ISSN 0188-7297

Metodología de análisis geoespacial para estudios de hidráulica marítima-costera mediante la aplicación de Vehículos Aéreos No Tripulados y equipos topográficos de última generación

Jonatan Omar González Moreno
Miguel Ángel Backhoff Pohls
José Miguel Montoya Rodríguez
Elsa María Morales Bautista
Juan Carlos Vázquez Paulino

Publicación Técnica No. 527
Sanfandila, Qro., 2018

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Metodología de análisis geoespacial para estudios de hidráulica marítima-costera mediante la aplicación de Vehículos Aéreos No Tripulados y equipos topográficos de última generación

Publicación Técnica No. 527
Sanfandila, Qro., 2018

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Ingeniería de Portuaria y Sistemas Geoespaciales del Instituto Mexicano del Transporte por el M. en C. Jonatan Omar González Moreno. Se contó con la colaboración del M. en Geog. Miguel Ángel Backhoff Pohls y la M. en S.I. Elsa María Morales Bautista, así como el Lic. Juan Carlos Vázquez Paulino y el Dr. José Miguel Montoya Rodríguez quien supervisó y revisó el trabajo. Se agradecen los comentarios hechos a la redacción del documento por el Dr. Guillermo Torres Vargas, Jefe de la División de Estudios Económicos y Sociales del Transporte.

Este trabajo es el producto final del proyecto de investigación interna *VI-02/16 Metodología de análisis geoespacial para estudios de hidráulica marítima-costera mediante la aplicación de Vehículos Aéreos No Tripulados y equipos topográficos de última generación*.

El estudio pretende aportar una visión más amplia acerca de la aplicaciones y beneficios que resultan de emplear tecnologías de punta, en este sentido, VANTS, GPS de alta precisión, imágenes de satélite de alta resolución, software gestor de información geoespacial, en estudios de ingeniería hidráulica y puertos.

Contenido

Índice de tablas iii

Índice de figuras v

Sinopsis ix

Abstract xi

Resumen ejecutivo xiii

1 Introducción 1

2 Marco conceptual de referencia 7

3 Metodología empleada 15

4 Procesamiento de la información y resultados 41

5 Conclusiones y recomendaciones 53

Bibliografía 56

Anexo 1. 69

Índice de tablas

Tabla 3.1 Características del Sensor SPOT de los parámetros que recibe la antena ERMEX NG.

Tabla 5.1 Comparativa acerca del uso de VANTS

Índice de figuras

Figura 2.1 Localización del Municipio de Catemaco, Veracruz, México.

Figura 2.2 Ubicación de la Laguna de Sontecomapan, Veracruz, México.

Figura 2.3 Imagen que ilustra la bocana de la Laguna de Sontecomapan.

Figura 2.4 Imagen que ilustra la línea de la playa de la barra de Sontecomapan.

Figura 2.5 VANT de ala fija.

Figura 2.6 VANTS tipo rotor, modelos Phantom 4 e Inspire 2 de la compañía DJI.

Figura 3.1 Imagen que ilustra el programa SPOT a lo largo de su historia.

Figura 3.2 Antena de Estación Recepción México, Nueva Generación.

Figura 3.3 Imagen que ilustra el uso y aplicación de las IS y del servicio WMS del programa SPOT, a través de un SIG para el desarrollo de la investigación.

Figura 3.4 Imagen que ilustra el VANT Inspire2 de la compañía DJI.

Figura 3.5 Imagen que ilustra las apps utilizadas para el manejo y administración del VANT.

Figura 3.6 Orto mosaico de las instalaciones del IMT, derivado del VANT, formado a partir de 1,200 fotos.

Figura 3.7 Imágenes de productos derivados, a partir del procesamiento de los datos obtenidos del VANT.

Figura 3.8 Fotografía aérea que ilustra el área de estudio, Barra de Sontecomapan del Municipio de Catemaco, Veracruz, México.

Figura 3.9 Fotografía que ilustra la escollera lado Oeste, en el área de estudio.

Figura 3.10 Fotografía que ilustra la escollera lado Este, en el área de estudio.

Figura 3.11 Vista terrestre de la barra de Sontecomapan, Veracruz, México

Figura 3.12 Fotografía aérea que ilustra el área de estudio, Barra de Sontecomapan del Municipio de Catemaco, Veracruz, México.

Figura 3.13 Video tomado por el VANT, ilustra la escollera en el área de estudio.

Figura 3.14 Imagen terrestre que ilustra, la pérdida de playa en la zona de estudio, en la segunda visita.

Figura 3.15 Imagen aérea, tomada del VANT que ilustra, la pérdida de playa en la zona de estudio, en la segunda visita.
Figura 3.16 Imagen aérea tomada del VANT, que ilustra la pérdida de playa en la parte “Este” de la zona de estudio, (segunda visita).
Figura 3.17 Imagen aérea tomada del VANT, que ilustra la ganancia de playa en la parte “Oeste” de la zona de estudio, (segunda visita).
Figura 3.18 Imagen que ilustra la relación existente, para el establecimiento de un plan de vuelo de un VANT.
Figura 3.19 Imagen que ilustra las apps utilizadas, para el establecimiento del plan de vuelo del VANT.
Figura 3.20 Imagen que ilustra el tipo de vuelo, del aplicativo Pix4D, para el levantamiento de datos del VANT.
Figura 3.21 Imagen que ilustra los parámetros del vuelo, del aplicativo Pix4D, para el levantamiento de datos del VANT.
Figura 3.22 Imagen que ilustra el número de misiones guardadas, en el plan de vuelo establecido, en el aplicativo Pix4D, para el levantamiento de datos del VANT.
Figura 3.23 Imagen que ilustra el número de misiones guardadas, en el plan de vuelo establecido, en el aplicativo Pix4D, para el levantamiento de datos del VANT.
Figura 3.24 Imagen que ilustra la estación de trabajo RTK, y su trabajo de campo.
Figura 3.25 Imagen que ilustra, el funcionamiento del sistema RTK y su aplicación en el trabajo de campo.
Figura 3.26 Fotografía que ilustra, la Placa de identificación INEGI, BN-161 que se utilizó como base para levantamiento topográfico en el trabajo de campo, con el sistema RTK.
Figura 3.27 Imagen que ilustra, la ficha técnica de la placa BN 161, de la RGNA del INEGI.
Figura 4.1 Imagen de satélite del sensor SPOT 6 en Pancromático, tomada en marzo del 2016, de la barra Sontecomapan, con la línea de costa de marzo de 2014.

Figura 4.2 Imagen de satélite del sensor SPOT 6 en Pancromático, tomada en marzo del 2016, de la barra Sontecomapan, con la línea de costa de marzo de 2014 y marzo de 2015.

Figura 4.3 Imagen de satélite del sensor SPOT 6 en Pancromático, tomada en marzo del 2016, de la barra Sontecomapan, con la línea de costa de marzo de 2016.

Figura 4.4 Imagen de satélite del sensor SPOT 6 en Pancromático, tomada en marzo del 2016, de la barra Sontecomapan, con la línea de costa de marzo de 2014, 2015 y 2016.

Figura 4.5 Imagen de satélite del sensor SPOT 6 en Pancromático, tomada en marzo del 2016, de la barra Sontecomapan, con líneas de costa de diferentes años.

Figura 4.6 Imagen de satélite de la compañía Digital Globe, de la barra Sontecomapan, con la línea de costa en diferentes años.

Figura 4.7 Mosaico de la barra de Sontecompan, formado por 2,094 fotos aéreas, tomadas en marzo del 2017.

Figura 4.8: MDE de la barra de Sontecompan, formado por 2,094 fotos aéreas, tomadas en marzo del 2017.

Figura 4.9 Orto mosaico de la barra de Sontecompan, formado por 2,354 fotos aéreas, tomadas en Julio del 2017.

Figura 4.10 MDE de la barra de Sontecompan, formado por 2,354 fotos aéreas, tomadas en Julio del 2017.

Figura 4.11 Imagen que ilustra la comparativa entre dos Orto mosaicos, elaborados en 2 distintos períodos de tiempo (marzo y julio del 2017), de la misma zona de estudio.

Figura 4.12 Imagen que ilustra la dinámica del sitio sobre un Orto mosaico, comparando 2 distintos períodos de tiempo (marzo y julio del 2017), de la misma zona de estudio.

Figura 4.13 Imagen que ilustra la dinámica del sitio sobre un MDE, comparando 2 distintos períodos de tiempo (marzo y julio del 2017), de la misma zona de estudio.

Sinopsis

La presente investigación pretende ser parte de las nuevas líneas de estudio e insumos básicos desarrollados al interior de la Coordinación de Ingeniería Portuaria y Sistemas Geoespaciales.

La premisa del estudio, es impulsar y promover la aplicación de tecnologías de frontera que conduzcan a la formulación de nuevas técnicas y metodologías, que ayuden, contribuyan al conocimiento y perfeccionamiento de los métodos empleados actualmente, además de reducir riesgos, costos y personal en las actividades de campo para la obtención de datos.

Este estudio, puede ser empleado como herramienta de consulta para agentes relacionados con el quehacer cotidiano de este tipo de tecnologías y/o personal interesado en la incursión a esta nueva línea de investigación (Drones), representa una guía de consulta de temas como el análisis espacial, gestión del territorio, imágenes de satelitales, vehículos aéreos no tripulados, equipos topográficos de última generación, computo de alto desempeño; como una herramienta más de apoyo para el desarrollo de estudios de dinámica costera. Todo lo anteriormente descrito, a través de la adaptación de la tecnología en los distintos sectores de transporte en el país, con un enfoque global de aplicación que ayude al desarrollo tecnológico siempre en beneficio de la sociedad mexicana.

Palabras clave: Dron, imagen de satélite, nube de puntos, VANT, sensor remoto, resolución espacial, espectral, radiométrica, temporal.

Abstract

This investigation is part of the new lines of research and basic inputs developed in the interior of the Port Engineering Coordination and Geospatial Systems Unit.

The premise of this research satisfies the need to develop and promote the application of border technologies, [application of UAV´s and topographic equipment of last generation to coastal marine studies]. It leads to the formulation of new techniques and methodologies, which perform better than current methods by reducing time, risks, costs and personnel in field activities to collect data.

The methodology that we propose can be used as a reference for professionals using drone technology. It provides guidance in spatial analysis, territory management, satellite imagery, unmanned aerial vehicles, state-of-the-art topographic equipment and high performance computing. As well, it provides a framework for the development of studies in coastal dynamics. Everything described above, through the adaptation of technology in the different transport sectors in the country, with a global approach of application that can help technological development always for the benefit of Mexican society.

Keywords: Drone, satellite image, point cloud, UAV, remote sensing, spatial, spectral, radiometric and temporal resolution.

Resumen ejecutivo

El propósito de este trabajo consiste en emplear Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT's) comúnmente conocidos como Drones, para estudios de ingeniería de costas, y generar, mediante fotogrametría, información de la superficie terrestre a partir de las imágenes aéreas. Dicho método se apoya con puntos de control terrestre (PCT) medidos en campo con equipos GPS de alta precisión, con sistema RTK (Real Time Kinematic). El empleo de esta tecnología ayuda a reducir en tiempo, riesgo y costo la obtención de información de campo.

El desarrollo en estudios de tecnología de frontera, aplicados al ámbito geo-espacial, geomático e imágenes satelitales, así como su aplicación a estudios de infraestructura portuaria y dinámica de costas, forman parte de las líneas de investigación de la Coordinación de Ingeniería Portuaria y Sistemas Geoespaciales (CIPySG) del Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

Con base en lo anterior, se realizó el estudio multitemporal (2014-2016), con imágenes de satélite del sensor francés SPOT 6 y 7 en la barra de Sontecomapan, Veracruz, para analizar morfológicamente la línea de playa, a partir de la construcción de una escollera (inconclusa actualmente), lo cual permitió observar su comportamiento (avance – retroceso) a través del tiempo, para mayor detalle, se empleó un VANT en 2 períodos de tiempo, marzo y julio del 2017.

La realización de este estudio, enmarcada dentro de las líneas de investigación ya citadas, tiene la intención de contribuir a ampliar el desarrollo de estos temas, reduciendo el tiempo para la realización de los estudios y poder aumentar el número de los mismos, al interior del Instituto Mexicano del Transporte.

1 Introducción

La constante y continua necesidad de reconocimiento, monitoreo, filmación, vigilancia y análisis espacial de las costas, a lo largo de los más de 11 mil km de litoral con que cuenta México, para la determinación de la línea de playa, como principal insumo para estudios de Dinámica Costera, es fundamental para el quehacer de la Coordinación de Puertos y Costas del Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

Los métodos basados en Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT's), suelen ser preferidos a los métodos tradicionales para este tipo de misiones que son: demasiado "riesgosas, tardías o peligrosas. Reduce en tiempo y costos la obtención de información, la cual sirve de apoyo al empleo de las imágenes de satélite (IS).

El uso de los VANT's ayuda a:

- Reducir riesgos, tiempos, costos y personal, para la obtención de información respecto a los métodos tradicionalmente empleados.
- Evitar la contratación de servicios externos para la obtención de información geoespacial.
- Mayor cobertura superficial en menor tiempo.
- Contar con información constante de acuerdo a los requerimientos del estudio.
- Reducir el costo del empleo de imágenes satelitales de alta resolución espacial.

La aplicación de esta tecnología, abarca aquellas áreas cuya información requerida no es posible resolver vía IS (resolución espacial y temporal), como pudieran ser el instante de la necesidad de la información, escala, condiciones atmosféricas y lugares de difícil acceso que obstaculizan la obtención de datos.

La zona denominada Barra de Sontecomapan, ubicada a 20 km. de la cabecera municipal de Catemaco, Veracruz, en el litoral del Golfo de México, durante los últimos años ha presentado acreción y regresión en su línea de costa, generando riesgos a las edificaciones asentadas en la misma, y el azolvamiento de la bocana afectando la operación de las embarcaciones de pesca rivereña y actividades

turísticas. Las edificaciones en cuestión son casas o unidades de negocio restaurantes operados por lugareños, que para evitar daños a su patrimonio, han construido protecciones marginales tipo muro o revestimiento para proteger del oleaje y mitigar o disminuir la pérdida de terreno, que en temporadas de Nortes[1] se incrementan. Sin embargo, la regresión de la línea de costa en la barra ha sido tal, que ha provocado daños importantes a dichas protecciones, poniendo en riesgo la integridad y el soporte económico de las familias.

El Gobierno del Estado de Veracruz, con base en el plan maestro se dispuso a realizar un estudio y el proyecto ejecutivo de las obras necesarias que permitieran rehabilitar la barra, para abrir la desembocadura de la laguna de Sontecomapan, estos trabajos de construcción iniciaron en el año 2015. Sin embargo, la construcción está suspendida, la escollera2 (inconclusa) cuenta con una longitud de 200 m, que podría estar produciendo un efecto significativo en la incidencia del oleaje y la hidrodinámica del sistema.

Por lo anterior, se requiere determinar el comportamiento de la línea de playa a través del tiempo, la cual será comparada con un levantamiento topo batimétrico actual, por lo que, el contar cuando menos con 3 posiciones de línea de costa (2014, 2015 y 2016) permitirá realizar un análisis espacio temporal de este parámetro, estableciendo así la dinámica del sitio.

El contar con dispositivos de captura de información en formato digital y de alta resolución espacial, que permitan fortalecer y ampliar la investigación que se realiza al interior del IMT, incrementando con ello, la cantidad y calidad de sus estudios, hacen que el uso y aplicación de VANT´s que apoyen el empleo de las imágenes de satélite, para poder determinar con éxito la dinámica costera en cualquier momento, es sin duda alguna un gran reto.

[1] METEOROLOGÍA Viento que sopla de este punto cardinal. Septentrión

[2] Conjunto de bloques de cemento que se depositan en el fondo del mar para proteger un dique o espigón de la acción del oleaje o como fundamento para la construcción de un muelle.

1.2. Objetivos y preguntas de investigación

1.2.1. Objetivo General

Evaluar y demostrar el potencial de aplicación de Vehículos Aéreos No Tripulados para estudios de dinámica costera en la barra de Sontecomapan, municipio de Catemaco, en el estado de Veracruz, México.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar y analizar el uso y aplicación de Vehículos Aéreos No Tripulados, como herramienta de apoyo al empleo de las imágenes de satélite para la obtención de información de campo, que mejore y beneficie a los métodos tradicionales, en estudios de Dinámica Costera.

