

Universidad Científica del Perú - UCP
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS:

**DELIMITACIÓN DE LA INUNDACIÓN DE LOS RÍOS NANAY,
AMAZONAS E ITAYA SOBRE EL DISTRITO DE PUNCHANA
UTILIZANDO DRONES, 2019.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL**

AUTOR: Johanna Raquel Dávila Arévalo

ASESOR: Ing. Gustavo Gamarra Ramírez MSc.

Región Loreto – Maynas – Perú

2021

DEDICATORIA

Se la dedico a Dios por ser el forjador de mi camino, a mi padre celestial, el que me acompaña y siempre me levanta de mi continuo tropiezo, al creador, de mis padres y de las personas que más amo, con mi más sincero amor.

***A mis padres Juan y Raquel,** porque ellos han dado razón a mi vida, por sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia, todo lo que hoy soy es gracias a ellos. Por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su inmenso amor.*

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a la Universidad Científica del Perú por habernos aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar la carrera, así también como a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y apoyo.

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP**

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

La Tesis titulada:

**"DELIMITACIÓN DE LA INUNDACIÓN DE LOS RÍOS NANAY, AMAZONAS E
ITAYA SOBRE EL DISTRITO DE PUNCHANA UTILIZANDO DRONES, 2019"**

De los alumnos: **JOHANNA RAQUEL DÁVILA ARÉVALO**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **23% de plagio**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

San Juan, 11 de enero del 2021.



Dr. César J. Ramal Asayag
Presidente del Comité de Ética - UCP

CIRA/r/s
282-2021

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N° 801-2019-UCP-FCEI del 21 de octubre de 2019, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- | | |
|---|------------|
| • Ing. Carmen Patricia Cerdeña Del Águila, Dra. | Presidente |
| • Blgo. Álvaro Tresierra Ayala, Dr. | Miembro |
| • Ing. Marco Paredes Riveros, M.Sc. | Miembro |

Como Asesor: Ing. Gustavo Fernando Gamarra Ramírez, M.Sc

En la ciudad de Iquitos, siendo las 10:00 horas del día 25 de enero del 2021, a través de la plataforma ZOOM supervisado en línea por la Secretaria Académica del programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Científica del Perú., se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: “Delimitación de la Inundación de los ríos Nanay, Amazonas e Itaya sobre el distrito de Punchana utilizando drones, 2019.”




Presentado por la sustentante: **JOHANNA RAQUEL DÁVILA ARÉVALO**

Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO AMBIENTAL**

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **ABSUELTAS**
El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADA POR UNANIMIDAD**

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.

| | | |
|---|---|--|
|  |  |  |
| _____ Miembro | _____ Presidente | _____ Miembro |

Contáctanos:

Iquitos – Perú
065 - 26 1088 / 065 - 26 2240
Av. Abelardo Quiñones Km. 2.5

Filial Tarapoto – Perú
42 – 58 5638 / 42 – 58 5640
Leoncio Prado 1070 / Martines de Compañon 933

Universidad Científica del Perú
www.ucp.edu.pe

ACTA DE APROBACIÓN



Ing. Carmen Patricia Cerdeña del Águila. Dra
PRESIDENTE DEL JURADO



Blgo. Alvaro Tresierra Ayala, Dr.
MIEMBRO DEL JURADO



Ing, Marcos Paredes Riveros, M.Sc.
MIEMBRO DEL JURADO



Ing, Gustavo F. Gamarra Ramírez, M.Sc.
ASESOR

INDICE

| | |
|--|----|
| Capítulo I: Marco teórico | 10 |
| 1.1 Antecedentes del estudio | 10 |
| 1.2 Bases teóricas..... | 15 |
| 1.3 Definición de términos básicos..... | 20 |
| Capítulo II: Planteamiento del problema..... | 29 |
| 2.1 Descripción del problema..... | 29 |
| 2.2 Formulación del problema..... | 29 |
| 2.3 Objetivos..... | 30 |
| 2.4 Hipótesis..... | 30 |
| 2.5 Variables:..... | 30 |
| Capítulo III: Metodología | 31 |
| 3.1 Tipo y diseño de investigación..... | 31 |
| 3.2 Población y muestra..... | 31 |
| 3.3 Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos..... | 32 |
| Capítulo IV. Resultados | 36 |
| 4.1 Ubicación | 36 |
| 4.2 Información Hidrológica..... | 37 |
| 4.3 Plan de Vuelo..... | 37 |
| 4.4 Apoyo topográfico | 40 |
| 4.5 Toma fotográfica | 40 |
| 4.6 Procesado y cálculo | 40 |
| 4.7 Productos fotogramétricos | 42 |
| 4.8 Mapa de inundación | 44 |
| Capítulo V: Discusión, conclusiones y recomendaciones..... | 47 |
| 5.1 Discusión | 47 |
| 5.2 Conclusiones | 49 |
| Referencias Bibliográficas..... | 51 |

DELIMITACIÓN DE LA INUNDACIÓN DE LOS RÍOS NANAY, AMAZONAS E ITAYA SOBRE LA CIUDAD DE PUNCHANA UTILIZANDO DRONES, 2019

RESUMEN

El objetivo de la investigación consiste en delimitar la cota de inundación del distrito de Punchana mediante el levantamiento fotogramétrico utilizando drones, para delimitar una zona intangible denominada Línea de Creciente Ordinaria (LCO) ó faja marginal, Ley 29338. Se utilizó un dron marca Phantom 4.0 pro por su maniobrabilidad en espacios pequeños y reducido tamaño, con sensor RGB. Está diseñado para realizar rutas programadas con despegue y aterrizaje automático, controlado por radiofrecuencia en tiempo real y una cámara de 13 Megapíxeles. Con respecto al plan de vuelo, se realizó a 80 metros de altura y un traslape 60%. Complementado con el punto de control geodésico del SEHINAV de orden "0". Se utilizó el Datum de Referencia Horizontal WGS 84 (World Geodetic System 1984) con proyección UTM (Universal Transverse Mercator) zona 18S y de Referencia vertical el Modelo GEOIDAL EGM-96. Con las imágenes obtenidas y el punto de control se realiza la orientación de las imágenes, se comparan los pares estereoscópicos y se obtiene un modelo digital de elevaciones de la ciudad y una ortomosaico.

Los resultados indican que la cota establecida por el SENAMHI 117.00 msnm (84.85 m en el modelo geoidal) delimita el sector con peligro de inundación de muy bajo a nulo con el sector de peligro de inundación alto, conocido como inicio de la Faja Marginal o Línea de Creciente Ordinaria (LCO). Una de las causas de la inundación sobre el distrito de Punchana es la proliferación de cerca de 200 asentamientos humanos que se encuentran dentro del área vulnerable a este proceso, que cuando el río Nanay e Itaya entran a la época de máxima avenida (febrero a mayo) afectan a las familias ubicadas sobre dichos territorios. El área de la ciudad de Punchana con peligro de inundación bajo es de 329.84 Has que representa el 7.5% de toda la ciudad de Iquitos, es decir, gran parte urbano de la ciudad de Punchana se encuentra dentro de la faja marginal, que lo convierte en un problema social. El estudio sirve como base técnica para un determinar las áreas de tratamiento especial para las Autoridades pertenecientes al Sistema Nacional de Gestión de Riesgos y Desastres - SINAGERD.

Palabras claves: Inundación, Peligro de Inundación, Drones, Río Amazonas.

DETERMINATION OF FLOOD HAZARD OF IQUITOS CITY THROUGH DRONES SPACE MODEL USING

ABSTRAC

The objective of the investigation is to delimit the flood level of the city of Punchana through photogrammetric survey using drones or UAV, to delimit an intangible zone called Faja Marginal, Law 29338. A Phantom 4.0 pro drone was used for its maneuverability in small spaces and small size, with RGB sensor. It is designed to carry out scheduled routes with automatic takeoff and landing, controlled by radio frequency in real time and a 13 Megapixel camera. In the flight plan, flights were carried out at an altitude of 80 meters and an overlap of 60%. Complemented with the SEHINAV geodetic control point of order "0". The Horizontal Reference Datum WGS 84 (World Geodetic System 1984) with UTM projection (Universal Transverse Mercator) zone 18S and the vertical Reference Model GEOIDAL EGM-96 was used. With the images obtained and the control point, the orientation of the images is carried out, the stereoscopic pairs are compared and a digital elevation model of the city and an orthomosaic are obtained.

The results indicate that the elevation established by SENAMHI 117.00 masl (84.85 m in the geoidal model) delimits the sector with flood risk from very low to zero with the sector with high flood risk, known as the beginning of the Marginal Belt or Line Ordinary Crescent (LCO). One of the causes of flooding over Punchana district is the proliferation of about 200 human settlements that are within the area vulnerable to this process, which when the Nanay and Itaya rivers enter the peak season (February to May) addresses to families located on said territories. The area of the city of Punchana with low flood risk is 329.84 which represents 7.5% of the entire city of Iquitos, that is, a large urban part of the city of Punchana is located within the marginal strip, which makes it a social problem. The study serves as a technical basis to determine the areas of special treatment for the Authorities belonging to the National System for Risk and Disaster Management - SINAGERD

Palabras claves: Flood, Flood Hazard, UAV, Amazon River.

Capítulo I: Marco teórico

1.1 Antecedentes del estudio

Este artículo presenta el trabajo que se realiza cada fin de cuatrimestre para fomentar el desarrollo de competencias profesionales en los estudiantes de mantenimiento industrial, a través del diseño y desarrollo de un vehículo aéreo no tripulado (UAV o dron), con la finalidad de que sea utilizado como herramienta de inspección en el tema de mantenimiento predictivo, para detección y monitoreo de variables; tales como: concentraciones de monóxido de carbono, temperatura e imágenes termográficas mediante tecnología al alcance de los estudiantes. Para lograr este proyecto se toman en cuenta las competencias adquiridas por los alumnos, en las materias que cursan a lo largo de su carrera de Mantenimiento como son: electrónica analógica, electrónica digital, sistemas de automatización, máquinas y mecanismos [1].

En México, actualmente ha promovido el uso VANT en los sectores productivos, en especial en la actividad vitivinícola. Se concibe a la agricultura de precisión como una estrategia de manejo que incorpora las tecnologías de la información para mejorar el manejo de los cultivos. Tal es el caso de la vitivinicultura, donde cosechar uvas acordes con el tipo de vino que se desea producir representa todo un reto por cuanto a que la calidad de las mismas depende del contenido de azúcar y acidez, pero sobre todo de la gama de compuestos orgánicos que definirán a un vino como de calidad incluyendo antocianinas (productores de pigmentos) y polifenoles, entre otros. Es por ello que en los últimos años se ha promovido la aplicación de diversas técnicas de percepción remota con el fin de determinar la variación temporal, pero sobre todo espacial de tales compuestos en los viñedos, principalmente a partir de la determinación de diversos índices tanto relacionados con el estrés hídrico como con el vigor de la vegetación, la mayoría estimados a partir de imágenes satelitales. En el caso de la zona vitícola de Querétaro, la aplicación de estos métodos tiene severas restricciones debido principalmente a la presencia de nubes sobre todo durante el verano, cuando se presentan las etapas fenológicas de envero y maduración, que definen en última instancia la calidad de la producción. Por lo anterior, se promueve entre los

productores de uva la utilización de sensores multiespectrales instalados en UAVs con el fin de monitorear la condición de los viñedos, y con ello establecer oportunamente las estrategias de manejo que mejor favorezcan cosechar uvas con características físico-químicas de la mayor aptitud, para producir vinos de calidad [2] .

