMDP-2011-2016.mod.Dic-2012.pdf>
- Aswani S y M Lauer. 2006. Benthic mapping using local aerial photo interpretation and resident taxa inventories for designing marine protected areas. *Environmental Conservation* 33 (3): 263-273.
- Austin R. 2010. *Unmanned aircraft systems: UAVs design, development and deployment*. John Wiley & Sons, Chichester, UK. 365 p.
- Bello-Pineda J. 1998. Sistema de clasificación para los tipos de fondo del arrecife Alacranes compatible con una imagen Landsat TM. Tesis de Maestría. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Mérida, Yucatán, México. 104 p.
- Bello-Pineda J., MA Liceaga-Correa, H Hernández-Núñez y R Ponce-Hernández. 2005. Using aerial video to train the supervised classification of Landsat TM imagery for coral reef habitats mapping. *Environ. Monit. Assess.* 105: 145-164.
- Bello-Pineda J, V Obregón-Noriega, J C Grageola-Núñez, M A Cruz-Nieto y C Carmona-Islas. 2013. Developing a user-friendly decision support system for the Wetlands Corridor of the Gulf of California. *Ocean and Coastal Management*. 82: 127-137.
- Bird A C, J C Taylor y T R Brewer. 2000. Mapping National Park Landscape form ground, air and space. *International Journal of Remote Sensing*. 21(23): 2719-2736.
- Boike J y K Yoshikawa. 2002. Mapping of periglacial geomorphology using kite/blimp aerial photography. *Permafrost and Periglacial Processes*. 14: 81-85.
- Burke L, K Reyntar, M Spalding y A Perry. 2011. *Reefs at risk revisited*. World Resources Institute. Washington, D.C. 130 p.
-

PARQUE NACIONAL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO
NÚMERO ESPECIAL VOL.2, No.8. JULIO-DICIEMBRE 2015.

- Capolsini P, S Andréfouët, C Rion y C. Payri. 2003. A comparison of Landsat ETM+, SPOT HRV, Ikonos, ASTER, and airborne MASTER data for coral reef habitat mapping in South Pacific islands. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 29(2): 187-200.
- Carricart-Ganivet J P. 1998. Corales escleractíneos, “piedra mucar” y San Juan de Úlua, Veracruz. *Cienciay Desarrollo* 141: 70-73.
- CONANP. 2010. Bitácora de registro de actividades realizadas en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Coppin P, I Jonckheere, K Nackaerts, B Muys y E Lambin. 2004. Review Article Digital Change detection methods in ecosystem monitoring: review. *International Journal of Remote Sensing*. 25 (9): 1565-1596.
- Costanza R, R d'Arge, R de Groot, S Farber, M Grasso, B Hannon, K Limburg, S Naeem, R V O'Neill, J Paruelo, R G Raskin, P Sutton y M Van Den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Cuevas-Jiménez A, P L Ardisson y A R Condal. 2002. Mapping of shallow coral reefs by colour aerial photography-*International Journal of Remote Sensing*. 23(18): 3697-3712.
- De Vel O Y y W Bour. 1990. The structural and thematic mapping of coral reefs using High resolution SPOT data: Application to the Tetembia reef (New Caledonia). *Journal Geocarto International*. 2: 1-8.
- Diario Oficial de la Federación. 1992. Decreto Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Lunes 24 de Agosto de 1992, México. <http://www.conanp.gob.mx/sig/decretos/parques/sav.pdf>
- Diario Oficial de la Federación. 2012. Decreto por el que se modifica la extensión del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Viernes 30 de Noviembre de 2012, México. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5280548&fecha=29/11/2012
- Done P J. 1992. Phase-shifts in coral reef communities and their ecological significance. *Hydrobiología* 247: 121-132.
- Eakin C M, C J Nim, R E Brainard, C Aubrecht, C Elvidge, D K Gledhill, F Muller-Karger, P J Mumby, W J Skirving, A E Strong, M Wang, S Weeks, F Wentz, y D Ziskin. 2010. Monitoring coral reefs from space. *Oceanography*. 23(4):118-133.
- Estep K W, F MacIntyre, T T Noji, B Stenholz y T Oritsland. 1994. Seal sizes and habitat conditions assessed from aerial photography and video analysis. *ICES Journal of Marine Science*. 51: 253-261.
- Fleur. 2013. Charting the world's reefs using drones. *Monterey herald news*. http://www.montereyherald.com/news/ci_24429361/charting-worlds-reefs-using-dronedrones (accesado el 20 de Abril de 2015).
- Graham N A, K L Nash y J T Kool. 2010. Coral reef recovery dynamics in a changing world. *Coral Reefs*. 30: 283 – 294.
- Green P E, J P Mumby, A J Edwards y D C Clark. 2000. Remote sensing handbook for tropical coastal management. UNESCO, London, England. 320 p.
- Hatcher B G. 1997. Coral reef ecosystems: how much greater is the whole than the sum of the parts. *Coral Reefs* 16: 77-91.
- Jones J, K Withers y J W Jr Tunnell. 2008. Comparison of benthic communities on six coral reefs in the Veracruz Reef System (Mexico). *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium, Ft. Lauderdale, Florida, 7-11 Julio 2008*. N.p.
- Kabiri K, H Rezai y M Moradi. 2014. Coral reefs mapping using parasailing aerial photography-feasibility study: Kish Island, Persian Gulf. *Journal of Coastal Conservation*. DOI. 10.1007/s11852-014-0345-9. N.p.
- Krutak P R. 1997. Petrography and provenance of siliclastic sediments, Veracruz-Antón Lizardo Reefs, México. In: *Paleoceanography and paleoclimatology in the northwest Pacific region*. San-Joon, J. y Y. hi-ll. (eds.). Special Issue 3, *Ocean Resources*, 19, 231-243.
- Lara M, C Padilla, C García y J J Espejel. 1992. Coral reef of Veracruz Mexico I. Zonation and community. *Proceedings of the 7th International Coral Reef Symposium.. University of Guam Press, UOG Station, Guam, June 22-27, 1992*. Pp. 535-544.
- Lewis J B. 2002. Evidence from aerial photography of structural loss of coral reefs at Barbados, West Indies. *Coral Reefs*. 21: 49-56.
-