- Comparar y determinar el comportamiento de la línea de playa en la zona de estudio a través del tiempo (periodo 2014 - 2017).

- Demostrar que, contar con levantamientos sistemáticos (mayor frecuencia y rapidez) de la línea de costa, ayuda a fortalecer y ampliar la investigación que se realiza al interior de la Coordinación de Puertos y Costas del IMT, incrementando con ello la cantidad y calidad de sus estudios.

1.2.3. Preguntas de Investigación

1. ¿Por qué son útiles los drones para los estudios de dinámica costera?
2. La información de campo adquirida a partir del empleo de un VANT, ¿Es útil?
3. ¿Cuál es el principal aporte de la aplicación de tecnología VANT en los estudios de hidráulica marítima?
4. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas en el empleo de drones vs imágenes de satélite y/o vuelos aéreos para los estudios de hidráulica marítima?

5. ¿Habrá tiempo para el desarrollo y aplicación de esta tecnología para este estudio?
6. ¿Cómo beneficia el empleo de los VANT´s a los estudios de dinámica costera?
7. ¿Por qué las autoridades del IMT, están interesados en su aplicación?
8. ¿Por qué existe tanto desarrollo y aplicación en el mundo actual de esta tecnología?

1.2.4. Hipótesis

"En la barra de Sontecomapan, en el estado de Veracruz, México, el uso de los Vehículos Aéreos No Tripulados ayudan al reconocimiento, monitoreo y análisis del comportamiento de la línea de playa, reduciendo en tiempo, costos, riesgos y dificultades en el trabajo, con respecto a los métodos tradicionalmente empleados."

1.3. Justificación

La Coordinación de Ingeniería Portuaria y Sistemas Geoespaciales del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), órgano desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, Gobierno Federal), ha desarrollado aplicaciones geo-tecnológicas para solucionar problemas de Infraestructura donde esté inmerso el factor transporte, y como consecuencia de su continua evolución está el incluir en sus líneas de trabajo las últimas tendencias en cuanto a tecnología se refiere. Es por ello, que se incursiona en el área de los Vehículos Aéreos No Tripulados con tecnología GPS (RTK), y por la naturaleza de sus estudios, se determinó la necesidad de emplear este tipo de tecnología como insumo básico para ser aplicado en un futuro cercano al sector transporte, en específico, al área marítimo portuaria.

Además, este estudio es consecuente con el desarrollo de la línea de investigación en percepción remota, desarrollada al interior de la Unidad de Sistemas de Información GeoEspacial (USIG) del IMT, como un método de observación a distancia de un sistema físico que ha cobrado gran importancia, principalmente, con el avance de la tecnología espacial, con métodos más eficientes de análisis de imágenes, el diseño y la construcción de arquitecturas computacionales especiales y la fabricación de sensores remotos de alta eficiencia. En la actualidad, la percepción remota ha sido llevada al campo de los VANT´s (anteriormente desarrollada para aviones tripulados y/o satélites en el espacio) y ha permitido al hombre ampliar su capacidad visual y tener elementos propios de análisis

enmarcados en el método científico, que le permiten resolver diversos problemas en la investigación experimental.

El valor de la información aérea se hace cada vez más evidente y necesaria. Ofrece una visión global de objetos y detalles de la superficie terrestre, facilitando la comprensión de las relaciones que entre ellos pudiesen no ser claros cuando se observan sobre esta superficie. El carácter "remoto" de la teledetección aumenta también este valor, ya que proporciona una visión más amplia del “espacio” sin tener que estar en contacto físico con el objeto de estudio.

La teledetección (técnicas utilizadas por la percepción remota), a través de drones podría demostrar ser una fuente rentable de valiosa información para numerosas aplicaciones, entre las que cabe citar la planeación urbana y desarrollo regional, vigilancia del medio ambiente, gestión de cultivos, prospección marítima, exploración minera, estudio de líneas de costas, localización de sensores de ingeniería marina y boyas, entre otras.

Resulta incuestionable la importancia de realizar investigaciones sobre el potencial de las tecnologías de frontera en el campo de la información geoespacial, que permitan aportar soluciones innovadoras a problemas específicos del sector marítimo portuario y de esta manera, crear elementos de conocimiento que orienten una mejor toma de decisiones, y que, además, ayuden a incrementar la calidad y cantidad de estudios de investigación, desarrollados al interior del IMT.

A petición de la Comisión Nacional de Pesca y Acuacultura (CONAPESCA), se solicitó al IMT una visita de reconocimiento por parte de su personal, a la barra de Sontecomapan, observándose que por su orientación y formación natural puede presentar una alteración importante en el transporte de sedimentos, dicho transporte origina cambios en la línea de playa de la barra, lo que podría provocar que la boca se azolve.

1.4. Alcance

Se espera que esta investigación aporte una visión más amplia acerca de las aplicaciones y beneficios que resultan de emplear tecnologías de punta, en este sentido, VANT’s, GPS de alta precisión, imágenes de satélite de alta resolución, software gestor de información geoespacial, en estudios de ingeniería hidráulica y puertos.

En la barra de Sontecomapan, municipio de Catemaco, en el estado de Veracruz, México. La superficie a delimitar, es equivalente a 50 m de la cota cero a tierra, el control terrestre será a través de vértices con elevación de primer orden y ligada a la estación de la Red Geodésica Activa del INEGI; la liga de la estación base se efectuará mediante receptor de doble banda, con tiempos de recepción de 2 horas

o más, de acuerdo a la normatividad vigente para un levantamiento de alta precisión. Así mismo, se recomienda todo el proceso de fotogrametría, tales como: Aero triangulación, Restitución Fotogramétrica, Mosaicos Orto-rectificados y Modelos Digitales de Elevación.

Se apoyará con imágenes de satélite del sensor francés SPOT 6 y 7, para los años 2014 al 2016 en pancromático y multiespectral. Además, se obtendrán imágenes de alta resolución espacial y temporal derivadas del empleo del VANT, modelo Inspire 2 de la compañía internacional, "DJI".

Esta investigación será de sumo interés y podrá ser consultada por profesionistas, estudiantes y personas relacionadas en el ámbito de las geo tecnologías, ingeniería hidráulica, dinámica costera, mecatrónica, teledetección entre muchas otras más, a través de la consulta y difusión de resultados obtenidos y publicados mediante un trabajo impreso o presentación en foros, conferencias, congresos, seminarios, simposios, asociaciones público privadas, comités de usuarios y expertos de este tipo de estudios.

Además, los resultados de este estudio podrán aportar información complementaria para el diseño de políticas de transporte, que contribuirán al cumplimiento del objetivo 2 del Programa Sectorial "Contar con servicios logísticos de transporte oportunos, eficientes y seguros que incrementen la competitividad y la productividad de las actividades económicas", el cual se alinea con el objetivo 4.9 "Contar con una infraestructura de transporte que se refleje en menores costos para realizar la actividad económica" del PND[3].

[3] Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes.

2 Marco conceptual de referencia

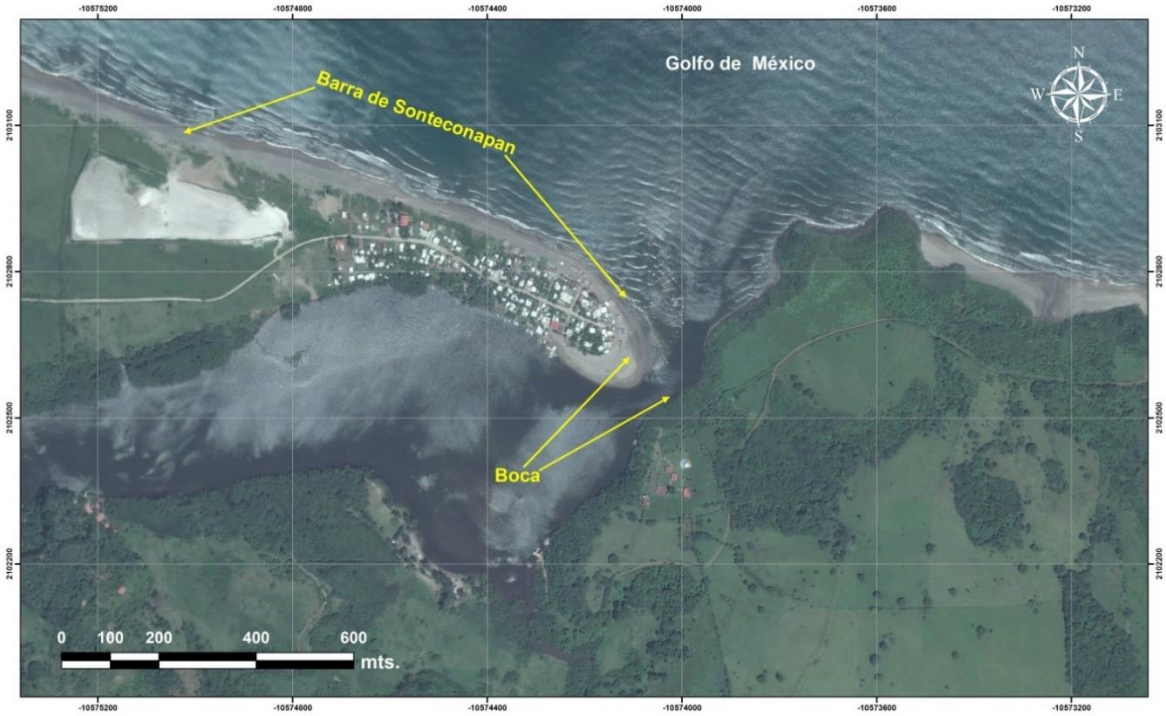
La Laguna de Sontecomapan se localiza a 20 km de la cabecera municipal Catemaco, Veracruz, dicha laguna desemboca en el Golfo de México, y está confinada por las cuestas del volcán San Martín Tuxtla y la Sierra de Santa Martha (ver fig. 2.1). La laguna de aproximadamente 900 Ha y con una profundidad variable de 0.70 m hasta 2.5 m, tiene conexión con el Golfo de México, a través de una boca natural, la cual, al Este presenta una formación rocosa, y al Oeste una barra de arena, de aproximadamente 900 m de longitud, (ver fig. 2.2 y 2.3).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.1. Localización del Municipio de Catemaco, Veracruz, México.

Fuente: Google Earth.

Figura 2.2. Ubicación de la Laguna de Sontecomapan, Veracruz, México.



Fuente: Elaboración propia, a partir de la imagen cortesía de Digital Globe.

Figura 2.3. Imagen que ilustra la bocana de la Laguna de Sontecomapan.

2.1 Definición de línea de Costa y línea de Playa

La línea de costa constituye un elemento fundamental en los procesos de análisis, gestión y planificación de la zona costera, si bien su levantamiento a escala de detalle y su posterior utilización requiere de una precisa delimitación geométrica y del establecimiento de criterios rigurosos para su definición. Estos últimos, deben ser seleccionados con una clara intencionalidad aplicada de acuerdo a su uso en particular. En este sentido, el uso de los Sistemas de Información Geográfica, las bases de datos espaciales y un adecuado modelo de datos, resultan elementos clave para el levantamiento de líneas de costa, así como, para los análisis posteriores realizados sobre ellas. (Ojeda y Díaz, et al., 2013.)

Numerosos artículos e investigaciones, difieren un poco respecto a su definición, aunque de manera amplia coinciden en que *"es el área de contacto entre la superficie emergida y la oceánica*" (Doland et al., 1980) se ha concluido, que su delimitación supone un gran reto, debido a la naturaleza de su dinámica, además depende de diversos criterios para su delineación, definidos con base en el objetivo perseguido, la resolución espacial y temporal, la fuente de información utilizada, así como el criterio de digitalización empleados.(ver fig. 2.4)

Según la enciclopedia web, Wikipedia[4], define a la ***línea de costa*** como: *"La línea en la superficie de la Tierra que define el límite entre el mar y la tierra firme.*

Según el artículo 594 del Código Civil de Chile[5] se define a la línea de playa como: *"Aquella que señala el deslinde superior de la playa hasta donde llegan las olas en las más altas mareas y que, por lo tanto, sobrepasa tierra adentro a la línea de la pleamar máxima".*

[4] https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADnea_de_costa

[5] https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=159593&r=1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.4. Imagen que ilustra la línea de la playa de la barra de Sontecomapan.

En el artículo ***"La determinación de las líneas de la Playa y de más Baja Marea"*** de Nancy Escalera, (2014)[6]. Se menciona todo un tratado, para medir y determinar la línea de playa, la cual a grandes rasgos menciona: "*medir en la playa, el deslinde superior hasta donde llegan las olas en la pleamar con mayor altura del día, teniendo cuidado de efectuar esta acción en el intervalo de tiempo comprendido entre 30 minutos antes de la pleamar y 30 minutos posteriores a la pleamar".*

En un estudio publicado por la revista española, I Descubre[7], se menciona ***la Integración de un sistema de sensores en un dron para agilizar el análisis de las zonas vulnerables de las costas***. Dicha investigación, se realiza como un programa piloto, desarrollado por el Departamento de Gestión Integrada del Territorio y Tecnologías de la Información Espacial liderado por Fernando José Aguilar, de la Universidad de Almería, en colaboración con la consultora Automática, Robótica y Mecatrónica.

De la misma forma, existe la aplicación de un nuevo programa de drones que vigilará el estado del litoral valenciano, para ganar precisión en los estudios

[6] https://prezi.com/ck3o3ydibbs-/la-determinacion-de-las-lineas-de-la-playa-y-de-mas-baja-ma/

[7] https://idescubre.fundaciondescubre.es/2016/09/16/integramos-un-sistema-de-sensores-en-un-dron-para-agilizar-el-analisis-de-las-zonas-vulnerables-de-las-costas/

topográficos, controlar la cantidad de arena en las playas y mejorar el medio ambiente, según se informa en el artículo del informativo digital La Vanguardia[8].

Hoy día, cualquier estudio centrado en la zona costera independientemente de cual sea su objetivo, requiere de la existencia de una minuciosa información a detalle. Esta reflexión, a pesar de ser incorporada en numerosos documentos de planificación, se ve confrontada por la ausencia a veces inexplicable de información sobre litoral y medio marino a escalas de detalle (Díaz et al., 2012). En este sentido, la línea de costa constituye un elemento indispensable para la planificación ambiental y territorial de la zona de estudio, así como para una gestión integrada de éstas, ya que permite constituir indicadores de estado y seguimiento ambiental y, como tal, es frecuente encontrarla actualmente, en los resultados de proyectos y estudios que incluyen del cálculo de indicadores sobre ella (EUROSION, Greenpeace, 2010, Estrategia de sostenibilidad de la costa, etc.).

Por lo anterior, el desafio consistirá en desarrrollar una metodología suficientemente robusta y replicable, que permita de manera sencilla y eficiente la obtención de este límite según los criterios establecidos y analizar su comportamiento y dinámica a través del periodo del tiempo 2014-2016. En este sentido, la aplicación de geotecnologías de punta es esencial, y facilitará posteriormente la gestión de la información georreferenciada, a través de la implementeación de un SIG.

2.2. Definición de VANT

Un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT o UAV por sus siglas en inglés[9]) es una aeronave que vuela sin tripulación. Esta es una categoría amplia que podría incluir cualquier cosa, desde un avión a control remoto de juguete hasta un avión comercial o de carga sin piloto. Aunque hay VANT´s de uso civil, también son usados en aplicaciones militares (origen de su creación), donde son denominados vehículo aéreo de combate no tripulado —UCAV por sus siglas en inglés—. Para distinguir los VANT de los misiles, un VANT se define como un *"vehículo sin tripulación reutilizable, capaz de mantener un nivel de vuelo controlado y sostenido, y propulsado por un motor de explosión o de reacción"*[10]. Por lo tanto, los misiles de crucero no son considerados VANT´s porque, como la mayoría de los misiles, el

[8] http://www.lavanguardia.com/local/valencia/20160608/402368656544/un-nuevo-programa-de-drones-vigilara-el-estado-del-litoral-valenciano.htm

[9] (Unmanned Aircraft Vehicle) o Drone https://www.youtube.com/watch?v=i82wD4wIgho

[10] Consejería de Economía y Hacienda, Comunidad de Madrid y Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015). *Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil.* Revista [En Línea].

propio vehículo es un arma que no se puede reutilizar, a pesar de que también es no tripulado y en algunos casos guiado remotamente.