Los vehículos aéreos no tripulados (VANTs) con capacidad de comunicación y adquisición remota de imágenes y videos de alta resolución, constituyen una alternativa como herramienta para numerosas aplicaciones de interés agrícola, en complemento al uso de la tecnología satelital de baja resolución espacial y temporal. En adición, permiten complementar las limitaciones de la supervisión y captura de datos que manualmente demandan tiempo y recursos humanos. Una de las áreas que requiere de información parcelaria de variables que presentan gran variabilidad espacial y temporal es la agricultura de precisión, que consiste en la aplicación precisa y oportuna de los insumos agrícolas y riego, en el momento adecuado, en el lugar correcto de un cultivo y con la dosis óptima. Lo anterior, demanda primeramente del conocimiento de las variables que definen el desarrollo y productividad de los cultivos para la aplicación variable de insumos, en función de la variabilidad de dichas variables. Un aspecto importante en la agricultura de precisión es la detección de zonas diferenciadas de crecimiento “anormal”, en función de parámetros o valores específicos que definen el desarrollo deseado u óptimo, tales como vigor, madurez, o estrés. El uso de VANTs para estas tareas es crucial para definir zonas de intervención diferencial o con problemas de desarrollo. Entre los factores a determinar en aplicaciones agrícolas, además de las características del vehículo aéreo, es sin duda el tipo de sensor y cámara a ser utilizado. Existe una amplia gama de opciones de cámaras a utilizar que dependen de lo que se pretenda capturar y detectar. Esa diversidad tiene impacto en el peso final de carga útil del equipo y el tamaño, resolución, versatilidad y necesidad de almacenamiento de la cámara, entre otros. En este trabajo se presentan los resultados de las aplicaciones de los VANTs para el seguimiento espacial y temporal de variables de interés para realizar una agricultura de precisión [3].

Entre las más importantes se destacan:

- Seguimiento del desarrollo y crecimiento del cultivo.
- Estimación de parámetros del cultivo como biomasa, altura, diámetro y densidad de plantación.
- Detección y seguimiento de deficiencias nutricionales.
- Detección de patrones anormales del cultivo.
- Detección y seguimiento de la presencia de malas hierbas, enfermedades y plagas.
- Detección de las necesidades hídricas y seguimiento del riego.
- Estimación del rendimiento del cultivo.

Perdomo en el 2015, desarrollo un procedimiento detallado en la generación de puntos de apoyo terrestre, para corregir la planimetría y altimetría de imágenes captadas por drones (vehículos aéreos no tripulados). Se procedió al levantamiento de doce (12) vértices distribuidos en una superficie de 6 ha, ubicadas en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de Universidad Central de Venezuela, Maracay.

El control terrestre consistió en definir una serie de coordenadas, a través de observaciones realizadas con equipos GPS diferencial de alta precisión, partiendo de un punto de control base perteneciente a la Red Geocéntrica Venezolana (REGVEN), el cual fue trasladado a la zona de estudio, mediante un proceso de triangulación. La selección de los puntos de control, se efectuó usando como referencia una imagen de satélite de Google Earth. Se establecieron señales físicas sobre el terreno, y se realizaron las mediciones correspondientes utilizando el método de observación estática.

La exactitud para el vértice del control base fue de 3 mm en el eje X, Y (planimetría) y 4 mm en Z (altimetría), y para el caso de los puntos de control terrestre 2 mm para el eje X, Y y 2 mm para Z.

Los resultados obtenidos determinaron el control de calidad de los datos y su confiabilidad para ser utilizados en los procesos de corrección plani-altimétrico en imágenes tomadas por vehículos aéreos no tripulados [4].

En el campo de la hidráulica fluvial se han utilizado VANT para complementar la simulación fluvial bidimensional con el software Iber, en un tramo del río Santa Catarina en Monterrey, Nuevo León. Utilizando un modelo digital de terreno

(MDT) generado a partir de la obtención de una nube de puntos implementando un software fotogramétrico digital en base a fotografías aéreas obtenidas con un vehículo aéreo no tripulado (VANT). La nube de puntos se ajustó con puntos de control terrestres en diferentes tramos de ambas márgenes del río, referenciándolos con ayuda de un GPS con calidad topográfica. Lo anterior con el fin de ajustar la altura elipsoidal que se obtiene con el GPS integrado al VANT a la altura ortométrica oficial de INEGI. Posteriormente, se generó el MDT y se realizaron ajustes en cuanto la depuración de la vegetación presente en el río así como de la implementación de las columnas de los diferentes puentes vehiculares que cruzan este río. Con esto, se implementó el MDT en el modelo matemático para la simulación fluvial bidimensional y se ajustaron los parámetros de entrada para dicho software, entre ellos los gastos oficiales validados por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) para los periodos de retorno de 10, 20, 100, 200, 500 y 1000 años [5].

Distintas zonas dentro del Área Metropolitana de Monterrey (AMM) han sido identificadas como vulnerables a los fenómenos de remoción de masas haciendo uso de los VANT. Durante las últimas décadas el número de eventos por deslizamientos y caídos se incrementó, por lo que los casos se han vinculado al acelerado proceso de urbanización.

Con más de cuatro millones de habitantes, la metrópoli continúa densificándose o esparciéndose, con una constante presión sobre los georrecursos debido a los nuevos desarrollos que modifican la topografía, cambian el uso de suelo y por lo tanto interfieren en los flujos y rumbo de los escurrimientos, disminuyendo los niveles de infiltración y representando los factores detonantes para la generación de remoción en masa. Durante el 2015 y 2016 se modeló la inestabilidad de laderas utilizando un SIG que incorporó los factores topográficos (información de Light Detection and Ranging, LIDAR aéreo del 2010), geotécnicos, ambientales y de infraestructura del AMM, con este modelo se zonificaron los niveles de peligro por inestabilidad de laderas. La cartografía resultante sirvió para ubicar dentro de las zonas más peligrosas, algunos sitios de interés, ya que presentaban viviendas que, debido al manejo en la urbanización, se encuentran

ubicadas a unos metros de material rocoso expuesto. El objetivo fue obtener información de terreno para validar la información obtenida, por una parte, demostrar las modificaciones de uso de suelo para lo que se utilizaron las ortofotos obtenidas con un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) y por otro lado mejorar la información vertical de las laderas expuestas con el levantamiento LIDAR terrestre al obtener información detallada de los echados utilizando Modelos Digitales de las laderas expuestas. Los resultados preliminares muestran que las zonas de riesgo pueden ser definidas con mayor precisión y facilidad con la combinación de LIDAR y fotogrametría y es hasta un 94% precisa comparada con la información de LIDAR terrestre, y concluyendo la importancia de la estandarización metodológica para la obtención de datos 3D y modelado geomorfológico de las laderas [6].

En los Estados Unidos utilizaron el Drone para determinar las características biométricas de los Bosques, fue realizado en la isla Guadalupe que se localiza en el océano Pacífico a 260 km al oeste de Baja California, la cual es una isla oceánica de origen volcánico que tiene presencia de flora y fauna endémica, que han estado bajo los efectos de amenazas de especies introducidas, programas de manejo e incendios, provocando variaciones temporales en la extensión y densidad de la cobertura vegetal. Estudios previos de vegetación aplicando técnicas de percepción remota se han enfocado a medir estas variaciones sobre el bosque de ciprés de Guadalupe (*Cupressus guadalupensis*), subespecie endémica de la isla que se ha adaptado a las zonas de neblina en las partes altas de la isla. Estos estudios se han basado en imagen satelital de alta resolución y no abordan la estructura vertical de la vegetación ni son capaces de captar los jóvenes renuevos que se incorporan al bosque. En este trabajo exploramos el uso de un dron de ala fija dotado de cámaras RGB e infrarrojo para mapear 1000 ha del bosque de Ciprés de Guadalupe. Durante los vuelos ejecutados en julio 2016, se colectaron cerca de 2500 fotos por cada cámara con una distancia de muestreo del suelo de ~ 6.5 cm/pixel. Para el posicionamiento, se colocaron 19 puntos de control terrestre ubicados con GPS geodésico. El propósito del proyecto es apoyar medidas de conservación, midiendo la extensión del bosque desde una perspectiva más cercana al terreno, probar técnicas de conteo de

árboles y analizar la estructura vertical de la vegetación a través de la reconstrucción 3D por fotogrametría. A partir de las nubes de puntos extraídas, se calcularon modelos la altura de dosel, donde se puede apreciar recuperación del bosque en la incorporación de las nuevas cohortes de cipreses después de los efectos de programas de manejo iniciados en 2003 y de un incendio en 2008 [7].

1.2 Bases teóricas.

Existe un desarrollo tecnológico con avances significativos en torno al uso de los sensores remotos con fines civiles o ingenieriles. A raíz de los resultados obtenidos en ámbitos de seguridad o bélicos se inicia la carrera para encontrar aplicaciones con fines diferentes como el civil. El uso de plataformas aéreas fue en gran medida uno de los mayores logros para colocar un sensor y desde ahí obtener información. La placa o el film fotográfico fue el tipo de sensor remoto por excelencia. Luego se usaron los aviones o globos para aerotransportar los sensores, a partir de lo que se desarrolló la percepción remota. Con la adquisición de datos obtenidos de las fotografías que se pudieron tomar desde estas plataformas se pudo identificar el gran potencial de la fotografía. A partir de este impulso, pronto fue posible obtener imágenes desde el espacio gracias a las misiones espaciales lanzadas principalmente por Estados Unidos entre las que destacaron Mercury, Gemini y Apolo a partir de 1961. El Apolo 9 realizó la primera experiencia de fotografía orbital multiespectral para el estudio de los recursos terrestres. Estas experiencias fueron continuadas en misiones posteriores (Skylab, Apolo-Soyuz Test Project, etc.).

Planeación de vuelo y adquisición de imágenes

Esta etapa consiste en definir la región de interés y los parámetros de vuelo para la adquisición de las imágenes. Las plataformas UAV con un sistema de navegación cuentan, en su estación de control en tierra, con un software específico para realizar esta etapa. Independientemente del software y del tipo

de plataforma UAV (tipo avión o tipo helicóptero) los pasos que se siguen para la planeación son básicamente los mismos.

En un vuelo en modo autónomo, la planeación inicia con la definición de una región de interés, generalmente dibujada sobre un mapa base georreferenciado (por ejemplo, Google Earth®). Para el caso de un vuelo en modo manual (maniobrado con control remoto), la definición de la región dependerá de la dirección dada a la plataforma aérea con el control remoto por parte del operador de vuelo.

Una vez se define la región de interés, es necesario ingresar los parámetros de vuelo y a partir de esta información el software calcula automáticamente las líneas de vuelo. Los parámetros de vuelo requeridos son: la altura de vuelo o alternativamente el GSD (Ground Sample Distance) y los porcentajes de traslape entre imágenes (longitudinal y transversalmente). Para el caso de sistemas UAV los porcentajes de traslape considerados apropiados varían entre 60 – 80 % o más, de acuerdo al nivel de detalle requerido. En el caso de la altura de vuelo que está relacionada con el GSD (medido en cm/pixel), alturas grandes generan GSD grandes (menor resolución), mientras que alturas de vuelo bajas generan GSD pequeños (mayor resolución). En la generación de modelos 3D detallados generalmente se requiere de alturas de vuelo bajas y de altos porcentajes de traslape [8].