PARQUE NACIONAL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO
NÚMERO ESPECIAL VOL.2, No.8. JULIO-DICIEMBRE 2015.

- Moberg F y C Folke. 1999. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*. 29: 215-233.
- Mumby P J, Hedley J D, Chisholm J R M, Clark C D, Ripley H y Jaubert J. 2004. The cover living and dead corals from airborne remote sensing. *Coral Reefs*. 23: 171 – 183.
- Ortíz-Lozano L, A Granados-Barba, V Solís-Weiss y M A García-Salgado. 2005. Environmental evaluation and development problems of the Mexican Coastal Zone. *Ocean and Coastal Management*. 48: 161-176.
- Palandro D, S Andréfouët, F E Muller-Karger, P Dustan, H Chuanmin y P Hallock. 2003. Detection of changes in coral reef communities using Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM+ data. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 29 (2): 201 – 209.
- Phinn S R, C M Roelfsema y P J Mumby. 2012. Multi-scale, object-based image analysis for mapping geomorphic and ecological zones on coral reefs. *International Journal of Remote Sensing*. 33(12): 3768-3797.
- Phinn S R. 1998. A framework for selecting appropriate remotely sensed data dimensions for environmental monitoring and management. *International Journal of Remote Sensing*. 19(17): 3457-3463.
- Ramírez-Chávez E J, A Cruz-García A G Lagunas-Pérez y O E Carreño-Reyes. 2014. Uso de vehículos aéreos no tripulados para la caracterización del paisaje sumergido; Bahía Estacahuite. *Ciencia y Mar*. 49(16): 30-40.
- Saaty T L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York. 237 p.
- Schill S. 2014. Trip Report for Benthic Mapping in Caracol and Fort Liberté Bays, Northern Haiti. Unpublished data. The Nature Conservancy. Florida, USA. 12 p.
- Scopéltis J, S Andréfouët, S Phinn, L Arroyo, M Dalleau, A Cros y P Chabanet. 2010. The next step in shallow coral reef monitoring: combining remote sensing and in situ approaches. *Marine Pollution Bulletin*. 60: 1956-1968.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. 2015, CO AUV-23/10 R2. Uso de sistema aeronave pilotada a distancia. 27 p. http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAC/00%20Aeronautica/CO_AV_23_10_R2.pdf
- Sklaver B A, A Manangan, S Bullard, A Svanberg y T Handzel. 2006. Technical note and cover: rapid imagery through kite aerial photography in a complex humanitarian emergency. *International Journal of Remote Sensing*. 27(21): 4709-4714.
- Souter D W y O Lindén. 2000. The health and future of coral reef systems. *Ocean and Coastal Management*. 43: 657-688.
- Spalding M D, C Ravilious y E P Green. 2001. *World atlas of coral reefs*. 1st ed. Prepared at the UNEP World Conservation Monitoring Centre. University of California Press, Berkeley, USA. 432 pp.
- Terrados J y P Ramírez-García. 2011. Cover and edge length to area ratio of seagrass (*Thalassia testudinum*) meadows in coral reef lagoons (Veracruz Reef System, Southwest Gulf of México). *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems*. Doi: 10.1002/aqc. 1188.
- Tunnell J W. 1992. Natural versus human impacts to southern Gulf of Mexico coral reef resources. *Proceedings of the 7th International Coral Reef Symposium*. University of Guam Press, UOG Station, Guam, June 22-27, 1992. Pp. 535-544.
- Wilkinson C. 2008. Status of coral reefs of the world: 2008. *Global Coral Reef Monitoring Network and Rainforest Research Centre*. Wilkinson, C. (ed). Townsville, Australia. 296 p.