El nombre de Dron, término acuñado en Estados Unidos de Norteamerica, hace alusión al zumbido de los zanganos (Drone en inglés), pero asimilado al español y actualmente aceptado por la Real Academia de Española (RAE). Hay una amplia variedad de formas, tamaños, configuraciones y características en el diseño de los VANT´s, en forma de avión o helicóptero. Históricamente los VANT´s eran simplemente aviones pilotados remotamente (en español: dron[11]) pero cada vez más se está empleando el control autónomo de los VANT´s. En este sentido, Sánchez (2013)[12] menciona que se han creado dos variantes: algunos son controlados desde una ubicación remota, y otros vuelan de forma autónoma sobre la base de planes de vuelo pre-programados usando sistemas computacionales complejos de automatización dinámica. Cabe destacar que las aeronaves controladas remotamente en realidad no califican para ser llamadas como VANT´s, ya que, los vehículos aéreos pilotados remotamente (o por control remoto) se conocen como Aeronaves Radiocontroladas o Aeronaves R/C; esto debido a que, precisamente, los VANT´s son también sistemas autónomos que pueden operar sin intervención humana alguna durante su funcionamiento en la misión a la que se haya encomendado, es decir, pueden despegar, volar y aterrizar automáticamente.

Actualmente, los VANT´s realizan misiones tanto de reconocimiento como de filmación del territorio desde la altura y son guiados mediante un programa instalado sobre una tableta o un teléfono inteligente. Durante mucho tiempo, se ha estudiado el territorio desde las alturas. Como avance de la humanidad está el reconocer las relaciones que ocurren en el territorio, desde un globo aerostático hasta un satélite, son y han sido un recurso fundamental para el quehacer cotidiano de los encargados del estudio del espacio, *"Entendiendo al espacio como construcción social"*.

Como demuestra Ramos H., Montes J.C. (2015)[13], diversos investigadores han abordado el tema del análisis de la superficie terrestre a través de VANT's. Como el libro electrónico llamado: "*Los drones aplicados a la Ingeniería Civil*", el cual a grandes rasgos, nos da una visión de manera somera, sobre las aplicaciones hechas hasta el momento en cualquier ambito de la ingeniería civil, si bien no es un documento sólidamente técnico o de investigación, se rescata la gran cantidad de aplicaciones en todo el mundo, mencionadas por parte de la Consejería de Economía y Hacienda de la Comunidad de Madrid en España. Este documento

[11] Vehículo capaz de volar y de ser comandado a distancia, sin que se requiera de la participación de un piloto. http://definicion.mx/figura-retorica/

[12] http://www.infodefensa.com/wp-content/uploads/Vehiculos_aereos_no_tripulados_en_Latam.pdf

[13] http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015384.pdf

digital, tiene en el apartado 7 una aplicación de drones específicamente en el ámbito de la Ingeniería Hidráulica

Por otro lado, se encuentra el estudio de Sani (2015)[14] de la Universidad de las Fuerzas Armadas del Ecuador, que habla de los Vehículos Aéreos No Tripulados – *UAV para la elaboración de cartografía a grandes escalas*, en la cual se realiza la aplicación de un VANT de Ala Fija, en el campus de dicha Universidad, como estudio para la generación de ortomosaicos que sirvan para la elaboración de cartografía.

Un último trabajo que sirve destacar, es el de Pardo y Ruíz (2008)[15] del Departamento de Investigación en Cartografía Geoambiental y Teledetección, y del Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, de la Universidad de Valencia, en donde a lo largo del tiempo, han realizado estudios relacionados a los cambios de la línea de costa, determinados por teledetección. Si bien, los primeros resultados son plasmados en los años 90´s, la línea de investigación ha continuado a través del tiempo, y podríamos esperar el empleo de sensores de mayor resolución espacial y espectral, así como, un mejor refinamiento en su método.

Conscientes de la gran cantidad de información existente acerca de la tecnología VANT en el mundo actual, es menester mencionar que todos los artículos de investigación consultados hasta ahora, son esfuerzos que van encaminados al desarrollo que faciliten las actividades del hombre de alguna manera, la lista es larga y continuará, en pro del bien común, sobre el análisis, estudio y gestión del territorio.

2.2.1 Tipos de VANTS

Los VANT´s pueden ser controlados por pilotos desde el suelo o cada vez más, de manera autónoma en una misión preprogramada. Como se ha mencionado antes, un VANT puede tener diferentes formas: tipo avión, tipo helicóptero u otras. La clasificación es muy amplia, pero la primera podría ser en función del tipo de alas. Drones de Ala Fija: similar a un avión (figura 2.5).

Otro tipo de clasificación va encaminado a los llamados multirotores, mencionados en párrafos anteriores, los cuales suelen ser cuadricópteros (4 rotores con hélices) (figura 2.6) aunque los hay que tienen 6 (hexacópteros) o incluso 8 hélices. Dos hélices giran en el sentido de las agujas del reloj y las otras dos en el otro sentido, creando así la fuerza de empuje necesario para llevar al dron hacia arriba. Se

[14] https://www.researchgate.net/publication/274385188

[15] http://cgat.webs.upv.es/BigFiles/114-Pardo%20Pascual.pdf

pueden mantener en el mismo sitio sin variar la posición, gracias a sus giroscopios y estabilizadores, lo cual, le facilita sacar fotos y grabar vídeos.

Fuente: *https://www.sensefly.com/drones/ebee.html*

Figura 2.5. VANT de Ala Fija.

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.6. VANTS tipo rotor, modelos Phantom 4 e Inspire 2 de la compañía DJI.

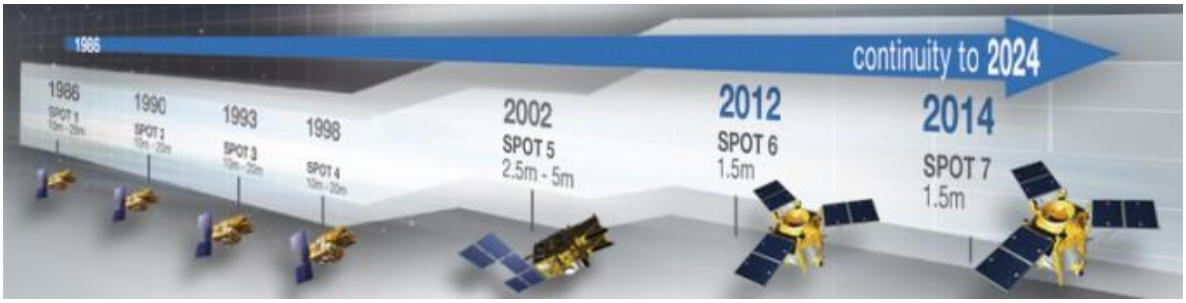
3 Metodología empleada

3.1 Adquisición de Imágenes de Satélite.

El Instituto Mexicano del Transporte, a través de la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial (USIG), cuenta con 2 gestores autorizados para la obtención, gestión y explotación de imágenes de satélite del sensor francés SPOT 6 y 7, para la realización de estudios de investigación.

La constelación de satélites SPOT ofrece una capacidad operacional diaria de adquisición, prácticamente de cualquier punto del globo terráqueo con una resolución de diez metros. El satélite SPOT 5 transmite imágenes con una resolución espacial de 2.5 metros en una franja muy amplia. Además, el instrumento HRS de SPOT 5 permite la adquisición simultánea de pares estereoscópicos para la generación de maquetas digitales en relieve, para aplicaciones de cartografía tridimensional

SPOT 6 y SPOT 7 transmiten imágenes con una resolución espacial de 1.5 metros en pancromático y 6 metros para multiespectral, y forman parte de la nueva constelación de satélites de observación de la Tierra diseñada para garantizar la continuidad de la disponibilidad de los datos de alta resolución y campo amplio hasta 2024 (Ver fig. 3.1). Incorporando innovaciones tecnológicas y operativas con las que cuenta actualmente, la constelación Pleiades (50 cm. de resolución) puestos en órbita el 31 de agosto de 2012.

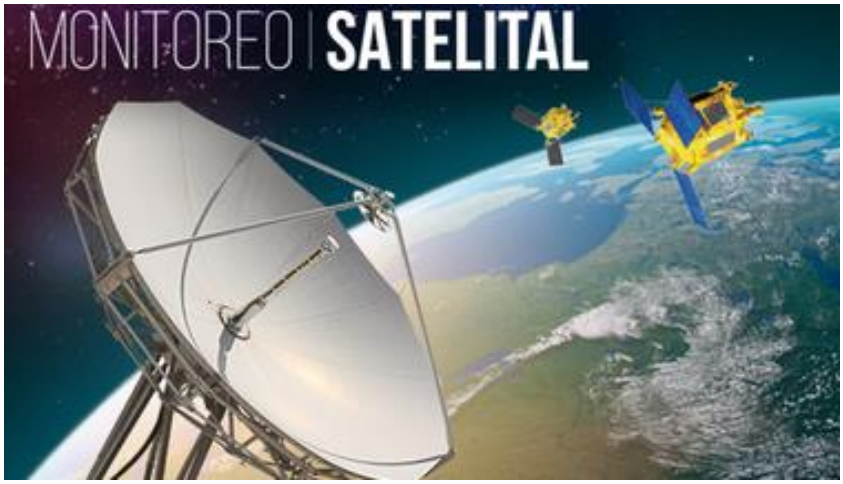


Fuente: Internet, cortesia de EADS.

Figura 3.1 Imagen que ilustra el programa SPOT a lo largo de su historia.

3.1.1 ERMEXS NG (Nueva Generación)

La Estación de Recepción México Nueva Generación (ERMEX NG) es un proyecto conjunto entre el Sistema de Información de Agricultura y Pesca (SIAP)[16] de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)[17], y la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA)[18]; ambas instituciones del Gobierno Federal de México, que tiene entre otras funciones la de gestionar y proveer imágenes satelitales del territorio nacional. La ERMEX NG (ver fig. 3.2) fue inaugurada el 19 de febrero del 2013, y recibe telemetría de la constelación de Satélites Para la Observación de la Tierra (SPOT 6 y 7).



Fuente: www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/ermex-monitoreo-satelital

Figura 3.2 Antena de Estación Recepción México, Nueva Generación.

La ERMEX NG recibe diariamente imágenes de los satélites SPOT 6 y 7, con las siguientes características[19], tabla 3.1:

[16] http://www.gob.mx/siap/

[17] http://www.gob.mx/sagarpa

[18] http://www.gob.mx/sedena

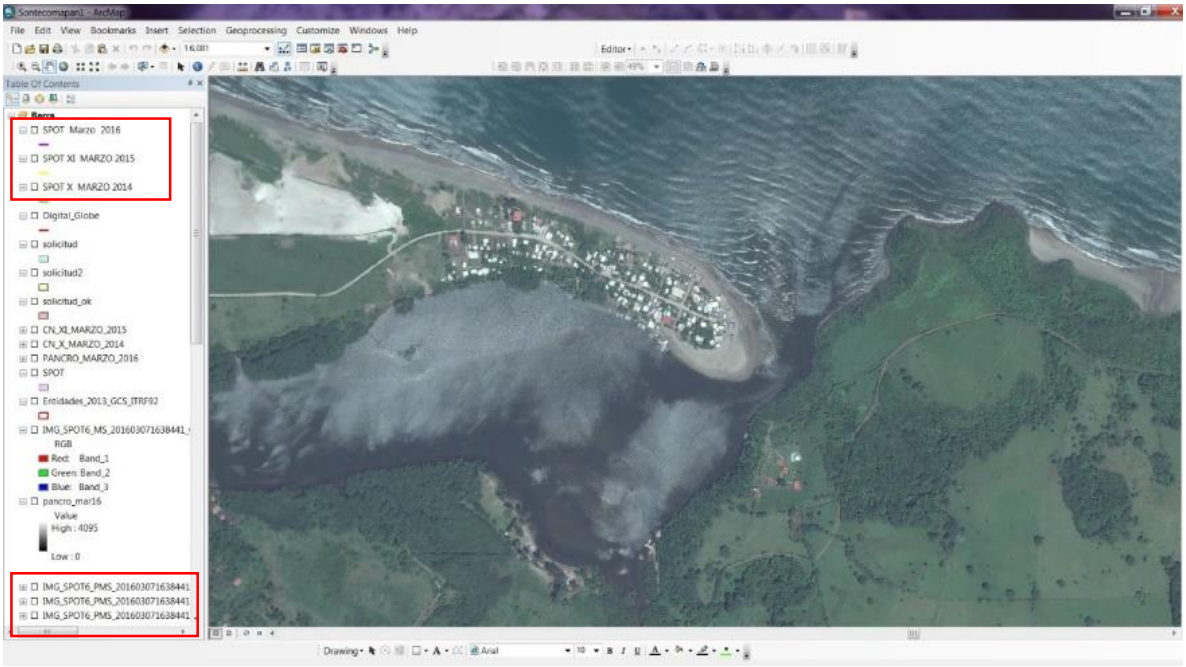
[19] http://cgat.webs.upv.es/BigFiles/114-Pardo%20Pascual.pdf

Tabla 3.1 Características del Sensor SPOT de los parametros que recibe la antena ERMEX NG.

Satélite	Modo	Resolución Espacial	Bandas	Cobertura espacial	Resolución radiométrica
SPOT 5	Pancromático	2.5 m.	1 (visible)	60 x 60 km.	8 bits.
	Multiespectral	10 m.	4 (Verde, Rojo, NIR y MIR)		
	Fusión Color	2.5	3 (compuesto color)		
SPOT 6	Pancromático	1.5 m.	1 (visible)	60 x 60 km.	12 bits.
	Multiespectral	6 m.	4 (Azul, Verde, Rojo y NIR)		
	Fusión Color	1.5 m.	4 (Azul, Verde, Rojo y NIR)		
SPOT 7	Pancromático	1.5 m.	1 (visible)	60 x 60 km.	12 bits.
	Multiespectral	6 m.	4 (Azul, Verde, Rojo y NIR)		
	Fusión Color	1.5 m.	4 (Azul, Verde, Rojo y NIR)		

Para el desarrrollo de esta investigación , se solicitaron imágenes de satélite del área de estudio, las IS comprenden un periodo de Marzo del 2014 a Marzo del 2016, se presentan escenas en pancromático y multiespectral.

Las IS obtenidas, fueron gestionadas y visualidas a través de un SIG, en este caso, ArcGIS vr. 10.2.2; (ver figura 3.3) además fueron ordendas por periodicidad y el tipo de sensor empleado, se digitalizaron sus respectivas líneas de playas para las diferentes epocas del año. En la misma figura 3.3 se puede identificar facilmente el uso y aplicación de un SIG para el desarrollo de la investigación. Además también se emplearon servicios ***web map service*** (WMS) para consultar el área de estudio en diferentes periodos de tiempo. Específicamente para el servicio WMS, se consultaron el IX, X y XI Cubrimiento Nacional que comprenden los periodos del 2013 al 2017.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.3 Imagen que ilustra el uso y aplicación de las IS y del servicio WMS de programa SPOT, a través de un SIG para el desarrollo de la investigación.

3.2. Adquisición de imágenes de VANTS

Derivado de la necesidad de adquirir datos e información aérea en tiempo real de la dinámica costera del área de estudio, así como mantener el monitoreo constante y casi permanente del área derivó en el empleo de los Vehículos Aéreos NO Tripulados (VANTS).

En enero de 2017, la USIG del IMT adquirió, el VANT Inspire 2 (figura 3.4), cuyo lanzamiento mundial fue en noviembre del 2016, de la compañía líder en el mundo en la fabricación de rotores de alto rendimiento DJI[20].

Fuente: Internet http://www.dji.com/es/inspire-2

Figura 3.4 Imagen que ilustra el VANT Inspire2 de DJI.