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES UAV

El uso de sistemas UAV para fotogrametría o “Fotogrametría UAV” describe las plataformas de medición fotogramétrica que son operados remotamente, de manera autónoma o semiautónoma sin un piloto, así como el procesamiento de las imágenes tomadas con estas plataformas. En la fotogrametría UAV se identifican dos productos cartográficos tradicionales: los modelos digitales de superficie y los ortomosaicos georreferenciados [9] [10].

RECONSTRUCCIÓN DE ESCENAS 3D

Luego de la etapa de orientación de las imágenes el siguiente paso corresponde a la reconstrucción 3D de la escena registrada. Esta reconstrucción se hace a

partir de la relación geométrica y radiométrica de las imágenes y tiene como producto final un modelo de nube de puntos del cual se genera un modelo digital de elevaciones (DSM). En fotogrametría tradicional la reconstrucción se da apoyada en las imágenes, en los datos de orientación y de calibración de la cámara y, en los puntos de control en el terreno. Como escenario opuesto, en el área de visión por computador se han desarrollado estrategias que permiten la reconstrucción 3D a partir de conjuntos de imágenes que no cuentan con ningún dato adicional asociado [11] [12].

Considerando que la fotogrametría UAV presenta características asociadas a estas dos áreas, se pretende hacer una revisión de las estrategias empleadas para la reconstrucción de escenas 3D a partir de imágenes UAV. El flujo de trabajo consiste de tres etapas claramente identificadas en la bibliografía y que corresponden a (i) la generación de puntos 3D o nube de puntos dispersa, (ii) la densificación de la nube de puntos y (iii) DSM y ortorrectificación.

GENERACIÓN DE PUNTOS 3D

La estrategia para la generación de puntos 3D consiste en determinar las coordenadas 3D de los puntos característicos extraídos en la primera etapa de procesamiento. En el área de visión por computador se presenta una estrategia llamada 'Structure from Motion' (SfM). Esta estrategia basada en el ajuste en bloque, se diferencia de la fotogrametría estereoscópica en que la geometría de la escena y los parámetros de la cámara son calculados sin necesidad de tener datos iniciales, es decir, no requiere de una calibración previa de la cámara ni de GCPs. En lugar de ello, la estrategia se basa en la redundancia obtenida de múltiples imágenes con altos porcentajes de traslape [13].

DENSIFICACIÓN DE NUBE DE PUNTOS

Esta etapa consiste en extraer una mayor cantidad de puntos 3D de la escena que complementa la nube de puntos dispersa generada en la etapa anterior. Las estrategias empleadas en esta etapa hacen parte de lo que se considera como técnicas de correlación de múltiples imágenes o Multi-image matching.

Algunas estrategias como la de Barazzetti, Scaioni y Remondino (2010) [14], basadas en la técnica llamada GC3 (Geometrically Constrained CrossCorrelation) o MIGC3 (Multi-Image Geometrically Constraint Cross-Correlation) [15], emplean la nube de puntos dispersa para generar un modelo digital del terreno aproximado. La estrategia consiste en seleccionar una imagen base central y dos imágenes de búsqueda adyacentes. De la imagen base se identifica un punto característico que se proyecta sobre el modelo del terreno aproximado y se establece una altura máxima y una mínima. Estos tres puntos (punto máximo, mínimo y del terreno) son reproyectadas a las imágenes de búsqueda, definiendo la geometría epipolar aproximada en estas imágenes. Finalmente sobre esta geometría epipolar se identifican los puntos homólogos, y a su vez se determina el valor de la nueva altura en el terreno. Marenchino (2009) presenta un algoritmo de filtrado llamado Self-tuning Standard deviation Median Filter (S2MF) para la edición de la nube de puntos. Esta estrategia es generalmente empleada para filtrar DSM generados con técnicas Lidar [16].

Otra estrategia corresponde a una técnica llamada estereopsis de múltiples vistas (multi-view stereopsis) [17]. La técnica emplea las correspondencias extraídas y expande estos puntos a manera de regiones dentro de las que determina las correspondencias de píxeles vecinos [18]. Esta técnica ha sido implementada en el software PMVS2 (Patch-based Multiview Stereo) el cual toma un conjunto de imágenes y los parámetros de la cámara para reconstruir la estructura 3D de la escena registrada, descartando estructuras no rígidas o en movimiento [17].

Hirschmuller (2005, 2008, 2011) presenta un método llamado Semi-Global Matching (SGM) para la generación de nubes de puntos densas. La estrategia se basa en la comparación de píxeles a través de un concepto denominado Mutual Information, que depende de las diferencias de entropía entre imágenes [19]. La entropía que es una medida de la cantidad de información requerida para describir una señal, en imágenes está asociada proporcionalmente al contraste presente radiométricamente [22], por tanto, en píxeles homólogos las diferencias de entropía serán mínimas. En ese sentido la estrategia se encarga de establecer la correspondencia de cada uno de los píxeles de las imágenes, para la

generación de una nube de puntos densa. Haala presenta un algoritmo basado en el Semi-Global Matching de Hirschmuller con algunas consideraciones adicionales [23].

Hirschmüller y Bucher (2010) presentan una evaluación de los modelos digitales de elevación de zonas urbanas generados a partir de la nube de puntos del Semi-Global Matching [24] . En esta investigación se concluye que la calidad de los modelos digitales generados a partir de imágenes aéreas, son comparables a los generados por un escáner laser aéreo. Por otra parte Gehrke et al., (2010) establece que la estrategia de Semi-Global Matching es comparable con la tecnología LiDAR, en la medida en que se pueden obtener modelos digitales de elevación de alta precisión generados a partir de nubes de puntos de alta densidad.

MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES Y ORTORECTIFICACIÓN

La etapa final en el procesamiento de imágenes tomadas con sistemas UAV o fotogrametría UAV consiste en generar un modelo digital de elevaciones o de superficie (DSM) y un ortomosaico de la escena registrada. Para la generación de estos modelos la nube de puntos debe pasar por una triangulación y rasterización. Una estrategia muy comúnmente empleada es la triangulación de Delaunay, en la que se genera una red irregular de triángulos (TIN) de la que son interpoladas los valores de altura para la generación de un archivo raster. Esta estrategia es igualmente empleada en la reconstrucción de superficies a partir de nubes de puntos obtenidas con escáner laser terrestre [25]. Por su parte, en la generación del ortomosaico, las imágenes individuales son rectificadas a partir del modelo de elevaciones, eliminando la distorsión asociada al relieve. Este proceso consiste en proyectar cada pixel de la imagen sobre el modelo de elevación para determinar el valor de altura, este valor es empleado para re proyectar sobre la imagen la nueva posición del pixel. La proyección y reproyección de los pixeles de la imagen se realiza con las ecuaciones de colinealidad. Finalmente, todas las imágenes rectificadas son unidas formando un mosaico.

1.3 Definición de términos básicos.

Distancia focal

La distancia focal es el espacio entre el plano de la imagen y el plano de la óptica; se mide en milímetros y varía en función del tipo de cámara. Así, mientras en una réflex de 35 mm está en rangos de 28 a 85 mm, para las ópticas más comunes en una compacta digital se pueden encontrar valores habituales de entre 7 y 32 mm. El plano de la imagen es la superficie del interior de la cámara donde se concentra la luz que entra por el objetivo y bien puede ser el sensor en las cámaras digitales o la película en las cámaras analógicas. La distancia focal va desde el plano hasta el diafragma del lente. La distancia focal se relaciona con el ángulo de visión en una relación inversa. Un valor bajo implica un ángulo de visión amplio; uno alto, un ángulo de visión reducido (**Figura 1**) [26].

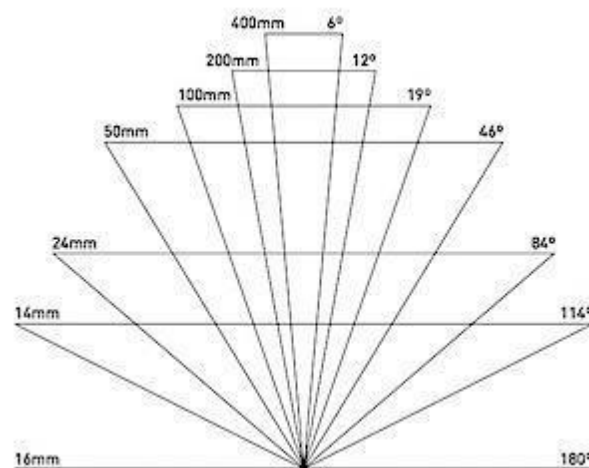


Figura 1 Relación entre distancia focal y ángulo de visión

Sensor

El sensor se encuentra alojado en el cuerpo de la cámara. En las cámaras analógicas es la película que captura la luz que pasa tras el lente y que se mueve para tomar una nueva fotografía. En el caso de las cámaras digitales el sensor es un elemento fijo donde se proyecta la imagen que es guardada en el dispositivo de almacenamiento. Nos concentraremos en el sensor de la cámara digital. El sensor es un chip compuesto de celdas que son sensibles a la luz, cada celda en el sensor corresponde a un pixel de resolución. De acuerdo con la tecnología utilizada los sensores pueden ser CCD (Charged Coupled Device),

que es el más común en las cámaras, o CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Ambos funcionan de manera similar en cuanto a que captan la luz que viene del objetivo y lo traducen a un valor numérico. La diferencia entre ellos es que los sensores CCD son más sensibles a la luz, por lo que crean imágenes de mayor calidad, pero su consumo de energía es alto comparado con los sensores CMOS [26].

Fotografía e imágenes digitales

La información digital es toda aquella representada por valores numéricos discretos basados en un sistema binario. Comparada con la información en forma analógica, la digital es una representación fiel de la información original sin ninguna degradación de la misma en copias subsecuentes. Por el contrario, y debido a que el número de datos que la compone es infinito, es imposible reproducir fielmente la información analógica, por lo que en copias sucesivas se va deteriorando o perdiendo parte de la misma.

En una fotografía digital la imagen reproduce con tonos continuos la realidad. Si se hace un acercamiento a la misma, se pueden encontrar los elementos que la componen, los píxeles, derivados de un análisis numérico de la luz que hace el sensor al captar la escena. En digital, los archivos de imágenes se pueden almacenar físicamente en dos formatos: a. Imágenes vectoriales

b. Imágenes de mapas de bits

Las imágenes de mapas de bits están compuestas por pequeños puntos que contienen los valores que representan una característica de la imagen. En el caso de los mapas de bits obtenidos de un equipo fotográfico, se refiere a la luz captada por el sensor (**Figura 2**). Los conjuntos de puntos constituyen la imagen y cada uno de estos elementos se denomina pixel (picture element). Cada pixel posee tres características:

1. Su forma cuadrada
2. Su posición relativa al resto de los píxeles dentro de un mapa de bits
3. El valor que representa el color dentro de la composición

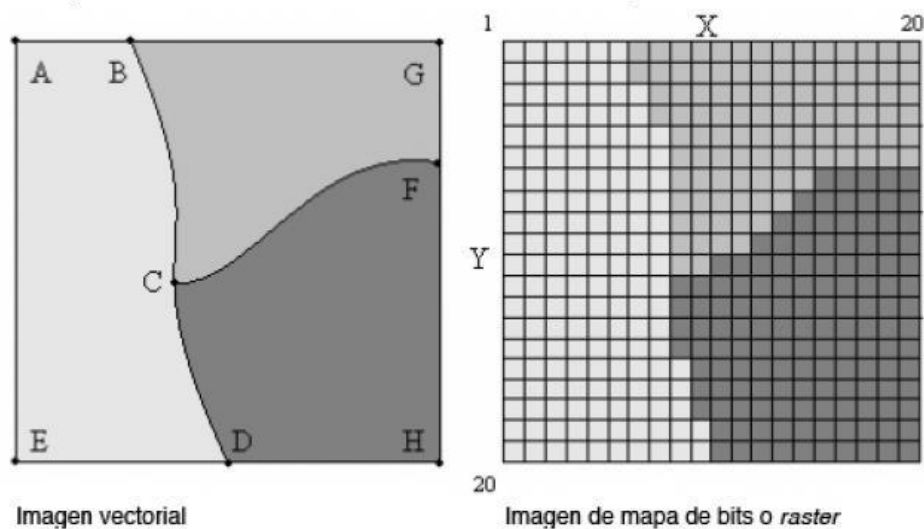


Figura 2. Imagen entre distancia focal y ángulo de visión.

Cartografía

La cartografía se refiere a un conjunto de técnicas, arte y ciencia con el objetivo de crear mapas temáticos o cartas, su interpretación y manejo de información relacionada. Un aspecto que resalta de esta técnica es la posición de los rasgos a una cierta escala pero sobre todo en un sistema de coordenadas tal que puedan ser colocadas de manera ordenada en un plano real sobre la superficie terrestre, en específico las zonas agrícolas. Conformar información precisa sobre el volumen y composición de la geografía, ubicación de zonas de interés y clasificación de esas zonas. Para interpretar la superficie de la tierra se usan técnicas como mapas, esferas o sistemas de georreferenciación. Con la tecnología satelital se facilita la confección de mapas. El uso de los satélites permite a los ingenieros diseñar, operar y manejar estructuras como puentes, sistemas de riego y zonas agrícolas con gran exactitud. Este mismo principio puede aplicarse con productos generados a partir de un DRON.

Geoide, elipsoide y datum

Uno de los principales logros de la georreferenciación ha sido generar su propio sistema. En la actualidad es muy fácil trazar una ruta de viaje para todos los sistemas de transporte, pero no siempre fue así. Por ejemplo, solo se pudo trazar una ruta en mar abierto hasta que se dispuso de cartas de navegación.

Durante mucho tiempo fue un obstáculo poder alejarse de las costas por completo y aventurarse en el océano, hasta que se pudo obtener una longitud geográfica. Para poder hablar en la actualidad de una carta topográfica con sus tres coordenadas geográficas se han tenido que desarrollar una serie de conceptos y convencionalismos que permitan tener un punto de georreferenciación, como el geoide, el elipsoide y el datum. Los primeros dos conceptos establecen una línea de referencia y el tercero, un punto. Referencias tales como altura sobre el nivel del mar, GRS80 o NAD 27 tienen que ver con esos tres términos.

i. Geoide

Un geoide es la aproximación de la superficie terrestre en una línea continua que representa el promedio de montañas, cañones y en general los accidentes topográficos del planeta. En consecuencia, un elipsoide se refiere al modelo que mejor aproxime el geoide y puede ser convencional para ciertas regiones; uno de los más usados es el de Clark (1866). En función de un elipsoide es que se crean también puntos fijos, que son tomados como base para la georreferenciación. En el caso de México uno de los más usados es el Datum del Norte América de 1983 (NAD 83), que fue colocado con base en el elipsoide GRS 80 (Geodetic Reference System de 1980).

ii. Elipsoide

Para poder georreferenciar un rasgo de la superficie y relacionarlo con su entorno será necesario usar sistemas universales de localización geográfica. Una de las técnicas a las que se recurrió fue suavizar la superficie de la tierra en una línea continua, a la que se denominó geoide. Los modelos geoide y elipsoide se utilizan en los sistemas de posicionamiento global por satélite actuales (GPS), tal como la constelación NAVSTAR.

Los sistemas de GPS utilizan el modelo elipsoide como línea de base para medir la altura de un lugar determinado en la Tierra. Sin embargo, algunos sistemas actuales de GPS utilizan el modelo geoide para representar mejor las elevaciones. Las medidas exactas son de mayor utilidad para los topógrafos,

cuyo trabajo es desarrollar la mayor cantidad posible de medidas precisas de la superficie de la Tierra. En la **Figura 2.1** la línea azul es una representación idealizada de la tierra, con los picos en las montañas y en el fondo el mar. La línea naranja es la representación ideal de referencia a partir de la cual se mide la altura que se quiera representar [26].

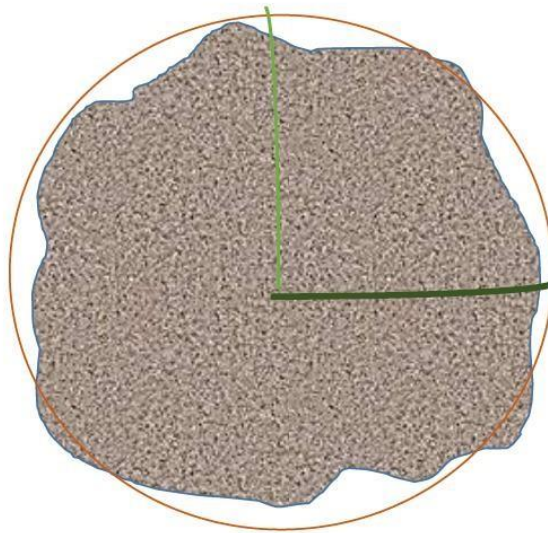


Figura 3. Construcción de un geoide de la tierra [26].

iii. Datum

En la necesidad de mejores modelos, evolutivamente se han generado numerosos elipsoides para cada zona que se desea cartografiar con la mayor precisión. En este sentido los DATUM han resultado muy útiles, ya que cada uno presenta variaciones significativas que oscilan entre centímetros y metros comparativamente para una misma coordenada con diferente sistema de referencia. El datum se define como el punto tangente al elipsoide y al geoide, donde ambos son coincidentes. Existe un punto llamado “fundamental” en el que el elipsoide y la tierra son tangentes, este punto “fundamental” se le define por sus coordenadas geográficas longitud y latitud, además del acimut de una dirección con origen en el punto de “fundamental” [26].

UBICACIÓN DE PUNTOS DE APOYO

Los puntos de apoyo son puntos del terreno que pueden ser identificados claramente en la fotografía, de estos puntos de apoyo se deben conocer sus

coordenadas y estas deben estar referidas a una proyección cartográfica de referencia. Los puntos de apoyo servirán para dar la orientación del modelo estereoscópico por lo que se requiere que tengan una buena precisión en la medición de los mismos, para obtener una restitución fotogramétrica rigurosa. Por lo anterior, es importante su elección, distribución y correcta determinación de sus coordenadas.

SOFTWARE

Para trabajar con precisión y exactitud, necesitas siempre un buen Software para que te dé estos resultados. En el presente estudio se utilizó el Agisoft Photo Scan Pro [27].

DRONE O VEHICULO AEREO NO TRIPULADO (VANT)

Un vehículo aéreo motorizado que no lleva a bordo a un operador humano, utiliza las fuerzas aerodinámicas para generar la sustentación, puede volar autónomamente o ser tripulado de forma remota, que puede ser fungible o recuperable, y que puede transportar una carga de pago letal o no. No se consideran UAV a los misiles balísticos o semibalísticos, misiles crucero y proyectiles de artillería» [28].

VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAV)

Los vehículos aéreos no tripulados o sistemas UAV, también llamados UVS (Sistema de vehículo no tripulado) o UAS (Sistema de aeronave no tripulada), son aeronaves que vuelan autónomamente a través de un sistema de piloto automático que es monitoreado desde un centro de control en tierra (Everaerts, 2008) [29]. En el Committee of Standards “Lexicon of UAV/ROA Terminology AIAA (2004) (como se citó en Chiabrando et al., 2011, p.697) se define los UAV como “aeronaves que están diseñadas o modificadas para no llevar un piloto humano y que son operadas a través de comandos electrónicos iniciados por el controlador de vuelo o por un sistema de control de gestión de vuelo autónomo a bordo que no requiere la intervención del controlador de vuelo”.

MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE

El modelo digital de superficie (DSM) representa la información de altura de la superficie de la Tierra asociada a un sistema de referencia global, de todos los elementos registrados en la escena, es decir considerando las alturas de edificaciones, vegetación y demás objetos presentes en la superficie [30]. Estos DSM son empleados para la generación de modelos digitales del terreno (DTM), que son aquellos modelos en los que se han eliminado las elevaciones que no corresponden al terreno como también para la producción de ortoimágenes reales, el reconocimiento automático y extracción de edificios, el análisis de redes de comunicación, el modelamiento urbano, la simulación de desastres naturales, la planeación de vuelos, los estudios ambientales y las visualizaciones fotorrealistas en 3D, entre otras actividades [31] [32].

MOSAICO

Por otra parte, un mosaico corresponde al conjunto de imágenes tomadas desde una o varias cámaras, que presentan áreas de traslape entre sí, y que son unidas y combinadas en una sola imagen para ampliar el rango de visión de la escena [33]. Cuando el mosaico es corregido de las distorsiones causadas por el relieve del terreno y los objetos en él, se denomina ortomosaico.

PROCESAMIENTO DE IMAGENES

En el procesamiento de imágenes UAV para la generación de estos productos cartográficos, se combinan estrategias empleadas en fotogrametría tradicional y en visión por computador. Por tanto, se cuenta con una diversa cantidad de métodos. A pesar de que algunas investigaciones establecen que emplear software comercial no es apropiado [34], debido que estos están basados en fotogrametría tradicional, y a que en la fotogrametría UAV no se presentan las condiciones estereoscópicas normales que esta requiere, concluyen que las imágenes tomadas con sistemas UAV son aptas para ser procesadas por diferentes softwares fotogramétricos, incluyendo aquellos que son considerados como tradicionales [35].

En resumen el procesamiento llevado a cabo luego de la captura de datos se caracteriza por tres etapas principales: primera, la configuración del bloque fotogramétrico, en donde el objetivo es determinar la información que recrea la escena en el momento de la captura de las imágenes (datos de orientación exterior e interior de la cámara y los puntos que relacionan las imágenes entre sí); segunda, la reconstrucción 3D de la escena a partir de la extracción de una nube de puntos, y tercera, la generación del modelo digital de superficie y la ortorrectificación de las imágenes a partir de este.

CONFIGURACIÓN DEL BLOQUE FOTOGRAMÉTRICO

En un levantamiento de fotogrametría aérea con sistemas UAV, el conjunto de datos que conforman un bloque fotogramétrico corresponde a las imágenes capturadas en un vuelo y los parámetros que relacionan a estas entre sí (el traslape) y con la escena registrada (la posición y orientación). Es decir, el bloque fotogramétrico relaciona el espacio imagen y el espacio terreno. A continuación, se presentan las estrategias empleadas para determinar la información que define un bloque fotogramétrico:

EXTRACCIÓN Y CORRELACIÓN DE CARACTERÍSTICAS

Algunos autores definen a este proceso como “la extracción de características de interés en dos o más imágenes del mismo objeto y de la correlación (matching) de estas características en imágenes adyacentes”. Es decir, consiste en identificar y relacionar características similares (homólogas) entre imágenes en áreas comunes o de traslape. La relevancia del proceso de extracción y correlación se debe a que a partir de estas características extraídas es posible establecer la orientación relativa entre imágenes, la geometría interna de la cámara y la estructura tridimensional de la escena registrada [36].