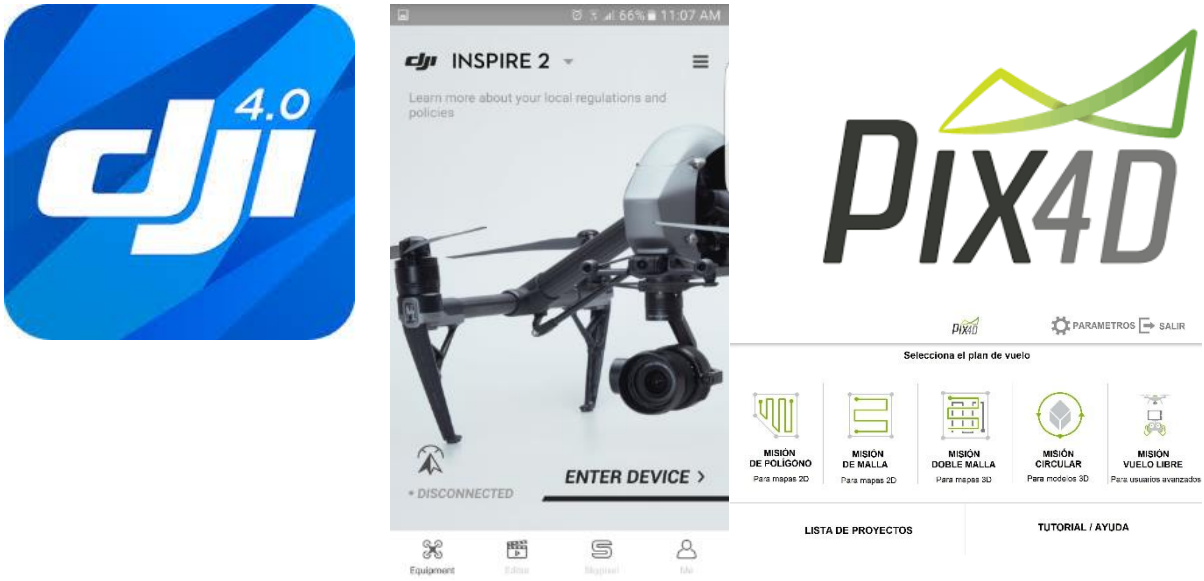
Una vez cargadas eléctricamente y montadas al VANT las baterías, así como tener actualizados los firmware´s, se procedió a la descarga de la aplicación para el manejo, gestión y actualización de la aeronave, dicha app fue:

DJI GO 4[21], (fig. 3.5) la cual debió ser instalada en el teléfono móvil o en una tableta, dicho dispositivo, es colocado al frente del control remoto de la aeronave, y es conectado a través de un cable USB. De la misma manera sucede con la app

[20] http://www.dji.com/es/inspire-2

[21] https://play.google.com/store/apps/details?id=dji.go.v4

Pix4Dcapture[22] (fig. 3.5), la cual ayudará a la gestión, planificación del vuelo, elevación, velocidad, cantidad de disparos, tipo de captura de información, porcentaje de traslape de las fotos, etc.



Fuente: Propias de las app´s

Figura 3.5 Imagen que ilustra las app´s utilizadas para el manejo y administración del VANT.

Un total de 80 hectáreas fueron voladas y procesadas, en las instalaciones del IMT, en Querétaro, como un primer ejercicio de acercamiento al uso y aplicación de tecnología VANT (ver fig. 3.6), rápidamente se pudo apreciar que las imágenes obtenidas a través del VANT, terminaban por completo la difícil misión que no podían ser resueltas del todo a través del empleo unicamente de las IS.

[22] https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pix4d.pix4dmapper

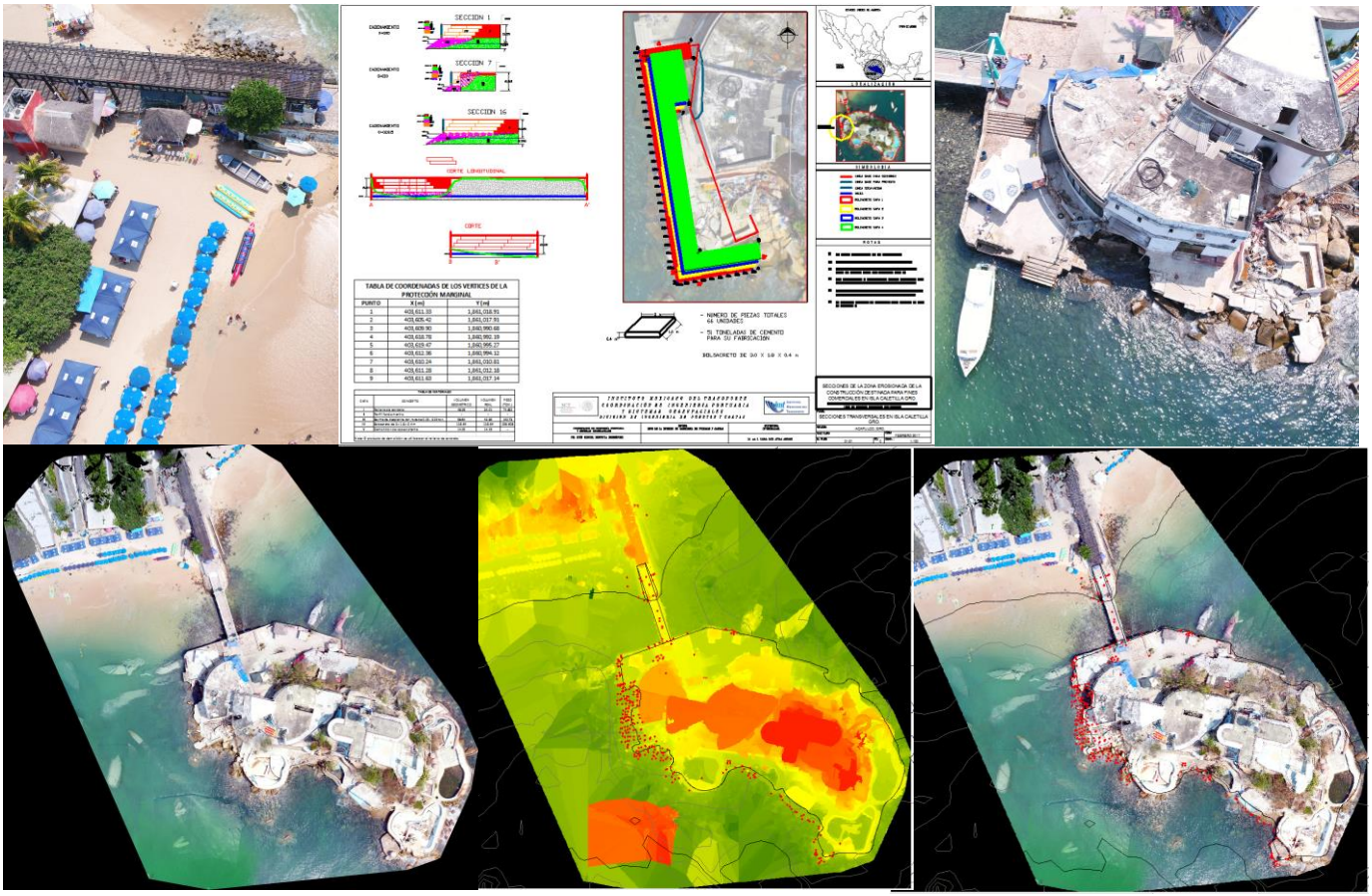
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.6 Ortomosaico de las instalaciones del IMT, derivado del VANT, formado a partir de 1,200 fotos.

3.2.1. Subproductos derivados de las imágenes de VANT's

Con apoyo del software gestor de fotografía aérea Pix4D y el software gestor de información georreferida (SIG) de ArcGIS, se procedió a obtener una larga lista de productos más (ver fig. 3.7), además de la obtención de fotografías aéreas y videofilmaciones. Estos productos son los siguientes:

- Fotografías aéreas por km^2 con 80% de traslape.
- Video filmación con cámara de 21 megapíxeles, con video resolución 5.2 k.
- Orto-mosaico georreferenciado para planimetría.
- Modelo Digital de Elevación con resolución espacial de 5 cm por pixel.
- Curvas de Nivel centimétricas de toda el área de estudio.
- Nube de Puntos.
- Cálculo de áreas y volúmenes.
- Cálculo de pérdida o ganancia en porcentaje o en área de playa.
- Comportamiento de la línea de costa a través del tiempo.
- Genereación de perfiles topográficos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7 Imágenes de productos derivados, a partir del procesamiento de los datos obtenidos del VANT.

3.3. Definición de actividades

Después de un periodo de práctica en el uso y aplicación experimental para el desarrollo de las herramientas necesarias para el manejo y generación de productos de alta calidad, se establecieron rutinas y ejercicios en las instalaciones de trabajo, lo cual derivó en una metodología robusta, crítica y altamente confiable, con las siguientes actividades por cumplir:

1. Realizar vuelo fotogramétrico a una altura menor de 100 metros, en un área menor de 5 km^2 en la zona de estudio (Barra de Sontecomapan, en el municipio de Catemaco, en el estado de Veracruz, en México).

2. Posterior a la captura, se procede al procesamiento de los datos, lo cual implica la aplicación de cómputo avanzado, escritorios remotos y aplicación de tecnología CUDA, para el empleo del software ENVI, ArcGIS, Digital Shoreline Analysis System y Pix4D para generación de nube de puntos (archivos .LAS).

3. Generación de Modelos Digitales de Elevación (DEM), con resolución menor de 1 metro por pixel, de los cuales se podrán derivar modelos de relieve, pendientes, orientación de laderas entre muchos más. Por ejemplo: Generación de curvas de nivel a cada 2 centímetros de la línea de costa, hasta los 5 metros de altura.

4. Integrar y organizar una base de datos geoespacial con la información topográfica, demográfica, batimétrica, corrientes marinas, dirección del viento y demás información geoespacial determinante en la organización territorial de la zona de estudio.

5. Elaboración de un Ortomosaico de la bahía (archivos .tif) geo-referenciado y procesado para su visualización en 3D.

6. Digitalizar de manera manual o automática las imágenes de satélite del sensor SPOT 6 y 7 ó Digital Globe de diferentes años y ver cómo evoluciona la línea de costa a través del tiempo; Esta información se complementará con la posición de la línea de costa obtenida con el dron, por lo que se contará con más de 3 posiciones de línea de costa, que

permitirán realizar un análisis espacio temporal de este parámetro, estableciendo así la dinámica del sitio.

7. Para la caracterización a detalle de la infraestructura y morfología de la zona de estudio, identificación y delimitación de la zona urbana y vías de comunicación de las imágenes de satelite, sera utilizada la banda pancromática. Las bandas multiespectrales servirán para la carcterización del uso de suelo y vegetación, patrones de distribución, así como la identificación y delimitación de cuerpos de agua, entre otros. La escala de trabajo de estas imágenes será de 1:2,500.

8. Realizar una comparativa de tiempos y costos, de la forma propuesta en comparación a los métodos tradicionales empleados. Por ejemplo: "¿Cuánto cuesta mandar una brigada topográfica?, o ¿Cuánto cuesta la contratación de un vuelo aéreo?". Elaborar una tabla comparativa, que muestre los tiempos y costos empleados para la adquisición de la información en campo. Con lo adquirido con el dron y las IS, en relación con los métodos empleados anteriormente.

9. Tomando como base los resultados obtenidos sobre la posición de la línea de costa para los distintos años de observación, se analizarán además los anchos de playa a partir de una "Línea Base" o de referencia, que se especificará en función de la posición de los parámetros de la infraestructura o del arranque de la duna. Los resultados obtenidos, serán comparados, a través del avance-retroceso permitiendo con ello ver el comportamiento de la playa.

10. Evidenciar las debilidades del empleo de las imágenes de satélite, (costos, condiciones atmosféricas, resolución espacial y espectral, fechas de toma, tiempos de adquisición, etc.) las cuales son resueltas a través de la aplicación del VANT.

11. Enumerar cada una de las ventajas adquiridas, así como, aplicación de la información obtenida en beneficio al desarrollo de cada uno de los estudios donde se requiera de esta tecnología. Por ejemplo: Los modelos numéricos, ayudan a determinar el comportamiento geomorfológico futuro del área de estudio.

3.4. Trabajo de campo

En marzo del 2017, se autorizó la primera salida de una brigada (integrada por 2 investigadores) para la realización del trabajo de campo, la cual, consistió en visitar y cartografiar el área de estudio, para identificar y analizar el uso y aplicación de Vehículos Aéreos No Tripulados, como herramienta de apoyo al empleo de las imágenes de satélite para la obtención de información de campo, que viniera a mejorar y beneficiar a los métodos tradicionales, en estudios de dinámica costera, así como poder comparar y determinar el comportamiento de la playa en la zona de estudio a través de 2 diferentes periodos de tiempo (marzo y julio 2017).

Antes de llegar al destino, se identificó el sitio (ver fig. 3.8) en donde se producen, los llamados cubos ranurados[23] (material con que se construye actualmente la escollera); utilizando cemento especial y arena sana para su elaboración, logrando conformar la estructura de protección con elementos de pesos y dimesiones establecidos en laboratorio, lo anterior, para crear un conjunto o arreglo de dichos bloques de cemento, de manera adecuada, que permita y favorezca la mitigación del impacto del agua, así como el acarreo y depósito de sedimentos, según la naturaleza de creación de dicha estructura (escollera). Ver fig. 3.9 y 3.10.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8: Fotografía del sitio donde se construyen los bloques de cemento, para la construcción de la escollera.

[23] En Ingeniería Civil existen diferentes tipos y arquitecturas de bloques de concreto armado, como pudieran ser: CoreLoc, Bary, X-Block, Cubo Ranurado, Tetrápodo (4 salientes), elaborados con cemento especial y arena sana.

http://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-PUE-1-02-003-06.pdf

Los bloques de $1m^3$ con un peso aproximado de una tonelada, conforman la escollera, la cual tiene una longitud aproximada de 120 metros de largo por 10 metros de ancho. La cual según el plan de obra, se encuentra inconclusa.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.9: Fotografía que ilustra la escollera lado Oeste, en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.10: Fotografía que ilustra la escollera lado Este, en el área de estudio.

De manera simple, se puden apreciar las grandes extensiones de playa existentes en la barra, y la tranquilidad que goza la zona de estudio, así como los establecimientos existentes al interior de la línea de playa, según se puede observar en las figuras 3.11 y 3.12.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.11: Vista terrestre de la barra de Sontecomapan, Veracruz, México.

Fuente: Compartida por Juana Cruz Valerio, habitante del sitio.

Figura 3.12: Fotografía aérea que ilustra el área de estudio, Barra de Sontecomapan del Municipio de Catemaco, Veracruz, México.

En la barra, se realizaron diferentes recorridos e inspecciones, a lo largo de la escollera principalmente, se tomaron muestras de sedimientos en diferentes sitios. Se realizaron 4 vuelos con el dron, se levantaron los PCT, además, se realizó un levantamiento del perfil topográfico a lo largo de la playa en el área de estudio.

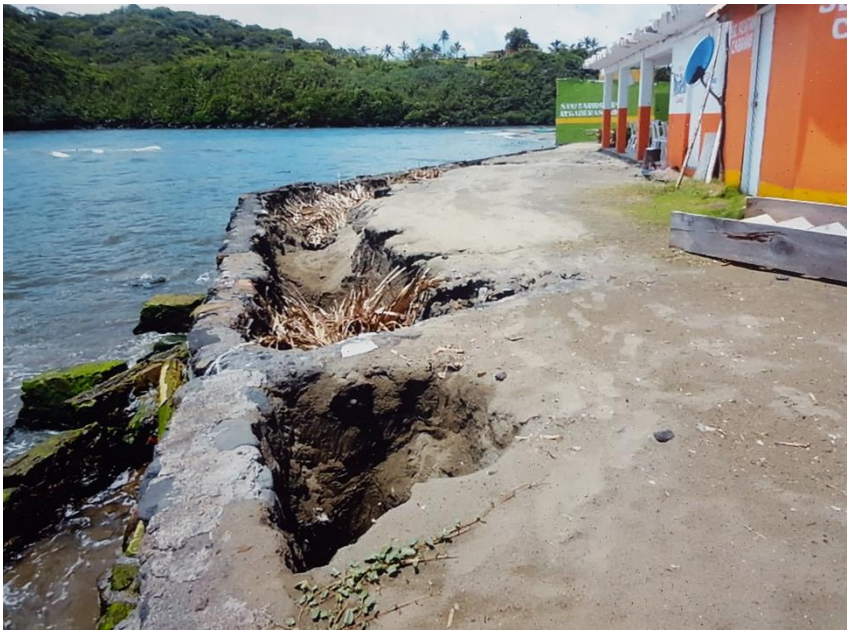
También se tomó un video (fig. 3.13) con 10 minutos de duración para el area de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.13: Video tomado por el VANT, ilustra la escollera en el área de estudio.

Una segunda visita a campo, se realizó en julio de 2017, en esta ocasión, la brigada estuvo integrada por 4 investigadores del IMT. Esta segunda visita, sirvió para poder contrastar la dinámica ocurrida en el sitio, así como, observar los cambios morfológicos ocurridos, que a simple vista pudieron ser identificados en la costa en apenas 4 meses.