Para la extracción de características se puede identificar dos tipos de algoritmos, los llamados operadores de puntos de interés o detectores de puntos/bordes, empleados principalmente en fotogrametría, y los detectores de región, empleados en visión por computador [37].

CALIBRACIÓN DE CÁMARAS Y ORIENTACIÓN DE IMÁGENES

La calibración de la cámara y la orientación de imágenes son dos requisitos fundamentales para la reconstrucción métrica desde imágenes en las áreas de Fotogrametría y Visión por Computador [38]. En la calibración geométrica de una cámara el objetivo es determinar los parámetros intrínsecos de esta, tales como la longitud focal, el punto principal de la imagen y las distorsiones de las lentes de la cámara. Mientras que en la orientación de imágenes el objetivo es determinar los parámetros extrínsecos, que son la posición (coordenadas en un sistema de referencia) y la orientación (ángulos de inclinación) de la cámara en el momento de la captura de cada imagen.

Capítulo II: Planteamiento del problema.

2.1 Descripción del problema.

La inundación, es uno de los fenómenos más comunes en la Amazonía, que afecta a las principales ciudades ubicadas en la selva baja, la dinámica de los ríos se ha incrementado ante el cambio climático entre ellas los procesos de inundación, sequías, desplazamientos laterales y formación de meandros como los principales. Iquitos con 468,316 habitantes es la más grande ciudad de la Amazonia Peruana rodeada por los ríos Nanay, Itaya y Amazonas, ciudad vulnerable a la dinámica Amazónica y que está conformada por cuatro (04) distritos. Debido a la falta de espacio en los últimos años se ha producido un crecimiento descontrolado del distrito de Punchana por la proliferación de asentamientos humanos que se ubican en sectores pertenecientes al cauce de los ríos que en época de creciente ocasiona impactos negativos sobre la población. Es de mucha importancia conocer el umbral de inundación de tal forma que se convierta como un área intangible para la población.

En vista de ello, la presente investigación propone a través de un modelo digital de terreno usando drones, la sectorización del umbral de inundación de los ríos colindantes al distrito de Punchana, que servirá de línea base para la priorización de proyectos y la gestión de riesgos de desastres.

2.2 Formulación del problema.

2.2.1 Problema general.

Desconocimiento del área inundable del distrito de Punchana como consecuencia de la dinámica y/o crecimiento de los ríos Nanay e Itaya

2.2.2 Problemas específicos.

¿Cuál es el umbral del área inundable del distrito de Punchana como consecuencia del crecimiento de los ríos Amazonas, Nanay e Itaya?

¿Cuáles son las causas de la inundación de los ríos circundantes al distrito de Punchana?

¿Cuál es la cantidad de infraestructura vulnerable al proceso de inundación en el distrito de Punchana?

2.3 Objetivos.

2.3.1 Objetivo general.

Delimitar la Inundación de los ríos Nanay, Amazonas e Itaya sobre el distrito de Punchana utilizando drones.

2.3.2 Objetivos específicos.

Determinar el umbral del área inundable del distrito de Punchana como consecuencia del crecimiento de los ríos Amazonas, Nanay e Itaya mediante el uso de drones.

Determinar las causas más frecuentes de la inundación de los ríos circundantes al distrito de Punchana.

Determinar la cantidad de infraestructura vulnerable al proceso de inundación en el distrito de Punchana.

2.4 Hipótesis.

¿Se puede delimitar la Inundación sobre el distrito de Punchana usando el modelo digital de terreno obtenido con información proveniente de un drone?

2.5 Variables:

2.5.1 Identificación de las variables.

Independiente

Modelamiento Digital de Terreno con drone.

Dependiente

Área inundada y límite de la inundación del distrito de Punchana

2.5.2 Definición conceptual y operacional de las variables.

Los vuelos de drones proporcionan información detallada y precisa del proceso de inundación en la ciudad de Iquitos, nos permite delimitar el cauce del río y sus desplazamientos laterales producto de la dinámica fluvial.

2.5.3 Operacionalización de las variables.

| Variable | Conceptual | Operacional | Indicadores |
|----------------|--|---|-----------------------------|
| Drones | Los vuelos de drones proporcionan una información detallada de la dinámica fluvial entre ellas la inundación de la ciudad. | Tener información detallada del área o zona vulnerable e intangible para uso poblacional. | Vuelos de drone |
| Área Inundable | | | Modelo Digital de Elevación |
| | | | Km ² |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Capítulo III: Metodología

3.1 Tipo y diseño de investigación.

El presente trabajo será de del tipo de Investigación Experimental y el diseño es descriptivo.

3.2 Población y muestra

Población

Está constituida por la población del distrito de Punchana.

Muestra

Está representada por la población afectada en los sectores inundables del distrito de Punchana, es decir, los 200 asentamientos humanos ubicados en la zona de interacción entre los ríos Nanay e Itaya y el distrito de Punchana.

3.3 Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

3.3.1 Técnica de recolección de datos

Para la técnica de recolección de datos emplearan fuentes secundarias con la revisión de documentos, informes, publicaciones, libros sobre el tema a investigar, se complementará con el uso de información primaria básicamente con el uso de encuestas a través del cuestionario.

3.3.2 Instrumentos de Recolección de Datos

El instrumento que se empleará para la recolección de datos será el cuestionario, mapas, imágenes satelitales entre las principales.

3.3.3 Procedimiento de Recolección de Datos

3.3.3.1 Obtención de Imágenes fotográficas

En gabinete

Identificación de la zona el google earth (en este paso se definirá que modelo de drone se utilizará, en función a la escala requerida y a la geomorfología del lugar.

Especificaciones del proyecto

Qué tipo de proyecto es (corredor o área)

Cuál es el marco de referencia horizontal (datum)

Cual es al marco de referencia vertical (datum vertical)

Cuál es el GSD de la ortofoto (Ground Sampling Distance)¹ Cuál es la precisión horizontal de la ortofoto

Cuáles son los requerimientos del MDS

¹ Definición: El GSD (Ground Sampling Distance) es la distancia entre dos centros de píxeles consecutivos medidos en el suelo. Cuanto mayor sea el valor de GSD de la imagen, menor será la resolución espacial de la imagen y los detalles menos visibles. *Fuente:* <https://support.pix4d.com>

La resolución, es directamente proporcional al número de píxeles que posee por cada fotografía. Nuestra cámara/sensor tiene una resolución de 24,3 MegaPíxeles, lo que quiere decir que tiene 24,3 millones de píxeles por cada imagen que toma. Las fotografía capturadas por nuestro sensor tiene una resolución de 6000 píxeles ancho y 4000 píxeles de alto.

Cuál es la precisión vertical del MDS

Planificación de la misión

Crear mapa de fondo y añadir capas opcionales

Definir zona de la misión y de zonas a evitar

Definir GSD, la altura y la superposición

En la oficina o en el campo

Planificación del vuelo

Calcular y planificar varios vuelos para una misión

En campo

Distribución y georreferenciación de los puntos de apoyo fotogramétrico (GCP) antes del vuelo

Definir la dirección del viento, la ubicación del despegue, y la ubicación del despegue y aterrizaje

Monitoreo del vuelo

Supervisar el vuelo

Fin del vuelo

Post procesamiento

Software de fotogrametría

Imágenes

Orientación externa

GCP

Parámetros de la cámara

Resultados

Modelo Digital de Superficie MDS

Nubes de Puntos

Curvas de nivel

Orto fotos

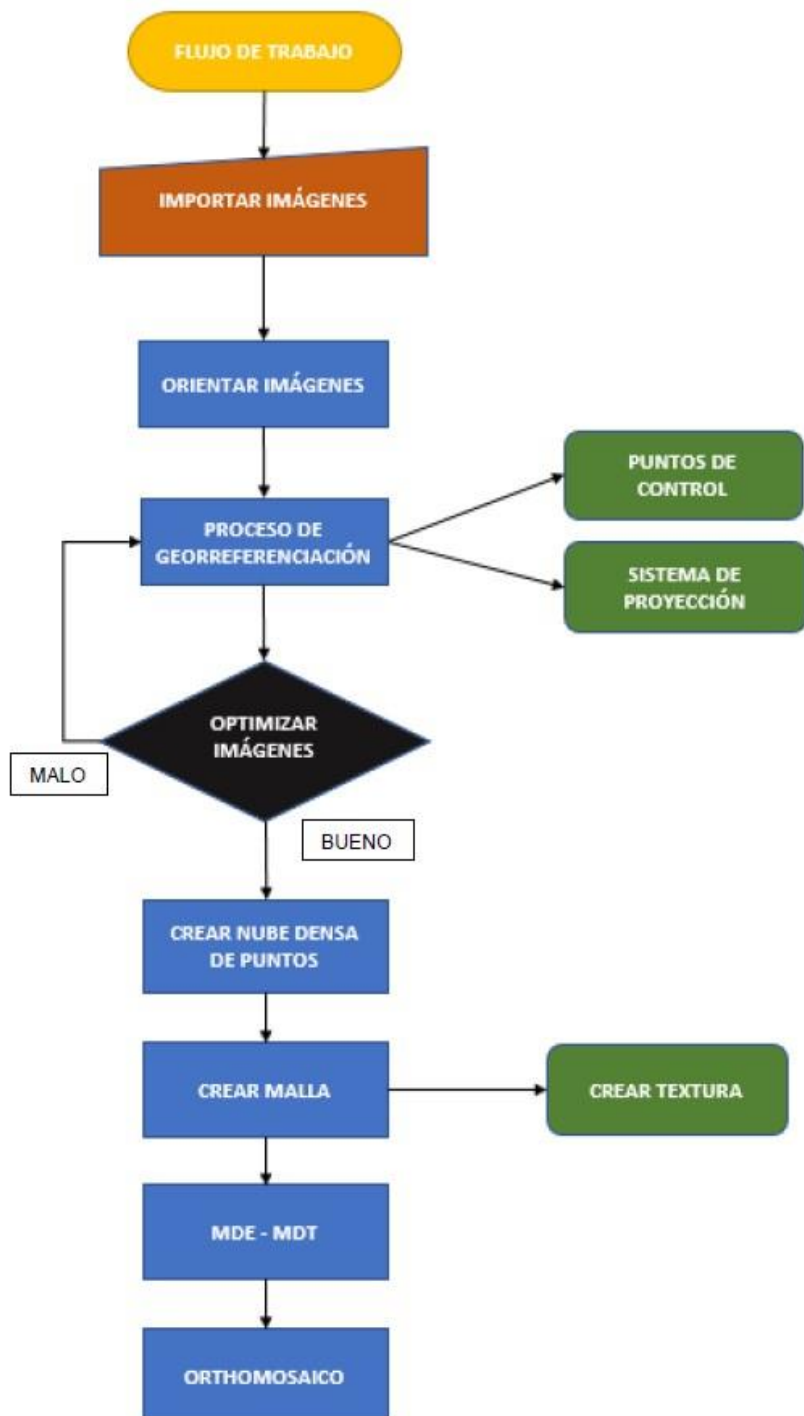


Figura 3. Esquema de ejecución del Modelamiento Digital de Terreno utilizando dron.

3.3.3.2 Identificación de zonas de vulnerabilidad de inundación

Para identificar el límite del sector inundable se utilizará las imágenes provenientes del dron realizada por la Universidad Científica del Perú por medio del proyecto drones. Se procesará con el software MAP PLANNING, AGLISOFT y ARCGIS. Para el diseño de planos empleará el Autocad versión 2019 y para realizar otros cálculos se empleará el programa Excel versión 2010. Asimismo, se utilizará en parte la metodología de Soria-Díaz, H. (21), que presenta en su Estudio Riesgo de Inundación de la Ciudad de Punchana.

3.3.3.3 Cuantificación de las construcciones y asentamientos humanos en las áreas de inundación.

Se realizará una cuantificación de los Asentamientos Humanos ubicados en el distrito de Punchana afectados por el proceso de inundación.

3.4 Procesamiento y análisis de datos.

La información obtenida de los cuestionarios se procesará en el programa Arcgis 10.2 22 y los resultados obtenidos se presentan en un plano a escala 1/5000 de la zona urbana del distrito de Punchana.

Capítulo IV. Resultados

4.1 Ubicación

El área de estudio está determinada por el distrito de Punchana con una población de 75 210 habitantes, Está establecida en la Gran Planicie y rodeada por los ríos Amazonas, Nanay e Itaya y el Lago Moronacochoa.

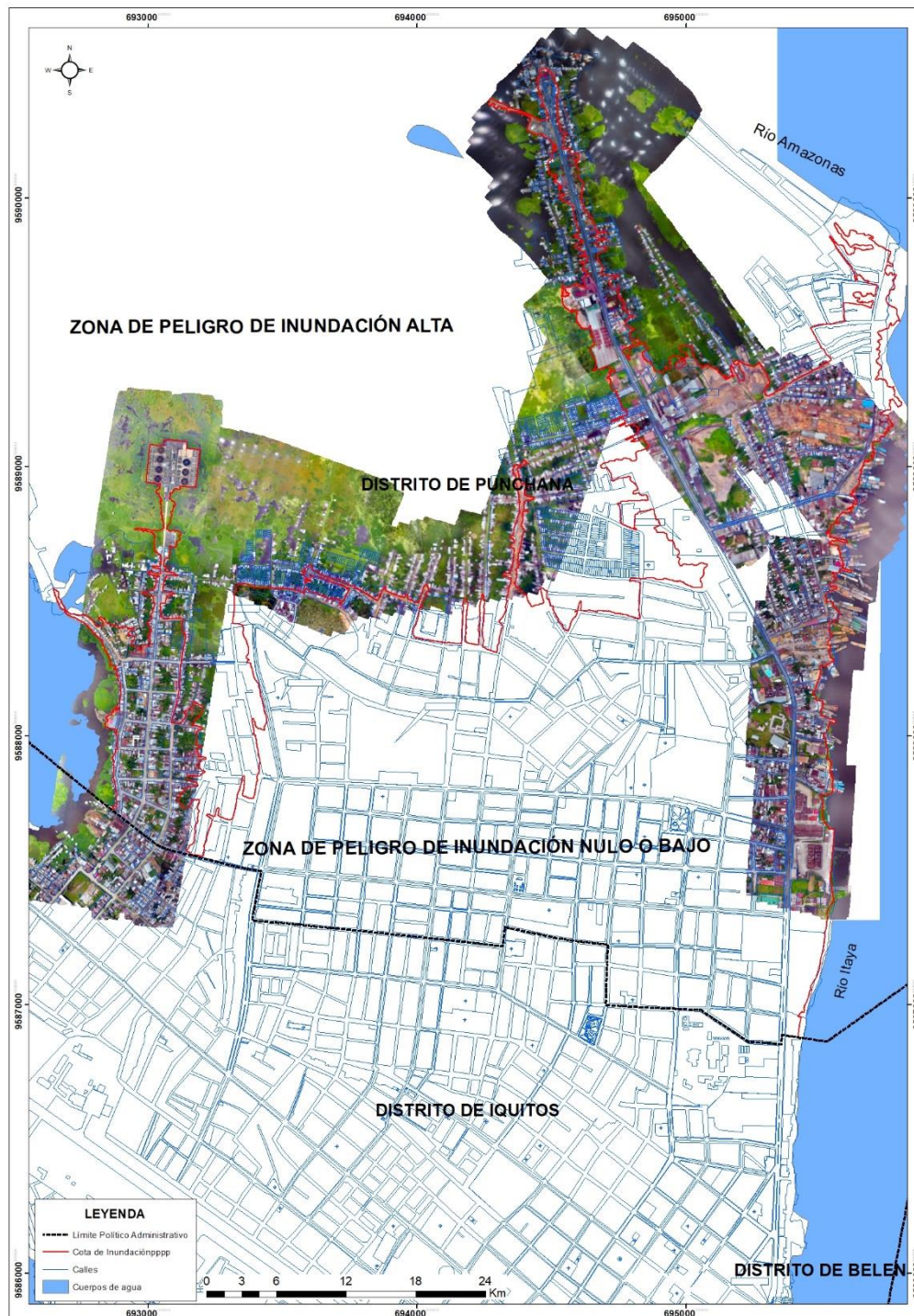
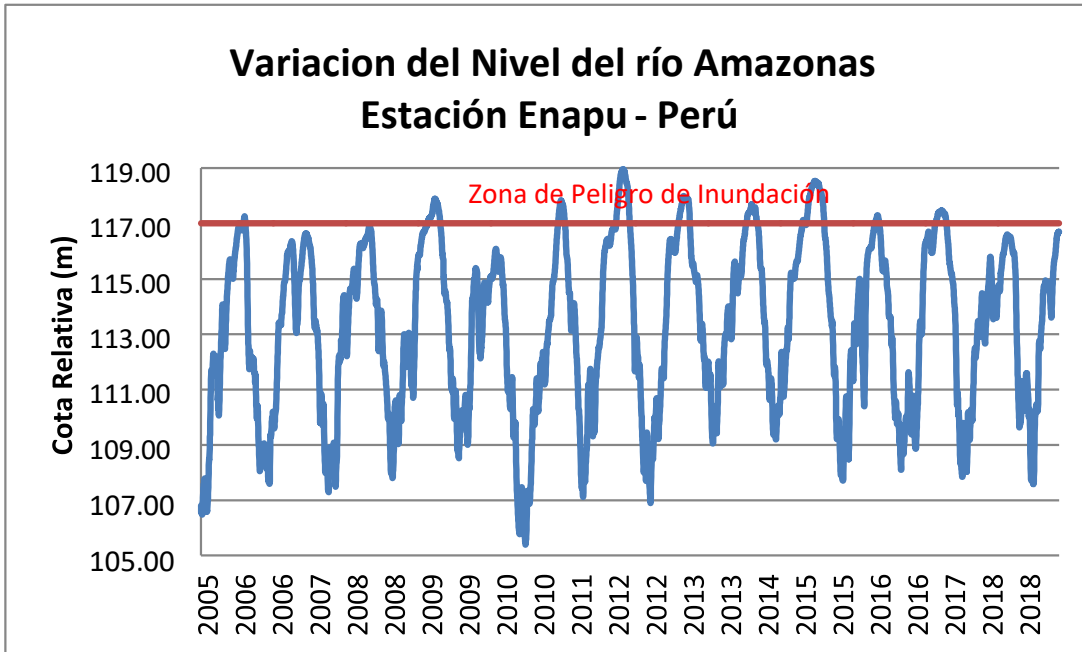


Grafico 1.- Área de Estudio: Distrito de Punchana, Provincia de Maynas, Loreto, Perú.

4.2 Información Hidrológica

Se utilizó la información proveniente del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú relacionada a los niveles diarios del río obtenido de la estación de control H-Enapu Perú ubicada en el distrito de Punchana.



Para correlacionar el nivel de peligro de inundación en el orthomosaico obtenido se tiene que tener los niveles del río de imágenes de toda el distrito de Punchana a través del monitoreo y las proyecciones del río Amazonas se pudo determinar el día de trabajo indicado es el 26 de marzo del 2019, cuando el nivel alcanzaría a la cota arbitraria 117.00 equivalente a los 86.85 m en la escala geoidal. Destacamos, además, que debido a la estacionalidad los niveles van a estar en constante incremento a razón de 3 a 4 cm diarios, por lo que el trabajo debe realizarse en el menor tiempo posible.

4.3 Plan de Vuelo

El diseño del vuelo se realizó en función de la resolución o de la escala que se pretenda obtener, del tipo de terreno, su ubicación, sus detalles, la extensión a relevar y condiciones meteorológicas imperantes, fundamentalmente la velocidad del viento y las lluvias.

Para la presente investigación se realizaron (05) cinco vuelos sucesivos sobre la ciudad de Iquitos (imagen 1), de los cuales dos (02) involucran al distrito de Punchana, provincia de Maynas, departamento de Loreto, en los dos días se totalizaron 13853 imágenes tomadas a una altura de 80 metros con un 60% de superposición, con un tiempo de obturación de 1/200 s a una velocidad de 6 m/s.

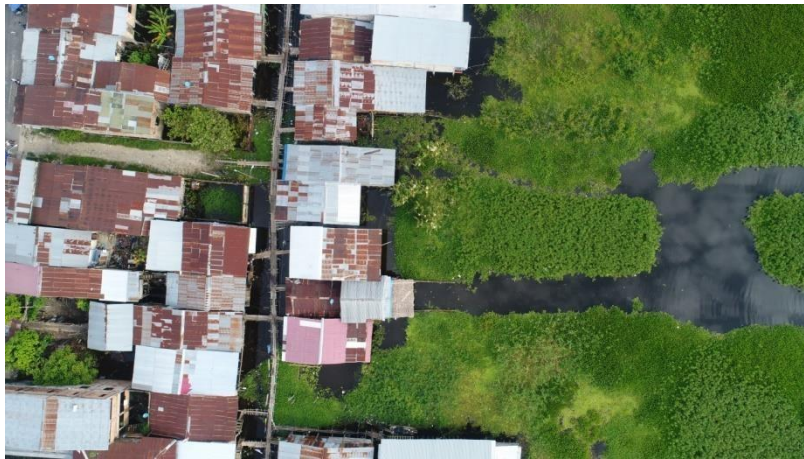


Imagen 1.- Características de la toma obtenida por el VANT (Dron)

En líneas generales, se realizó un plan de vuelo definiendo recorridos con waypoints que constituyen la ruta que seguirá el dron capturando imágenes (imagen 2).

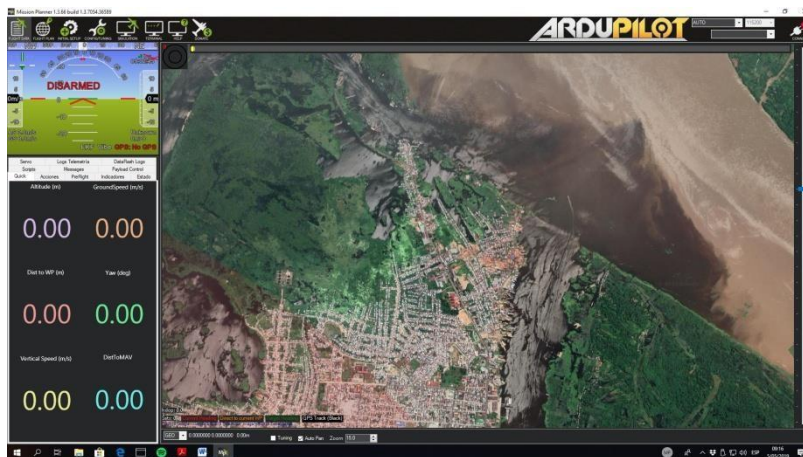


Imagen 2.- Proceso de preparación de la ruta que seguirá el dron – sector Bellavista Nanay, distrito de Punchana

Cada misión realizada por día y sus valores asociados se guardan en la memoria del piloto automático para la realización del vuelo y para su posterior utilización en pos proceso.