Se pudo notar claramente, la desaparición de grandes bancos de arena que se apreciaban en la primera visita (fig. 3.14), la playa en la parte "*Este*" había desaparecido casi en su totalidad, para mitigar este retroceso, la gente del lugar exigió a la compañía constructora de la escollera, el establecimiento de un muro de contensión (Fig. 3.15 y 3.16), para evitar (en lo posible), la pérdida de sus establecimientos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.14: Imagen terrestre que ilustra, la pérdida de playa en la zona de estudio, en la segunda visita.

Fuente: Elaboración propia.

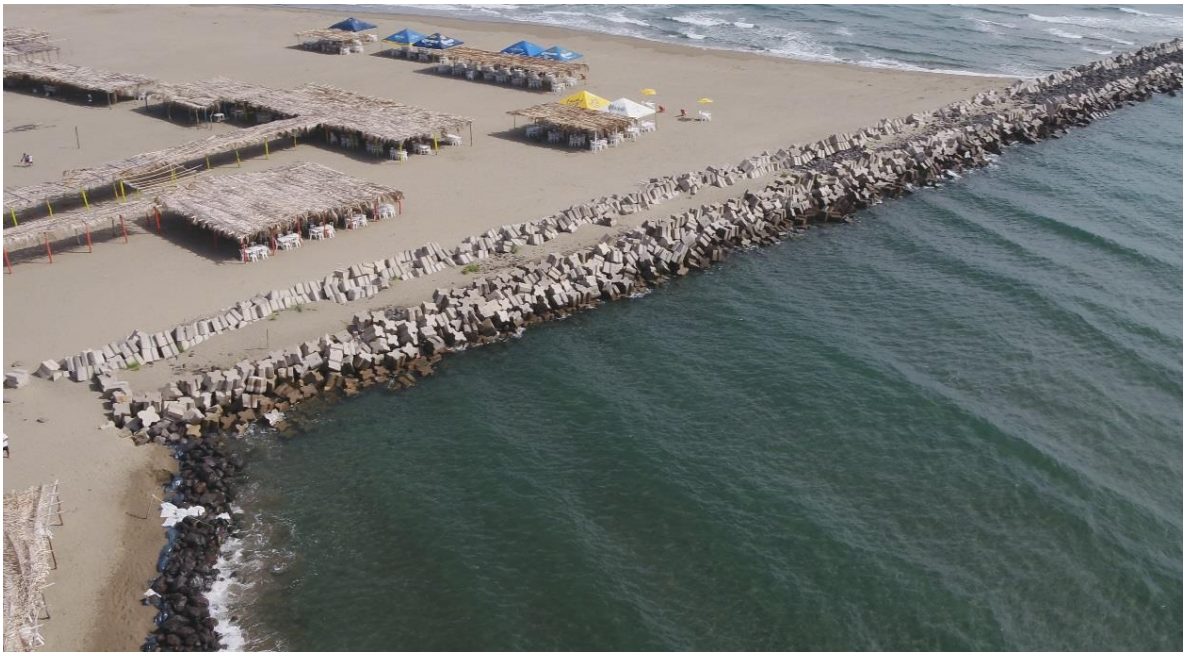
Figura 3.15: Imagen aérea tomada del VANT que ilustra, la pérdida de playa en la zona de estudio, en la segunda visita.

En esta segunda visita, las actividades a desarrollar fueron similares a las realizadas en la primera visita. Se llevaron a cabo diferentes recorridos e inspecciones, a lo largo de la escollera principalmente, se tomaron muestras de sedimientos en diferentes sitios. Se realizaron 6 vuelos con el dron, se levantaron los Puntos de Control Terrestre (PCT), además, se realizó un levantamiento del perfil topográfico a lo largo de la playa en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.16: Imagen aérea tomada del VANT, que ilustra la pérdida de playa en la parte "Este" de la zona de estudio, (segunda visita).

Todo lo contrario ocurre en el lado "Oeste" de la escollera, la cual presenta acreción de la playa por acumulamiento de sedimentos (ver fig. 3.17), debido a las corrientes y los vientos predominantes del área de estudio, ocurridos a partir de la construcción de la escollera.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.17: Imagen aérea tomada del VANT, que ilustra la ganancia de playa en la parte "Oeste" de la zona de estudio, (segunda visita).

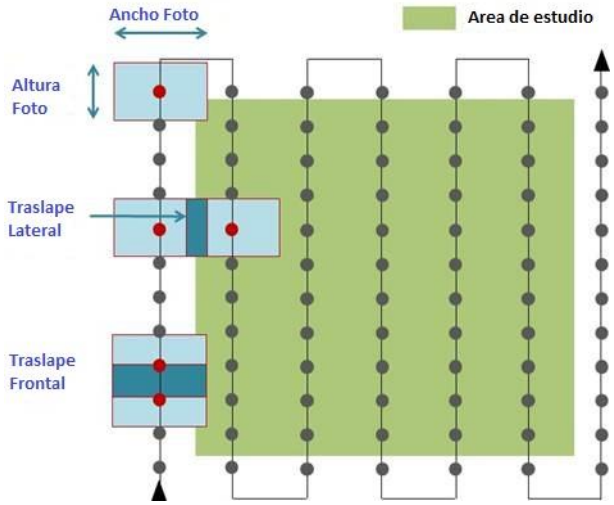
3.4.1. Establecimiento de los planes de vuelo

Es de suma importancia realizar un plan de vuelo, considerando diferentes variables, las cuales deberán de ser tomadas en cuenta, para cumplir con éxito el propósito del mismo. Por ejemplo:

- Tipo del vuelo
- Área a cubrir
- Tiempo de vuelo
- Condiciones atmosféricas
- Tipo de área a levantar

El propósito de establecer un plan de vuelo, además de lograr con éxito la misión y ejecución del mismo, es evitar realizar vuelos innecesarios, tener que regresar al área de estudio, incrementar tiempos y costos, así como, evitar daños al equipo (VANT).

La primera relación existente a considerar, es el tiempo de vuelo del equipo (el cual puede variar según las condiciones atmosféricas del momento) así como, el área que se pretende cubrir, esta relación esta condicionada con la calidad de la imagen que se desea obtener (traslape entre fotos), la figura 3.18 muestra esquemáticamente esta relación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.18: Imagen que ilustra la relación existente, para el establecimiento de un plan de vuelo de un VANT.

Considerado lo anterior, se utilizan aplicaciones moviles (app´s[24]), figura 3.19, como PIX4D Capture o DJI GO4, según el tipo de VANT a utilizar:

Fuente: Propias de la app.

Figura 3.19: Imagen que ilustra las app´s utilizadas, para el establecimiento del plan de vuelo del VANT.

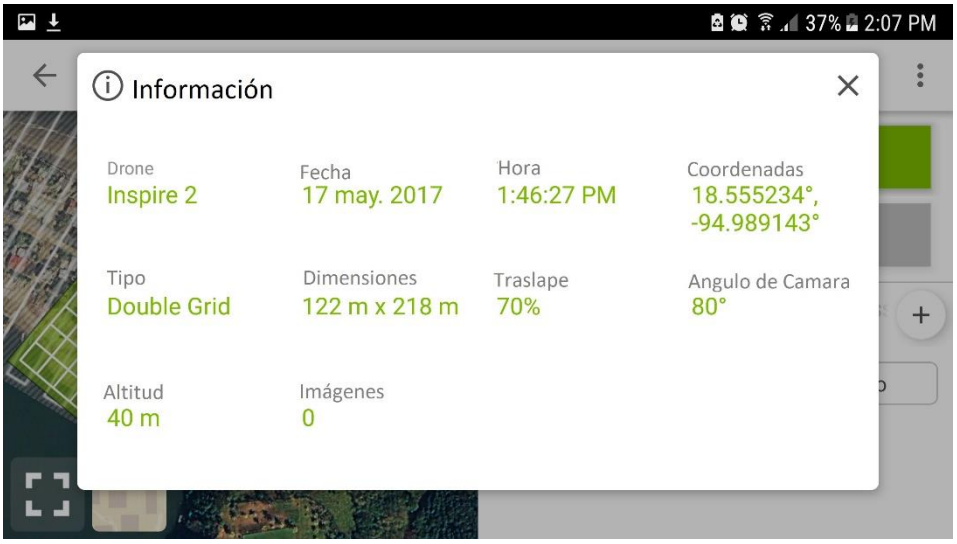
La aplicación Pix4D, brinda al usuario la opción de elegir uno de los cuatro tipos de vuelo a realizar. La diferencia entre cada uno de ellos, radica básicamente en la calidad de la información que se desea adquirir. La figura 3.20 ilustra claramente la forma en que trabaja cada uno de ellos.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.20: Imagen que ilustra el tipo de vuelo, del aplicativo Pix4D, para el levantamiento de datos del VANT.

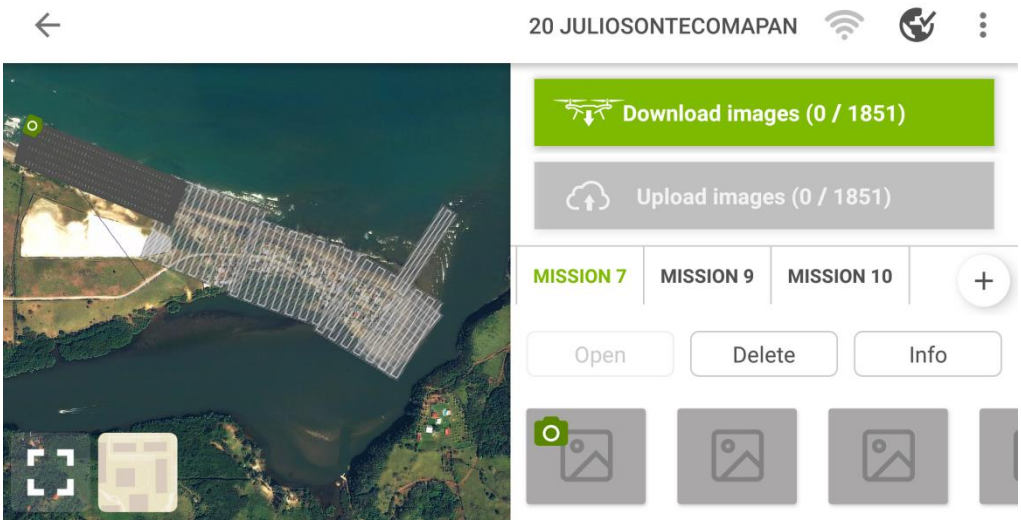
[24] El término app, es una abreviatura de la palabra en inglés *Application*. Es decir, una app es un programa con características especiales. Se refieren sobre todo a aplicaciones destinadas a tabletas (equipos Android) o a teléfonos inteligentes (Smartphone). https://www.yeeply.com/blog/tipos-de-app-y-para-que-sirven/

Después de elegir el tipo de vuelo a realizar, se procede a elegir el área que se desea cubrir; y como se explicó anteriormente, una vez establecidos los parámetros de: altura, velocidad, porcentaje de traslape e inclinación angular de la cámara, etc. (ver fig 3.21) se establecerá el cuadrante del área que se pretenda levantar. Ésta se guarda como una misión, según el área total de la zona de estudio que se requiera levantar, será el número de misiones que estén contenidas en un plan de vuelo, esto queda claramente ilustrado con la figura 3.22.



Fuente: Elaboración propia.

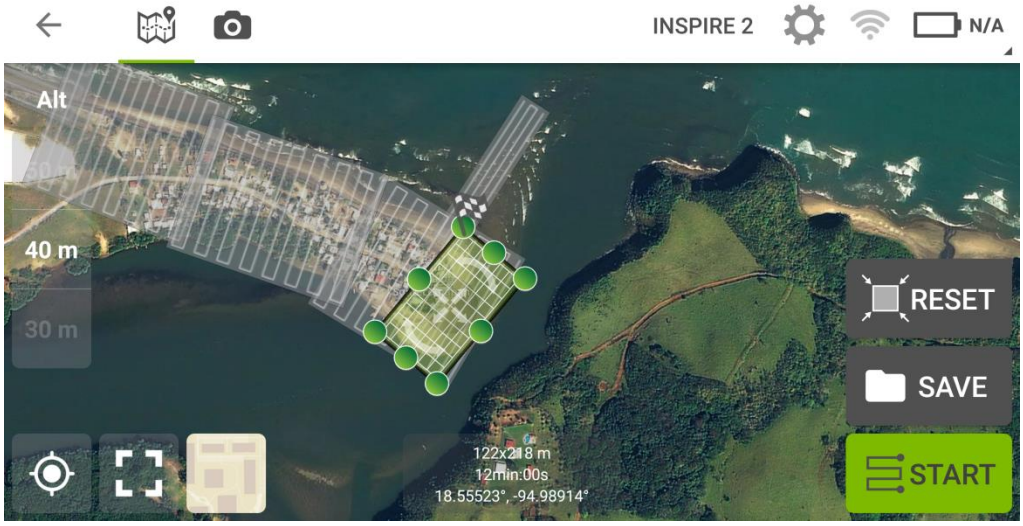
Figura 3.21: Imagen que ilustra los parametros del vuelo, del aplicativo Pix4D, para el levantamiento de datos del VANT.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.22: Imagen que ilustra el número de misiones guardadas, en el plan de vuelo establecido, en el aplicativo Pix4D, para el levantamiento de datos del VANT.

Con los parámetros establecidos y las misiones puestas en pantalla, se podrán guardar cada una de ellas. Una vez establecidas el número de misiones necesarias para cubrir toda el área de interés, se podrá proceder a la ejecución de las mismas, como se ilustra en la figura 3.23. Para la primera visita de campo (marzo del 2017), se realizaron 4 vuelos fotogramétricos, a una altura de 50 metros con un traslape del 80% en un área de 2 km^2 aproximadamente. En suma, crearon un total de 2,094 fotos y 2 videos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.23: Imagen que ilustra el número de misiones guardadas, en el plan de vuelo establecido, en el aplicativo Pix4D, para el levantamiento de datos del VANT.

Para la segunda visita de campo (julio del 2017), se realizaron 6 vuelos fotogramétricos, a una altura de 40 metros con un traslape del 80% en un área de 5 km^2 aproximadamente. En suma, crearon un total de 2,354 fotos y 4 videos, los cuales servirán como insumos principales para el procesamiento de la información y la generación de los distintos tipos de productos mencionados en capítulos anteriores.

3.4.2. Colocación y medición de puntos de control terrestre (PCT)

Como complemento a la aplicación del VANT, para dar control terrestre y certeza en la navegación, se utilizó el sistema LAND-PAK, integrado por dos receptores NAVCOM - GNSS modelo SF_3040, con el cual se realizan levantamientos topográficos de alta precisión.

El significado de las siglas RTK[25], *posicionamiento cinemático en tiempo real*, utiliza la tecnología de navegación por satélites junto con un módem de radio o un teléfono GSM para obtener correcciones instantáneas. Existen tres tipos de levantamientos de precisión, en un primer caso, (A) se ingresan a la base coordenadas X,Y,Z conocidas a partir de un banco de nivel, en un segundo caso, (B) al no contar con dicho banco de nivel se deja la base en observación un periodo largo de tiempo de hasta 6 horas para determinar con precisión las coordenadas del punto de referencia, y en un tercer caso, (C) se realiza el levantamiento y se ajusta con un postprocesamiento de los datos.

La técnica de posicionamiento RTK se basa en la solución de un receptor portador de las señales transmitidas por el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS)[26], las más usuales son del sistema norteamericano GPS, el ruso GLONASS y el europeo GALILEO, si bien también se emplean regionalmente el chino BEIDOU, el japonés QZSS y el Indio IRNSS. Una estación de referencia provee correcciones instantáneas para una o unas estaciones móviles, lo que hace que la precisión obtenida, se llegue hasta un nivel centimétrico (ver fig. 3.24).

[25] El término (RTK) *Real Time Kinematic*, significa *posicionamiento cinemático en tiempo real*. https://www.navcomtech.com/navcom_en_US/products/equipment/receivers/receivers.page

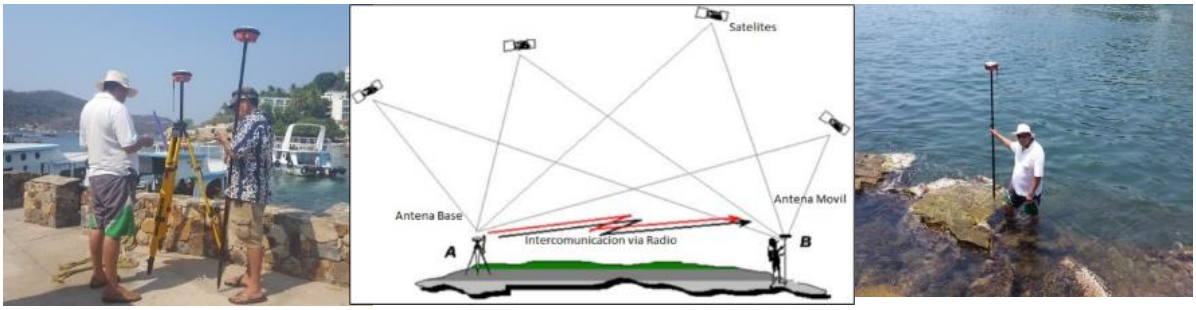
[26] El término (GNSS) *Global Navigation Satellite System*, significa *Sistema Global de Navegación por Satélite.* http://www.hispaviacion.es/sistema-global-de-navegacion-por-satelite/

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.24: Imagen que ilustra la estación de trabajo RTK y su trabajo de campo.

La estación base retransmite la fase del receptor portador que midió, y las unidades móviles comparan sus propias medidas de la fase con la recibida de la estación de referencia. Esto permite que las estaciones móviles calculen sus posiciones relativas con precisión milimétrica, al mismo tiempo en que sus posiciones relativas absolutas son relacionadas con las coordenadas de la estación base.

Esta técnica exige la disponibilidad de por lo menos una estación de referencia, con las coordenadas conocidas y está dotada de un receptor GNSS y un módem radiotransmisor. La estación genera y transmite las correcciones diferenciales para las estaciones, que usan los datos para determinar precisamente sus posiciones. (ver fig. 3.25).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.25: Imagen que ilustra, el funcionamiento del sistema RTK y su aplicación en el trabajo de campo.

El método Virtual Reference Station (VRS) expande el uso del RTK para toda el área de una red de estaciones base. La capacidad de realización de los levantamientos y las precisiones disponibles dependen de la densidad y capacidad de la red de estaciones de referencia. Para el caso de México, se cuenta con el apoyo de la Red Geodésica Nacional Activa[27] del INEGI, la cual brinda información constante y gratuita, a través de las miles de placas (ver fig. 3.26) establecidas a lo largo del territorio nacional. Las nuevas tendencias de los levantamientos precisos, serán la implantación de redes de referencia RTK y estaciones de referencia virtual (VRS).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.26: Fotografía que ilustra, la Placa de identificación INEGI, BN-161 que se utilizó como base para levantamiento topográfico en el trabajo de campo, con el sistema RTK.

[27] **La Red Geodésica Nacional Activa (RGNA)** se define como el conjunto de estaciones de monitoreo continuo de datos del GPS, distribuidas estratégicamente en el territorio nacional, que materializan el Sistema Geodésico Nacional en su vertiente horizontal, y proporcionan servicios de posicionamiento geodésico a los usuarios mediante datos en línea y coordenadas en el marco oficial. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/rgna.aspx?p=22

Es preciso aclarar, para el caso de las placas de la Red Geodesica Nacional Activa del INEGI, cada una de ellas (las placas colocadas a lo largo de todo el territorio nacional), cuenta con su correspondiente ficha técnica, la cual podrá ser consultada y descargada de manera gratuita a través de internet. Para el caso de este estudio, en ambas salidas a campo, se consultaron las placas BN 160 y BN 161, (Ver fig. 3.27). Con objeto de que los integrantes de las brigadas, pudieran alimentar la información (características geodésicas del banco de nivel) en la estación base, para utilizarlo como referencia para realizar el levantamiento topográfico de la barra.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

Denominación:	BN161	Latitud:	18°33'39.99945" N	Condición de la marca:	NO VERIFICADA
Estación Geodésica:	Vertical (BN)	Longitud:	95°03'31.00670" W	Fecha de establecimiento:	01-01-1977
Dependencia:	INEGI	Altura Ortométrica:	9.7820 m	Fecha de medición:	01-01-1977
Entidad federativa:	Veracruz de Ignacio de la Llave	Marco Geodésico de Referencia Vertical:	NAVD29	Fecha de verificación:	No verificada
Municipio:	Catemaco	Clasificación:	Segundo Orden, Clase II	Fecha de validación:	
Carta Esc. 1:50 000:	E15A63	Proyecto:	MINATITLAN-LA PERLA-CATEMACO		
** Coordenadas aproximadas					

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.27: Imagen que ilustra, la ficha técnica de la placa BN 161, de la RGNA del INEGI.

.

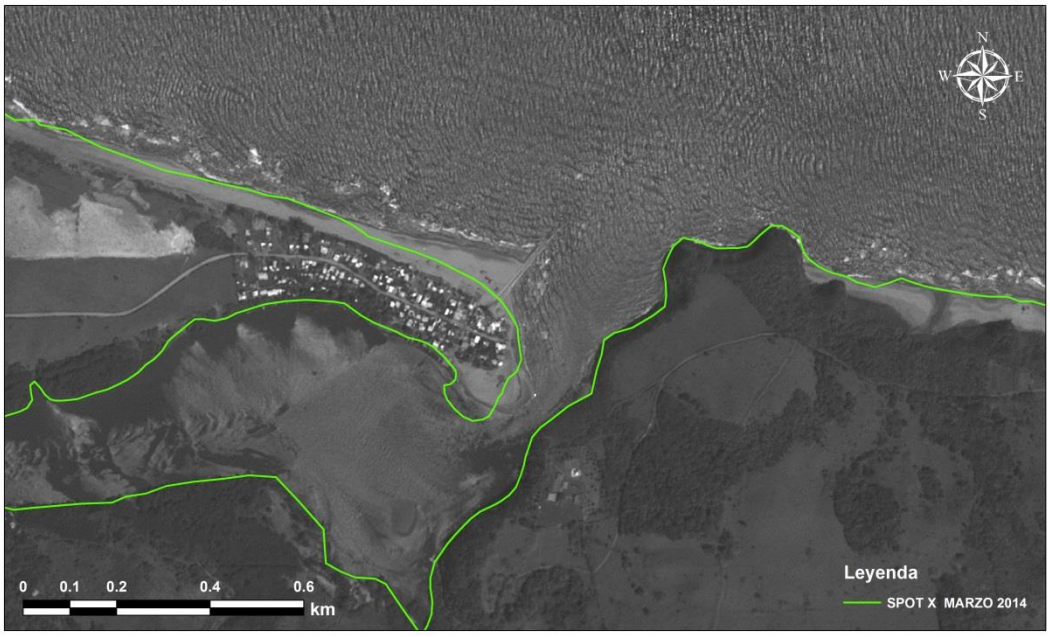
Esta tecnología evidentemente presenta grandes ventajas para realizar levantamientos costeros, debido a que no siempre se cuenta con un banco de nivel como referencia de inicio, ahorrando con esto bastante tiempo para el traslado de un nivel. Además, la velocidad para el levantamiento de registros en campo (puntos), que podrán servir de apoyo para la georreferenciación de miles de fotografías aéreas obtenidas a partir del empleo de un VANTS, resulta muy conveniente, para poder dar certeza a grandes extensiones de superficie, con gran precisión.

4 Procesamiento de la información y resultados

4.1 Procesamiento de imágenes de satélite

Con la información obtenida, producto de un largo proceso de investigación y consulta, así como, los datos derivados de los trabajos de campo realizados, se procedió a trabajar en gabinete el procesamiento del gran volumen de datos.

Inicialmente, se trabajó con las IS recabadas. De manera paciente y detallada, se digitalizaron en pantalla las líneas de costa, para cada una de las escenas con las que se contaba, iniciando con la correspondiente al mes de marzo del 2014. En la figura 4.1, se puede apreciar claramente en color verde el comportamiento en ese período de tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.1 Imagen de satélite del sensor SPOT 6 en Pancromático, tomada en marzo del 2016, de la barra Sontecomapan, con la línea de costa de marzo de 2014.

De forma similar, fueron realizadas las digitalizaciones en pantalla a través de un SIG, para los siguientes 2 años, en escenas para marzo del 2015 y 2016, con los colores amarillo y morado respectivamente. Las imágenes 4.2 y 4.3 ilustran claramente lo anteriormente expuesto y dan mayor idea de lo que se pretende demostrar, que básicamente es el comportamiento de la línea de playa a través de un período de tiempo.

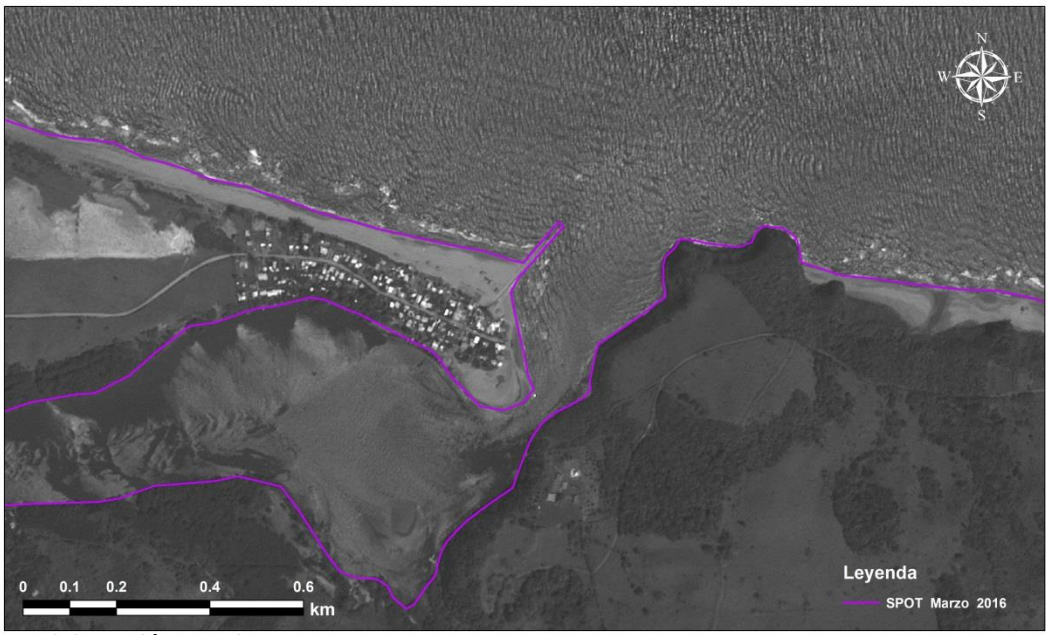
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.2 Imagen de satélite del sensor SPOT 6 en Pancromático, tomada en marzo del 2016, de la barra Sontecomapan, con la línea de costa de marzo de 2014 y marzo de 2015.

Cabe resaltar que en el año 2013, se inicio la construcción de la escollera, pero por más de un año estuvo detenida la construcción de la misma[28], reactivando actividades a principios del 2015. La IS más reciente que se pudo obtener fue la de marzo del 2016 (fig 4.4), la cual en color morado, muestra su comportamiento.

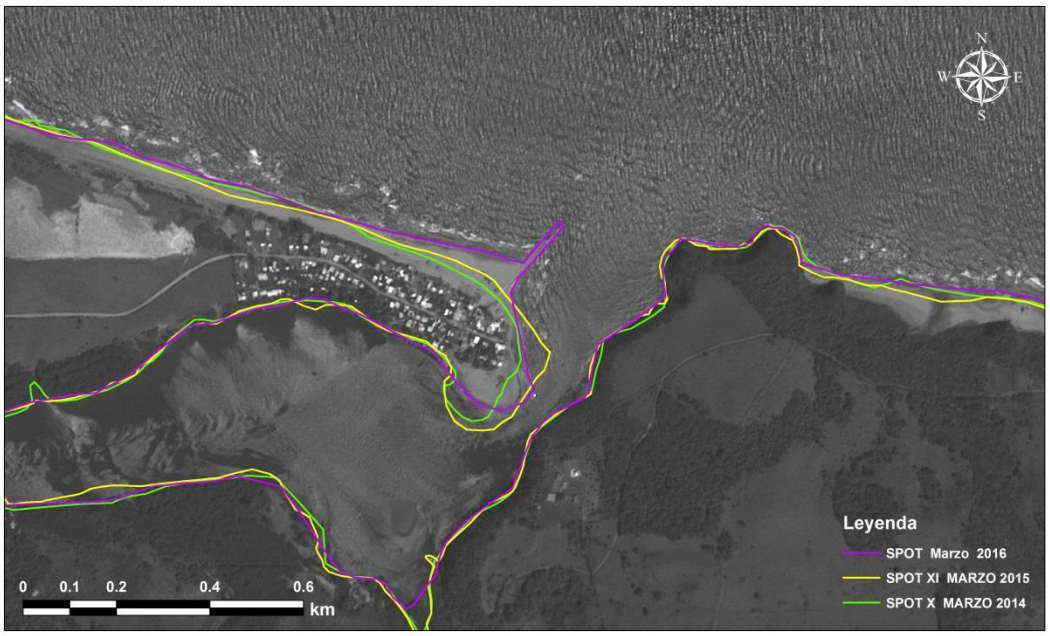
[28] http://www.lagrilladelsur.com/noticias/detenida-construccin-de-escollera-en-barra-de-sontecomapan-1416446824.html

http://www.observatorioenlinea.com/2015/12/21/que-agilicen-trabajos-de-construccion-de-escollera-en-la-barra/



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.3 Imagen de satélite del sensor SPOT 6 en Pancromático, tomada en marzo del 2016, de la barra Sontecomapan, con la línea de costa de marzo de 2016.



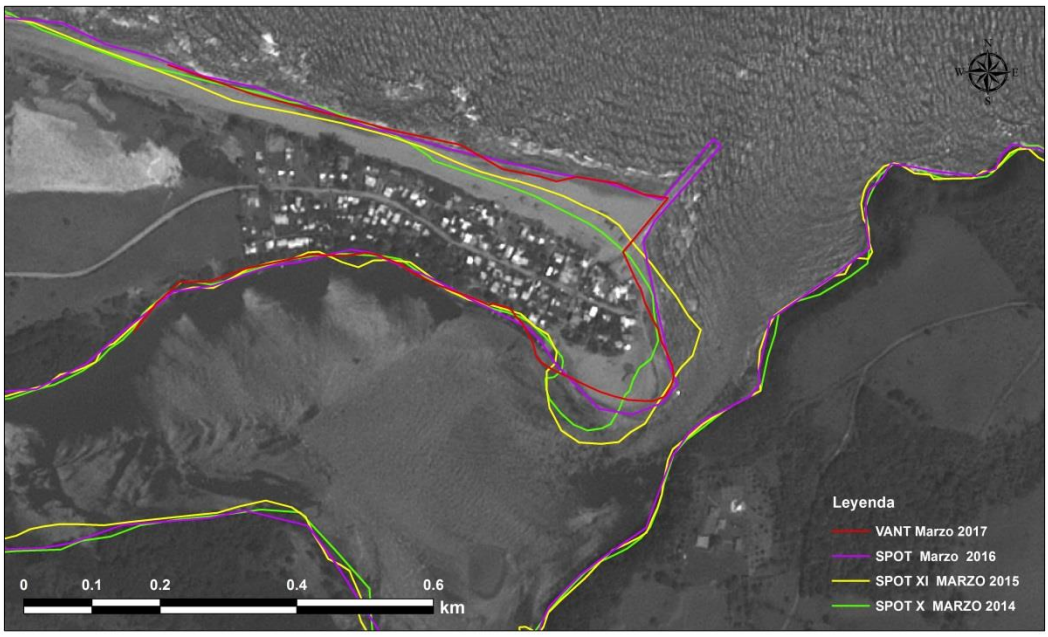
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4 Imagen de satélite del sensor SPOT 6 en Pancromático, tomada en marzo del 2016, de la barra Sontecomapan, con la línea de costa de marzo de 2014, 2015 y 2016.

En la figura 4.4 se puede apreciar el comportamiento de los 3 períodos de tiempo anteriormente mencionados, con lo que claramente el usuario puede determinar la dinámica del sitio.

Es importante resaltar que a través del período de tiempo analizado, diversas noticias han aparecido en los periódicos y diferentes medios de comunicación, en relación a los impactos que en la línea de costa ha provocado la construcción de la escollera[29].