Imagen 3.- Proceso de configuración de la ruta que seguirá el dron – sector Bellavista Nanay, distrito de Punchana

Para la delimitación de la zona de vuelo se utilizó en este caso una imagen georreferenciada obtenida desde el Google Earth que fue exportada al programa Mission Planner desde el cual se planificaron las diferentes misiones.

En dicho software se programan los recorridos ingresando parámetros tales como distancia entre tomas, porcentaje de superposición entre las imágenes consecutivas, altura de vuelo, tiempo de obturación de la cámara, velocidad de ascenso o desplazamiento del aparato; además se marcan los waypoints sobre los que se producirán los registros fotográficos (imagen 7).



Imagen 4.- Ejemplo de la ruta programada del dron – sector Bellavista Nanay, distrito de Punchana

4.4 Apoyo topográfico

Para el apoyo topográfico se trabajó con el punto geodésico del Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía – SEHINAV, se optó por la búsqueda de la referencia en toda la superficie a fotografiar para la obtención de los puntos de apoyo con coordenadas Geoides. Este punto servirá para transformar el modelo fotogramétrico en modelo del terreno.

4.5 Toma fotográfica

Las imágenes se obtienen según el plan de vuelo planificado, entonces se registra una imagen en cada punto waypoint programado. Mientras esto ocurre se puede visualizar en tiempo real toda la información de telemetría, estado del dispositivo y posición del mismo, así como también se puede hacer un seguimiento en tiempo real del dron a través de la cámara de video que lleva a bordo.

4.6 Procesado y cálculo

Una vez tomadas las fotografías con sus parámetros asociados que aparecen en la telemetría descargada (imagen 10) y que será utilizada para corregir la perspectiva de cada imagen y obtenidas las coordenadas de los puntos de apoyo, se realiza el cálculo de los parámetros de orientación externa de cada una de las fotografías.

Los datos asociados a cada imagen son:

Coordenadas GPS (Latitud y Longitud).

Actitud del dron (*yaw*, *pitch* y *roll*, la rotación del avión en los tres ejes de navegación).

Altura de vuelo

Distancia Focal de la cámara.

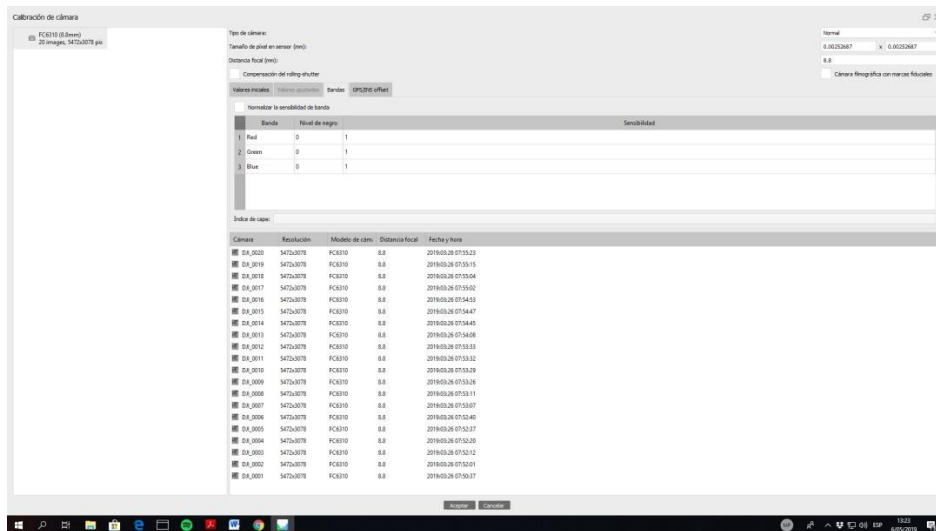


Imagen 5.- Características de la toma fotográfica: georeferenciación, altura de vuelo y distancia focal.

Para la presente investigación, el procesamiento de las imágenes se realizó con el programa Agisoft methashape profesional que es un software destinado a crear modelos 3D de alta calidad a partir de imágenes tomadas desde puntos de vista de cámaras conocidos, basado en la tecnología de reconstrucción 3D Multivisión.

Este software soluciona los parámetros de orientación interna y externa de la cámara y posteriormente, a través de un algoritmo propio, encuentra las ubicaciones de las cámaras aproximadamente y las ajusta utilizando otro algoritmo de ajuste tipo 'haz'.

a) Método suave y lento que genera mapas de profundidad para formar la malla del objeto.

b) Método rápido que utiliza un enfoque de múltiples-vistas para realizar la geometría del objeto.

Por último, el Agisoft methashape profesional parametriza la superficie del modelo asignándole a cada parte de la malla un trozo de la imagen, creando así un mapa de textura (imagen 11).

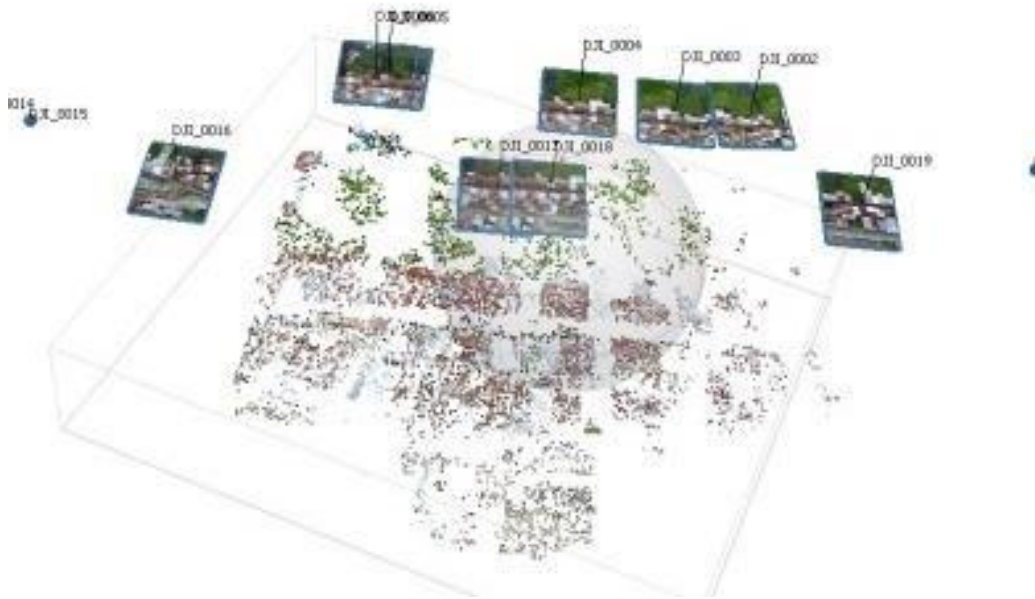
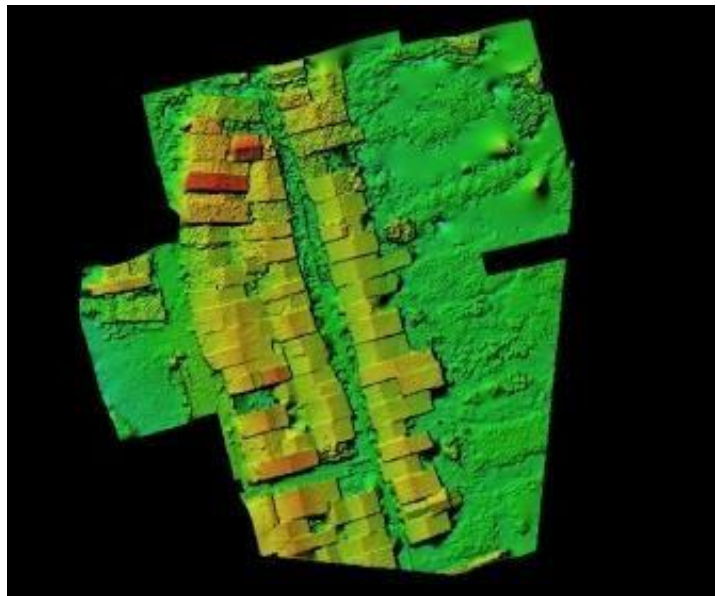


Imagen 6.- Reconstrucción de la posición de las cámaras y malla del objeto fotografiado.

4.7 Productos fotogramétricos

A partir de este procesamiento se obtuvieron los siguientes productos fotogramétricos:

Modelos digitales de superficie (MDS): El primer producto que se obtiene es un Modelo Digital de Superficie que contiene toda la información geométrica de la zona de estudio, así como de sus texturas y acabados. Sirve como base para muchos análisis geográficos entre ellos la generación de curvas de nivel o bien a partir de los puntos georreferenciados



insertados en el terreno y con el modelo escalado es posible extraer mediciones con una precisión de hasta 2 cm (imagen 7).



Ortomosaico: se realiza una composición de imágenes a la que se le han corregido los errores geométricos para que cada punto en el terreno sea observado desde una perspectiva perpendicular. La imagen resultante tiene una resolución que varía entre los 1 a 20 cm/píxel dependiendo de la

altura de vuelo y la escala (imagen 8).



Imagen 9.- Modelo de creación de las curvas de nivel del área de estudio.

Las imágenes se guardan en la memoria de almacenamiento de la cámara y tras finalizar el vuelo se realizará en gabinete la descarga de datos de telemetría de vuelo e imágenes para el posterior procesamiento de dicha

información asociando los datos de vuelo al momento de toma de cada imagen.



Imagen 10.- Discretización del nivel de peligro por inundación en base a las curvas de nivel, sector inundado – sector seco.

4.8 Mapa de inundación

El resultado final luego de las etapas mencionadas en anterioridad fue un mapa con escala 1/5000 y con una resolución de 3cm/pixel. El mapa final se aprecia en el gráfico 2.