Una cuarta y última línea de comportamiento que se incorporó, se presenta en color rojo, la cual fue obtenida a través del empleo del VANT, para marzo 2017 (fig. 4.5).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5 Imagen de satélite del sensor SPOT 6 en Pancromático, tomada en marzo del 2016, de la barra Sontecomapan, con líneas de costa de diferentes años.

[29] http://www.observatorioenlinea.com/2017/09/06/la-barra-de-sontecomapan-reclama-a-conapesca-por-escollera-inconclusa/

De la misma forma, las diferentes líneas de costa a través de los años son presentadas, pero ahora sobre una imagen multiespectral de Digital Globe, cortesía de SAS planet (FIG. 4.6) encima de esta, la ortofoto producida por el VANT.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.6 Imagen de satélite de la compañía Digital Globe, de la barra Sontecomapan, con la línea de costa en diferentes años.

4.2 Productos derivados del VANT

Continuando con la información obtenida del VANT, derivada de los trabajos realizados en campo, con el apoyo de cómputo especializado, Unidad de Procesamiento de Gráficos (GPU[30]), con tarjetas gráficas aceleradoras (tecnología CUDA), así como, del software Pix4D, se comenzó a procesar toda la información.

Las fotos generadas por cada misión establecida en el plan de vuelo, fueron cargadas al software (Pix4D), mismo que se le indicó la creación de productos derivados de este procesamiento. Como se mencionó en capítulos anteriores, consiste en crear diversos tipos de carpetas, las cuales contendrán archivos .LAS, conocidos comúnmente como nube de puntos y en otra carpeta, se alojan los llamados Ortomosaicos (fig. 4.7).

Fuente: Elaboración propia.

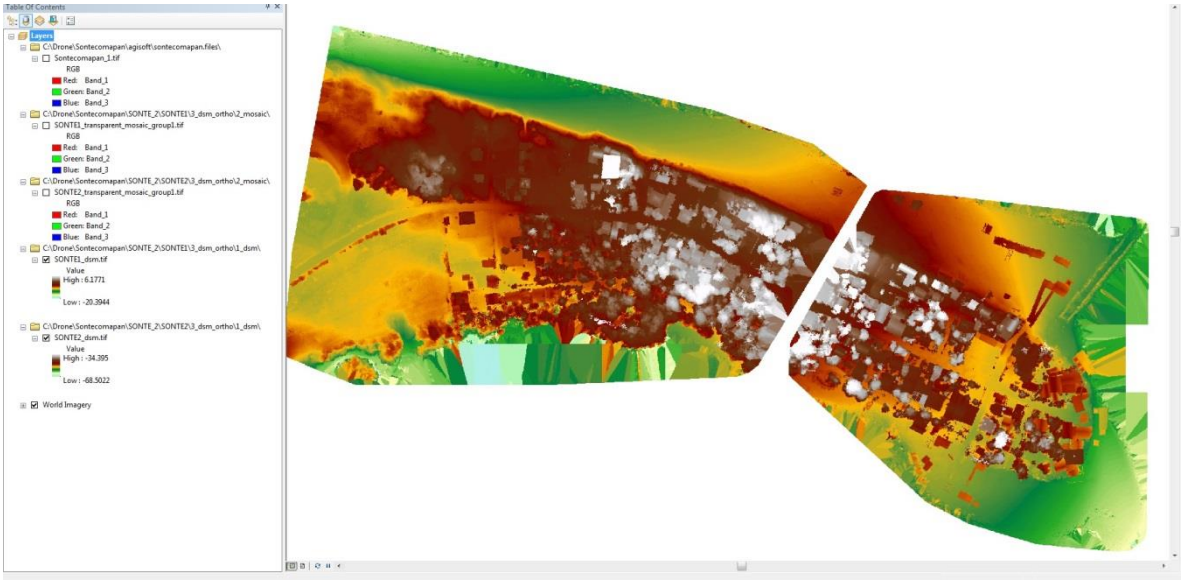
Figura 4.7 Mosaico de la barra de Sontecompan, formado por 2,094 fotos aéreas, tomadas en marzo del 2017.

Este Ortomosaico es visualizado a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG), de donde podrá derivarse todo el potencial existente de dicha herramienta,

[30] GPU o GPGPU, Cómputo de Propósito General en Unidades de Procesamiento de Gráficos, por sus siglas en inglés http://www.amd.com/es-xl/products/graphics/server/gpu-compute http://fisica.cab.cnea.gov.ar/gpgpu/images/bioinfo/01_paralelismo.pdf

entre los cuales caben destacar, áreas y perímetros, distancias planas, sobreposición de otras capas georreferenciadas, evolución del territorio a través de IS, o sevicios WMS[31], entre otros.

Otro producto principal, derivado del postproceso de la información capturada por el VANT, es el Modelo Digital de Elevación (MDE) (ver fig. 4.8), también conocido por sus siglas en inglés como DEM[32]. Este MDE, es visualizado con el potencial funcional descrito antes.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.8 MDE de la barra de Sontecompan, formado por 2,094 fotos aéreas, tomadas en marzo del 2017.

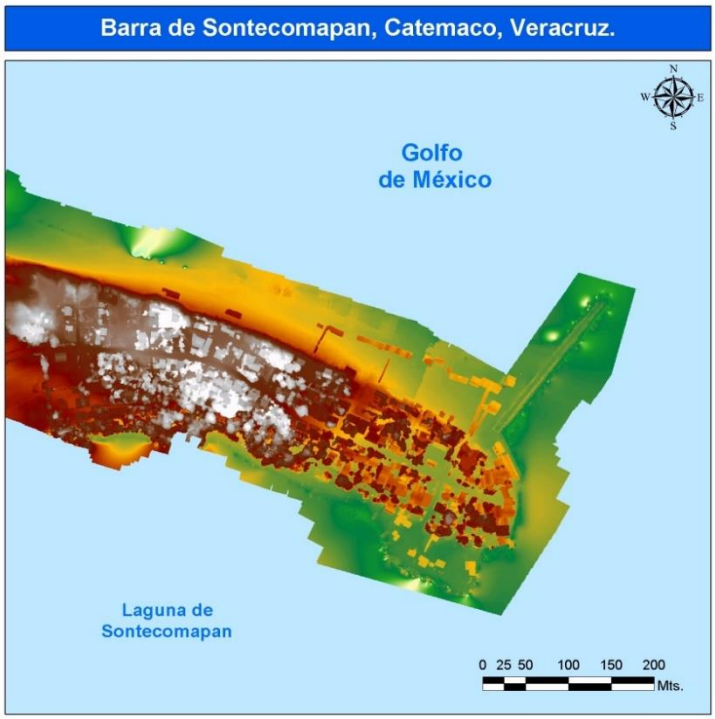
Una vez procesados los datos y teniendo los elementos resultantes, como Ortomosaicos, MDE, nube de puntos, curvas de nivel, etc., se elaboraron los mapas para la visualización final de los datos. Las figuras 4.9 y 4.10, ilustran de mejor manera, lo antes mencionado y se aprecian las características geomorfológicas, e hidrodinámicas de la zona de estudio.

[31] WMS (Web Map Service) por sus siglas en inglés que se traduce como Servicio de Mapas Web, http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/serviciosweb/infogeografica.aspx

[32] DEM (Digital Elevation Model) por sus siglas en inglés, https://learn.arcgis.com/es/related-concepts/digital-elevation-models.htm

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.9 Ortomosaico de la barra de Sontecompan, formado por 2,354 fotos aéreas, tomadas en julio del 2017.



Fuente: Elaboración propia.

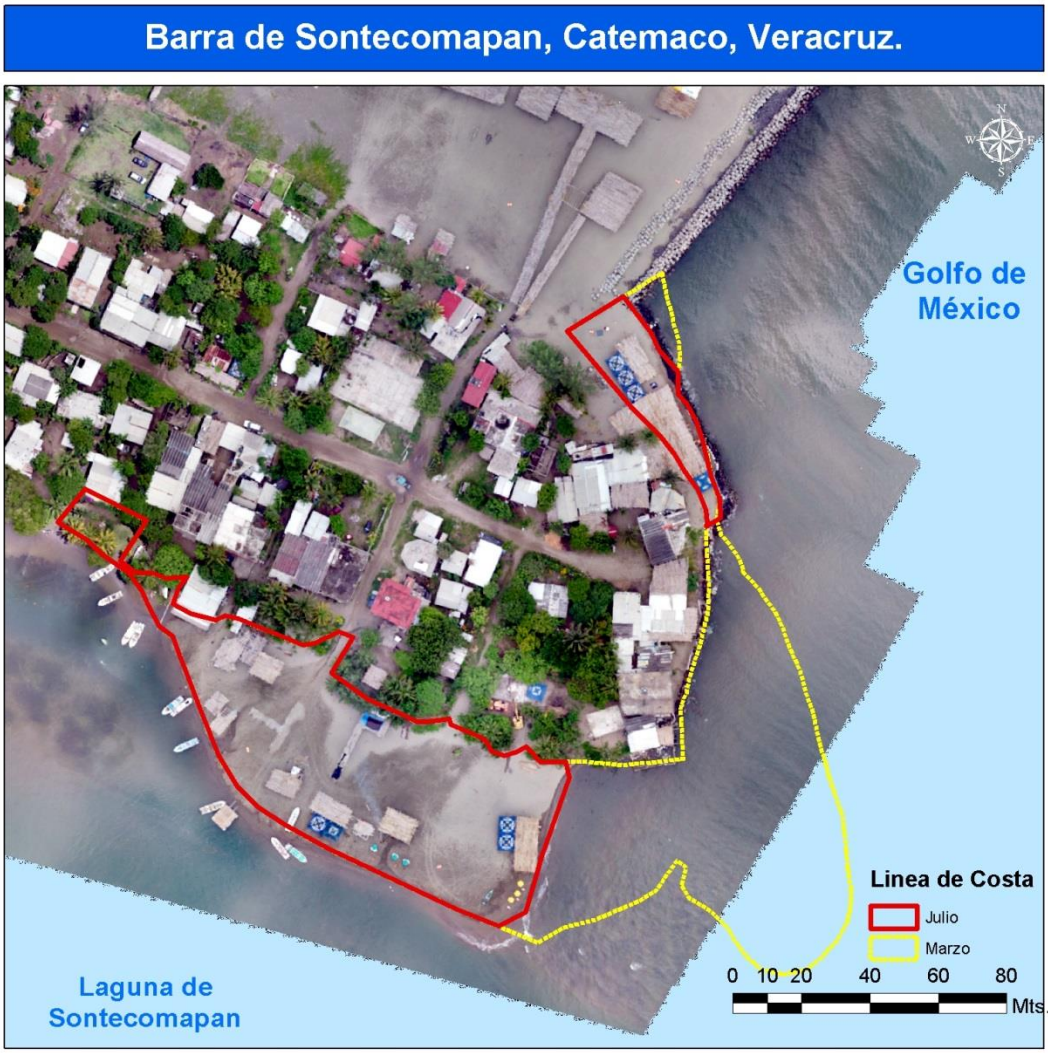
Figura 4.10 MDE de la barra de Sontecompan, formado por 2,354 fotos aéreas, tomadas en julio del 2017.

Una vez concluido el procesamiento para ambos trabajos de campo (marzo y julio de 2017) se analizaron los resultados obtenidos, los cuales fueron comparados entre sí, para poder visualizar la dinámica del sitio (Fig. 4.11) en tan sólo 4 meses, los cambios en la línea de costa fueron significativos, a patir del empleo del VANT, esto se puede analizar de manera más precisa.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.11 Imagen que ilustra la comparativa entre dos Ortomosaicos, elaborados en 2 distintos períodos de tiempo (marzo y julio del 2017), de la misma zona de estudio.

Con el empleo del SIG, se delimitaron los bancos de arena existentes en la barra para cada uno de los períodos analizados (Fig. 4.12), por una parte, de color amarillo correspondiente al mes de marzo, con una extensión aproximada de 12,783 m^2 y por otra de color rojo, se delimitaron los polígonos que representaban el banco de arena en ese momento, para el mes de julio (de la misma zona), el cual representó una extensión de 6,617m^2 aproximadamente. Lo anterior conduce a entender la dinámica del sitio a través de los años, pero también en un período corto de tiempo como lo fueron 4 meses, en donde se puede afirmar la pérdida de un poco más del 50% de la playa; si las mediciones fueran continuas y permanentes, se podría establecer una tasa en la variación de la playa de la barra. Por el momento, sólo se tiene conocimiento de la dinámica del sitio, así como la cantidad de desplazamiento de sedimentos.

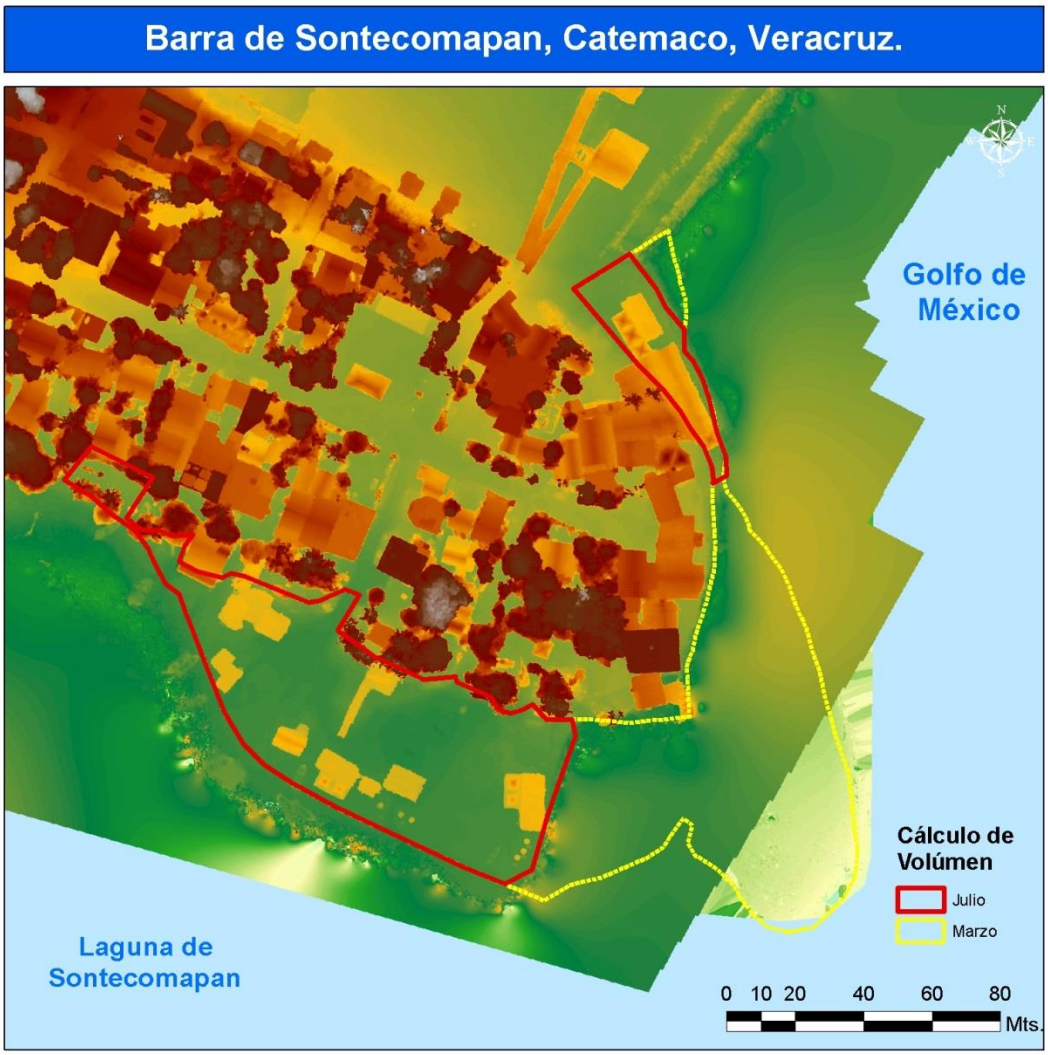


Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.12 Imagen que ilustra la dinámica del sitio sobre un Ortomosaico, comparando 2 distintos períodos de tiempo (marzo y julio del 2017) de la misma zona de estudio.

Con la delimitación de los 2 polígonos de los distintos períodos analizados, (color amarillo para el mes de marzo, y color rojo para el mes de julio), se procedió a calcular el volumen de los bancos de arena existentes en la barra en ese momento (Fig. 4.13). Para el mes de marzo se contaba con un volumen aproximado de 191,783 m^3 aproximadamente, Para el mes de julio la pérdida del volumen fue sensiblemente mayor al reportoar 46,319 m^3 aproximadamente. Lo anterior, conduce a entender la dinámica del sitio a través de los años, pero también en un período corto de tiempo como lo fueron 4 meses, en donde se puede afirmar la pérdida de 145,464 m^3 de arena.

Además, a partir del uso y gestión del MDE derivado del VANT se generó más información como: puntos máximos de altura (34 msnm) curvas de nivel (de hasta 10 cm), mapas de pendientes, mapas de orientación de laderas y mapas de relieve entre otros.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13 Imagen que ilustra la dinámica del sitio sobre un MDE, comparando 2 distintos períodos de tiempo (marzo y julio del 2017), de la misma zona de estudio.

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Con dispositivos de registro de información en formato digital y de alta resolución espacial se fortalece y amplía la investigación que se realiza al interior del IMT, incrementando con ello la cantidad y calidad de sus estudios, se propicia que el uso y aplicación de VANT´s apoyen el empleo de las imágenes de satélite, para poder determinar con éxito la línea de playa en cualquier momento.

Los VANT's son una herramienta útil, con gran potencial a desarrollar para futuros estudios de Dinámica Costera. Los productos pueden ser utilizados para identificar, con mayor detalle, procesos de fenómenos que afectan a la costa en general, así como procesos en cambios morfológicos, los cuales, se pueden integrar con otros datos espacialmente georreferenciados y/o diferentes programas gestores de información geoespacial, para una mejor interpretación y resultados de mejor calidad.

De manera general, se obtienen las siguientes conclusiones:

- ✓ Los VANT's son una herramienta útil para estudios de Dinámica Costera.
- ✓ Los productos desarrollados pueden ser utilizados para identificar a mayor detalle, procesos en la línea de costa y procesos morfotectónicos.
- ✓ La información generada puede ser acompañada o relacionada con otros datos georreferenciados a través de una plataforma SIG.
- ✓ Tener en cuenta que los aplicativos (app´s) pueden llegar a presentar incosistencias, motivo por el cual, se crea un gran campo de oportunidad para el desarrollo y programación de las mismas.
- ✓ Se valida la hipótesis planteada al inicio de esta investigación.

Concluidos los estudios y analizados los beneficios obtenidos por el uso de esta tecnología, se identificaron otros posibles campos de aplicación dentro del ámbito marítimo-costero como pudiesen ser:

- Deforestación del manglar: conservación ecológica.
- Estudio de dunas: conservación ecológica y certificación de playas para uso recreativo y de conservación.
- Monitoreo de fauna costera: censos biológicos.

- Monitoreo de erosión costera: ingeniería de costas para la protección de la línea de playa.
- Estudio de capacidad de carga de playas: ordenación de playas.
- Seguimiento y cuantificación de daños por fenómenos meteorológicos de alto impacto.
- Estimación de daños por dispersión de contaminantes.

Derivado del análisis y conocimiento adquirido en el desarrollo de esta investigación, se elaboró una tabla comparativa (ver tabla 5.1) sobre las ventajas y desventajas en el empleo de los VANT's.

Tabla 5.1 Tabla comparativa acerca del uso de VANT's

Ventajas	Desventajas
Disponibilidad inmediata de información.	Limitaciones legales y espacios aéreos restringidos.
Imágenes de alta resolución, inmediatamente disponibles.	Restricciones, por condiciones meteorológicas (según el rango de operación de cada equipo)
Eficiente y práctico: solo requiere un mínimo de personas para operar (ligero y fácil de transportar).	El tiempo de vuelo es un factor limitante (duración de baterías).
Costo-Eficiencia: Utilizándolo regularmente es más económico que otros equipos y métodos.	

5.2 Recomendaciones

Al término de esta investigación, después de adquirir, conocimiento y experiencia en la aplicación de este tipo de tecnologías, se pueden emitir las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda elegir un VANT de acuerdo a las necesidades del usuario y el proyecto a desarrollar.
- Antes de usar un VANT, someter al personal a un proceso de capacitación riguroso y permanente.
- Se requiere conocer las partes que integran el VANT y el alcance del mismo.
- Es importante realizar, en lo posible, una revisión previa del sitio o área de estudio a volar, con el fin de determinar la altura del vuelo, así como, probables sitios de despegue y aterrizaje, condiciones climáticas favorables y la presencia de obstáculos como: torres, cables, árboles, etc.
- Se recomienda operar el equipo (volar) con al menos 2 personas: Piloto y Copiloto.
- La principal medida de seguridad, es la seguridad de quien opera el VANT.
- Se requiere un proceso paulatino de aprendizaje, mediante la práctica continua.
- Tener en cuenta los tiempos máximos de vuelo, contar con baterías extras, así como, el hecho de que las app's puedan llegar a tener ciertas inconsistencias.
- En levantamientos fotogramétricos con VANT's, las imágenes captadas en la zona intermareal pueden ser afectadas por la presencia y movimiento constante del agua. Por lo cual, se requiere el apoyo de equipo batimétrico para complementar esta información.

Bibliografía

Association for Unmanned Vehicle Systems International (2013). *The Economic Impact of Unmanned Aircraft Systems integration in the United States*. Revista [En Línea] AUVSI Economic Report. Fecha de consulta: 2-08-2016

http://robohub.org/_uploads/AUVSI_New_Economic_Report_2013_Full.pdf

www.auvsi.org

Backhoff M.A. (2005). *Transporte y espacio geográfico. Una aproximación geoinformática.* ISBN 970-32-2179-3. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

http://imt.mx/archivos/Publicaciones/Libro/lb5.pdf

Backhoff M.A., García G. (1992). *Los sistemas de información geográfica y el transporte.* Publicación Técnica No. 32. Instituto Mexicano del Transporte (IMT). México.

http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt32.pdf

Botello A. B., Villanueva S., Gutierrez J. y Rojas J.L. (2010). *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. ISBN 978-607-7887-11-9 [versión impresa]. ISBN 978-607-7887-12-6 [versión electrónica] Universidad Autónoma de Campeche, México. Fecha de consulta: 28-12-2016

http://www.gppa.com.mx/books/vulnerabilidad_CCParte1.pdf

Canada Centre for Remote Sensing (CCRS), (2000). *Fundamentals of Remote Sensing. Canada.* Documento en línea.

http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf

Consejería de Economía y Hacienda, Comunidad de Madrid y Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015). *Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil.* Revista [En Línea]. Fecha de consulta: 28-07-2016

http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015384.pdf

Escalera N. (2014). Integramos un sistema de sensores en un dron para agilizar el análisis de las zonas vulnerables de las costas. Presentación [En Línea]. Chile, Fecha de consulta: 22-01-2017

https://prezi.com/ck3o3ydibbs-/la-determinacion-de-las-lineas-de-la-playa-y-de-mas-baja-ma/

Fundación Descubre (2016). Integramos un sistema de sensores en un dron para agilizar el análisis de las zonas vulnerables de las costas. Revista [En Línea]. España, Fecha de consulta: 2-01-2017

https://idescubre.fundaciondescubre.es/2016/09/16/integramos-un-sistema-de-sensores-en-un-dron-para-agilizar-el-analisis-de-las-zonas-vulnerables-de-las-costas/

Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaría (2014). *Drones y su uso en la Agricultura.* Revista [En Línea].Elika, Berezi@ 35. Fecha de consulta: 2-08-2016

http://www.elika.eus/datos/articulos/Archivo1388/Berezi%2035%20drones%20y%20sus%20usos%20en%20agricultura.pdf

Hernández V.M., Muñiz J.A., Garduño V.H., Flores N., Figueroa S., (2014). *Depreciation factor equation to evaluate the economic losses from ground failure due to subsidence related to groundwater withdrawal.* Revista [En Línea]. Natural Science Vol.6, No.3, 108-113 Fecha de consulta: 1-08-2016

http://dx.doi.org/10.4236/ns.2014.63015

La Vanguardia (2016) Un *nuevo programa de drones vigilará el estado del litoral valenciano.* Informativo [En Línea] Fecha de consulta: 28-01-2017.

http://www.lavanguardia.com/local/valencia/20160608/402368656544/un-nuevo-programa-de-drones-vigilara-el-estado-del-litoral-valenciano.htm

Lilles, T.M., Kiefer, R.W. (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley and Sons Inc., 7th Edition, New York.

http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-EHEP003336.html

Lira J. (1995). *La percepción remota: nuestros ojos desde el espacio*. Fondo de Cultura Económica. Cuarta Reimpresión. México.

Ojeda J., Díaz M., Prieto A. y Álvarez F. (2013) *"Línea de costa y Sistemas de Información Geográfica: Modelo de datos para la caracterización y cálculo de indicadores en la costa andaluza".* Investigaciones Geográficas, Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante, España. Documento en línea.

https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/34743/1/Investigaciones_Geograficas_60_02.pdf

Pardo J.E., Ruíz L.A., Calaf X. (2008) *"Detección automática de Cambios en la línea de costa a partir de Imágenes de Satélite de Resolución Media"* Congreso Internacional de Ingeniería Geomática y Topográfica, Universidad de Valencia, España. Documento en línea.

http://cgat.webs.upv.es/BigFiles/114-Pardo%20Pascual.pdf

Ramos H., Montes J.C. (2015). *Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil (Cap.7) Aplicaciones hidrológicas* (7): 95-99 Revista [En Línea] Consejería de Economía y Hacienda, Comunidad de Madrid y Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Fecha de consulta: 28-07-2016

http://es.slideshare.net/juditurquijo/los-drones-y-sus-aplicaciones-a la ingeniería civil fener com2015

http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015384.pdf

Sánchez G., Mulero M., Saumeth E., (2013). *Vehículos aéreos no tripulados en Latinoamérica.* Informe [En Línea]. IDS Solutions. Fecha de consulta: 2-08-2016

http://www.infodefensa.com/wpcontent/uploads/Vehiculos_aereos_no_tripulados_en_Latam.pdf

Sani J., y Tierra R. (2015). *Vehículos aéreos no tripulados - UAV para la elaboración de cartografía escalas grandes referidas al marco de referencia Sirgas-Ecuador*. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE.

https://www.researchgate.net/publication/274385188

Sensores Remotos & SIG (SRGIS), (2006). *Guía básica sobre Imágenes Satelitales y sus productos*. Colombia. Documento en línea.

http://www.cartografia.cl/download/srgis.pdf

http://www.srgis.cl e-mail: info@srgis.cl

Transportation Research Board (TRB) of the National Academies, (2003). *Remote Sensing for Transportation: Products and Results*. Washington, D.C. Report of a conference, conference proceedings Num. 29 ISBN 0-309-08551-9. En línea.

http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/conf/reports/cp_29.pdf

Artículos en Internet:

Artículo “¿Qué es un Dron?”
http://www. http://www.academia.edu/7946946/QU%C3%89_ES_UN_DRONE

Artículo “Qué son los Drones? Para que sirven?”
http://www.informatica-hoy.com.ar/gadgets/Que-son-drones-sirven.php

Artículo “Murió el proyecto del minidron Zano”

https://www.fayerwayer.com/2015/11/murio-el-proyecto-del-minidron-zano/

Documentos & Manuales

http://www.dji.com/es/inspire-2/info#specs

Anexo 1

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
Dirección de Soluciones Geoespaciales

"2016, Año del Nuevo Sistema de Justicia Penal"

No. de Oficio G00.3.-000/2016
Ciudad de México, 21 de junio de 2016

M. en C. Gilberto José Tristán Bila Ruiz Lang
Coordinador de Ingeniería Portuaria
y Sistemas Geoespaciales del Instituto
Mexicano del Transporte (SCT)

En respuesta a la petición con número 20160610-154842-546 realizada en el sistema de solicitudes de la ERMEX, le informo que se pusieron a disposición del M. en C. Jonatan Omar González Moreno, usuario ermex0025, gestor autorizado del Instituto Mexicano del Transporte, Coordinación de Ingeniería Portuaria y Sistemas Geoespaciales (SCT), 31 imágenes de los satélites SPOT para el proyecto: *Estudio temporal de la Barra Sontecomapan, estado de Veracruz*, las cuales se relacionan a continuación:

Satélite SPOT	K/J	Fecha de Toma	Nivel de Proc.	Referencia
5	596/313	11-feb-24	T-3A	E55963131102242T3A03002
5	596/313	11-feb-24	J-3A	E55963131102242J3A04002
5	596/313	12-mar-20	F-3A	E55963131203202F3A07002
5	596/313	07-APR-27	J-3A	E55963130704271J3A08002
5	596/313	13-may-10	F-3A	E55963131305102F3A05006
5	596/313	12-mar-20	T-3A	E55963131203202T3A00002
5	596/313	13-may-10	J-3A	E55963131305102J3A03002
5	596/313	12-mar-20	J-3A	E55963131203202J3A00002
5	596/313	13-may-10	T-3A	E55963131305102T3A02002
5	596/313	07-APR-27	T-3A	E55963130704271T3A07002
5	597/313	05-JAN-05	J-3A	E55973130501051J3A02002
5	597/313	14-jul-16	J-3A	E55973131407161J3A06003
5	597/313	13-DEC-05	J-3A	E55973131312052J3A05004
5	597/313	12-feb-18	J-3A	E55973131202182J3A08002
5	597/313	11-may-24	J-3A	E55973131105242J3A06002
5	597/313	09-AUG-12	J-3A	E55973130908122J3A00002
5	597/313	06-APR-19	J-3A	E55973130604192J3A00002
5	597/313	04-may-01	J-3A	E55973130405011J3A09004
5	597/313	13-DEC-05	T-3A	E55973131312052T3A08003
5	597/313	11-may-24	T-3A	E55973131105242T3A05002
5	597/313	09-AUG-12	T-3A	E55973130908122T3A09002
5	597/313	06-APR-19	T-3A	E55973130604192T3A00002
5	597/313	05-JAN-05	T-3A	E55973130501051T3A01002
5	597/313	04-may-01	T-3A	E55973130405011T3A08004
5	597/313	12-feb-18	T-3A	E55973131202182T3A07002
6	597/314	16-mar-07	K-3A	E6597314160307_1638441K3A0U15N14L1180002
6	597/314	14-feb-26	G-3A	E6597314140226_1630021G3A0U15B05L1063020
6	597/314	16-mar-07	C-3A	E6597314160307_1638441C3A0U15B14L1183001
6	597/314	13-may-02	G-3A	E6597314130502_1637441G3A0U15B19L1265011
6	597/314	16-mar-07	G-3A	E6597314160307_1638441G3A0U15B14L1183001
6	597/314	15-APR-18	K-3A	E6597314150418_1628571K3A0U15N21L1211005

Av. Benjamín Franklin No. 148, Col. Escandón, Del. Miguel Hidalgo, Ciudad de México, C.P. 11800
t. +52 (55) 3871 8500, www.siap.gob.mx

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
Dirección de Soluciones Geoespaciales

"2016, Año del Nuevo Sistema de Justicia Penal"

No. de Oficio G00.3.-000/2016
Ciudad de México, 21 de junio de 2016

Conforme a las reglas de operación de la ERMEX, las imágenes que se entregan deben ser utilizadas como apoyo para el desarrollo de las actividades de esa institución, **por lo que no se podrá distribuir, prestar, regalar o entregar** a áreas que no estén bajo su coordinación.

Agradeceré el acuse de recibo de los archivos una vez que se hayan descargado del sistema FTP o entregado por mensajería, a efecto de proporcionar al gestor autorizado, la clave para su descompresión.

Gracias por su atención.

Para la **nota 0301** usar: 014505163

Atentamente

ISC. Javier Vicente Aguilar Lara
Director

c.c.p. Lic. Patricia Ornelas Ruiz, Directora en Jefe del SIAP.
ERMEX
JVAL/pbor0301

Av. Benjamín Franklin No. 148, Col. Escandón, Del. Miguel Hidalgo, Ciudad de México., C.P. 11800
t. +52 (55) 3871.8500, www.siap.gob.mx

Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado-Galindo”
Parque Tecnológico San Fandila
Mpio. Pedro Escobedo, Querétaro, México
CP 76703
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610
Fax +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

http://www.imt.mx/

Esta publicación fue desarrollada en el marco de un sistema de gestión de calidad certificada bajo la norma ISO 9001:2015