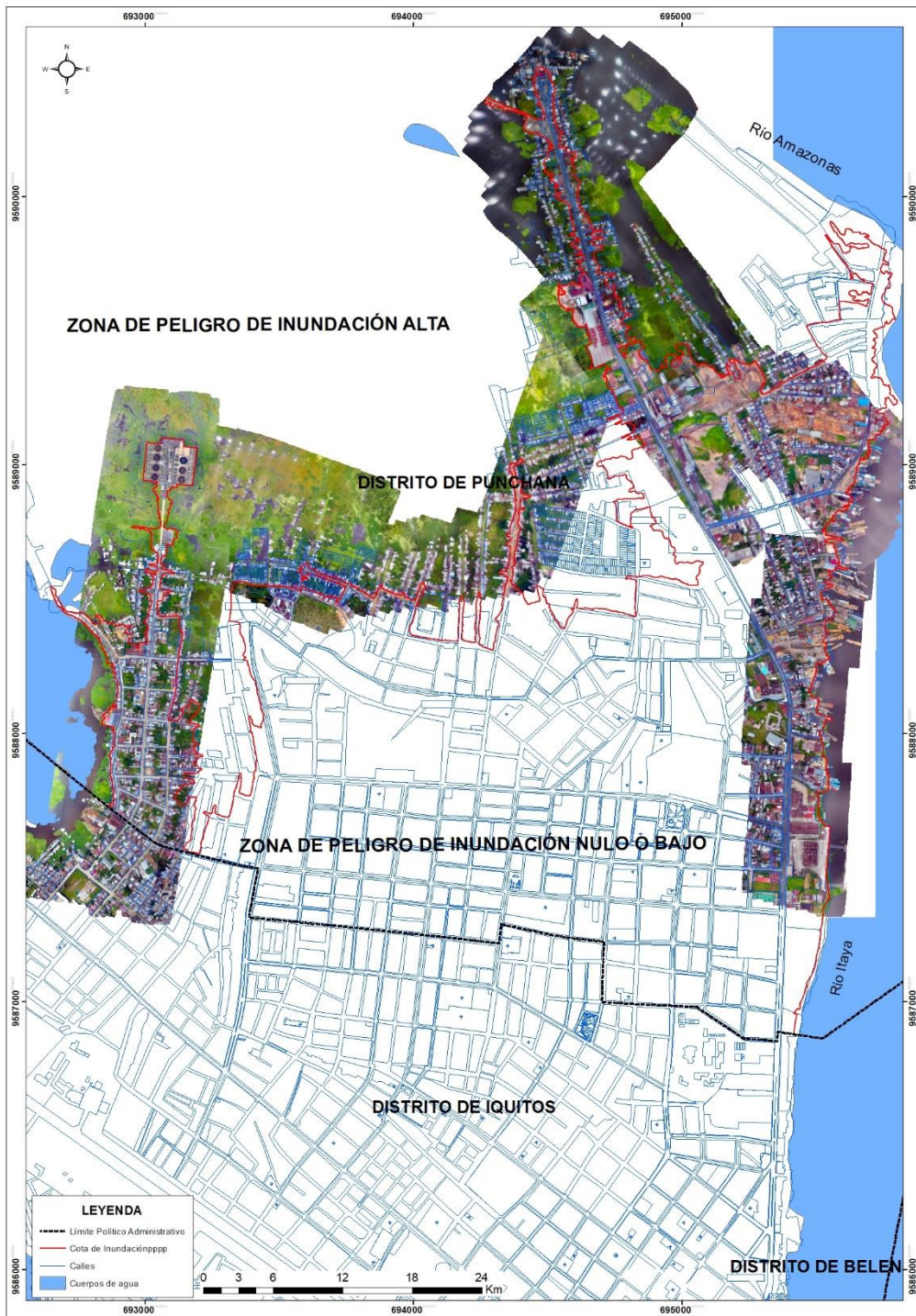
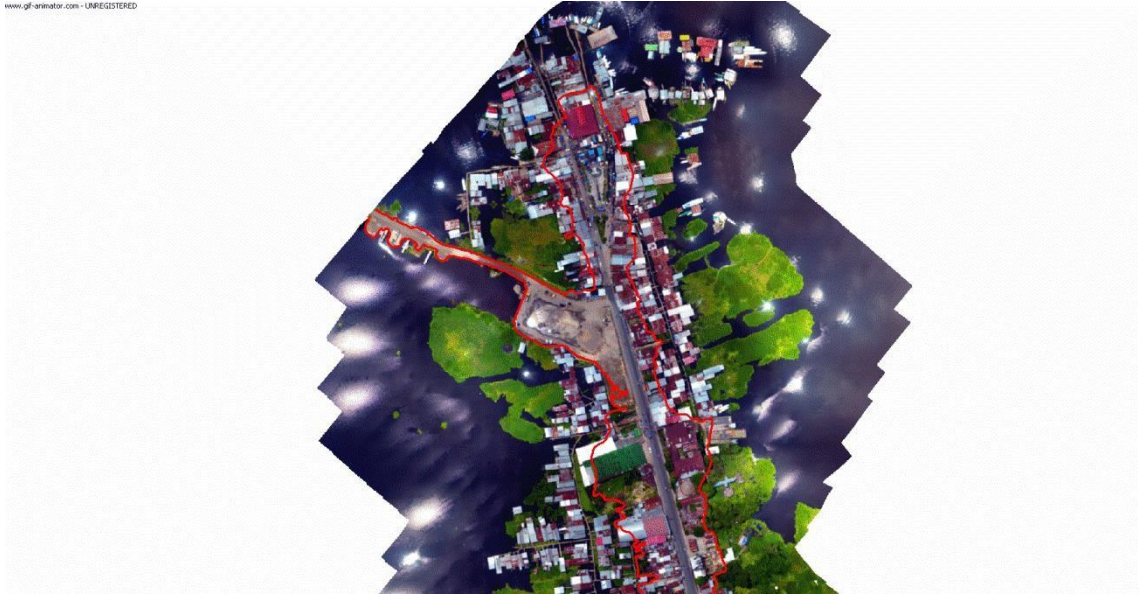


Grafico 2.- Delimitación del Peligro de Inundación del distrito de Punchana



Capítulo V: Discusión, Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Discusión

Los drones o vehículos aéreos no tripulados (VANT) son herramientas de alta tecnología que pueden cumplir con una gran cantidad de funciones, debido a su capacidad de operar en áreas remotas, zonas peligrosas o con condiciones adversas para la presencia de personas. Esto los hace idóneos para la inspección en estructuras como puentes, edificios, taludes entre otros [39], por ello en la presente investigación se pudo comprobar la eficacia de la herramienta mencionada en lugares de difícil acceso como los Asentamientos Humanos ubicados en los distritos de Punchana e Iquitos que suman más de 220, donde la densidad poblacional impide las labores de topografía convencional, sumado al ahorro de tiempo utilizado.

En el estudio se aplicó específicamente para la gestión de riesgos, en el tema de la inundación, para lo cual es necesario contar con el nivel de peligro, es decir, el nivel o límite o umbral que divide el cauce del río y la ciudad. La zona urbana del distrito de Punchana limita en dos de sus lados con los ríos Nanay e Itaya en especial, en el sector de la península de Bellavista – Nanay. La principal dificultad para la investigación es, que no existe la delimitación del determinado umbral conocido para la Capitanía de Puertos como Nivel Máximo Ordinario (NMO) y para la Autoridad Nacional de Aguas como Faja Marginal (Ley N° 29338 y su reglamento), el SENAMHI fija dicho nivel en los 117.00 msnm (85.86 m en la escala geoidal), tomados o controlados en la estación Enapu Perú [40], sin embargo, en función de este nivel se proyecta hacia toda la ciudad para ello, se utiliza la topografía básica, en nuestro caso fue utilizada la fotogrametría obtenida con drones, habiéndose obtenido 13 853 fotos, lo cual nos hace obtener una resolución de 3cm/pixel, un nivel de detalle superior al del satélite PERU SAT el cual provee una resolución de 5 cm/pixel.

El GOREL, realizó la Evaluación Socioeconómica de los impactos de la inundación del año 2012 en el departamento de Loreto en función a la información registrada en el Sistema Nacional de Información para la Respuesta

y la Rehabilitación (SINPAD), destaca que los primeros daños ocasionados por la creciente de los ríos dejó un total de 229,412 damnificados, lo que equivale a cerca del 23% de la población total; y 138,161 afectados, es decir, alrededor del 14% de la población total, las cifras oficiales reportan que cinco menores fallecieron por ahogamiento. Y, basados siempre en información entregada por el COER, 72,642 viviendas, 1,724 instituciones educativas, 54 centros de salud, 170 locales comunales y 150,765 metros lineales de camino rural resultaron afectados por los eventos adversos. Asimismo, en el sector agrario, menciona que las pérdidas por inundaciones afectaron a 27,821 hectáreas de cultivo y a 29,000 productores. En total, se perdió el 50.3% de la superficie sembrada de arroz, maíz, plátano, yuca, maní y papaya, cuyo valor estimado es de más de 40 millones de nuevos soles [41], dicha área afectada fue comprobada con la zonificación de la presente investigación donde se ha podido verificar que el sector vulnerable por el proceso de inundación se encuentra habitado por más de 220 AAHH (entre Punchana e Iquitos) aproximadamente más de 50,000 personas que cada vez que se incrementa los niveles del río entran a la categoría de afectados .

Punchana es un distrito donde se ubican más de 200 asentamientos humanos, muchos de ellos, sobre el cauce del río y en la época de máxima avenida inunda gran parte de estas áreas, causando pérdidas económicas y de vidas humanas. El hacinamiento de la población hace que el trabajo topográfico para la delimitación sea difícil y costoso, sin embargo, con el uso de los drones, se simplifica la obtención de información de la superficie, tal como lo indica Ferreira, 2015, que menciona que la utilización de drones permite además, realizar tareas a baja altura, grabando en tiempo real y facilitando el relevamiento de zonas peligrosas o de difícil acceso y superar obstáculos diversos, de forma automatizada y sin poner en riesgo la seguridad personal [42].

5.2 Conclusiones

1. La Delimitación de la Inundación de los ríos Nanay, Amazonas e Itaya sobre el distrito de Punchana Se logró utilizando la fotogrametría con drones situado en 117.00 m de elevación, equivalente en la escala geoidal a 84.86 metros, lo que se denomina la Línea de Creciente Ordinaria (LCO) por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Amazonía o inicio de la Faja marginal por la ley 29338.
2. El umbral del área inundable del distrito de Punchana como consecuencia del crecimiento de los ríos Amazonas, Nanay e Itaya mediante el uso de drones. Se ha determinado un área urbana de Punchana de 329.84 Has que se encuentran con POCO O NULO PELIGRO DE INUNDACIÓN, el limite tiene una extensión de 31,36 Km de perímetro, el cual fue obtenido en un promedio de 1 día, con una resolución de 2 cm/pixel.
3. Las causas más frecuentes de la inundación de los ríos circundantes al distrito de Punchana, que se presenta en la zona urbana del distrito de Punchana, es un proceso natural, ocasionado por la incursión de poblaciones sobre el cauce del río Nanay e Itaya, al no haber un límite normado por las autoridades, las poblaciones construyen sus viviendas en lugares de depresión que durante ocho (08) meses los niveles se encuentran por debajo del promedio.
4. La cantidad de infraestructura vulnerable al proceso de inundación en el distrito de Punchana, Se ha determinado 200 asentamientos humanos que se encuentran dentro del área de inundación del distrito de Punchana, que cuando el río Nanay e Itaya entran a la época de máxima avenida (febrero a mayo) se encuentran muy vulnerables al proceso de inundación.

5.3 Recomendaciones

1. Se recomienda el uso de la fotogrametría, en especial, el uso de los drones para disciplinas de ingeniería y arquitectura de la UCP, para la obtención de información de campo, debido a su bajo costo y economía en el tiempo.
2. Realizar un análisis socioeconómico de las pérdidas económicas de la inundación en el distrito de Punchana.
3. Realizar una propuesta de reubicación de la población vulnerable al proceso de inundación.
4. Realizar una propuesta de mejoramiento o rescate de la zona inundable de Punchana.

Referencias Bibliográficas.

- [1] Barron B., J Et A.1 Implementacion de un Taller de Drones para el enriquecimiento de nuevas competencias profesionales en los alumnos de las Carreras de Mantenimiento de la Universidad Tecnológica de Jalisco. Drones Como una Herramienta Emergente del Mantenimiento Predictivo. *Universidad Tecnológica De Jalisco. 2017.*
- [2] Vera, German. 2017. UAV en Apoyo a la Agricultura de Precisión: El caso de la Vitivinicultura En México Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Instituto Politécnico Nacional
- [3] Waldo Ojeda Bustamante. 2017. Aplicaciones de los Vehículos Aéreos No Tripulados para caracterización parcelaria con fines de Agricultura de Precisión. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- [4] Perdomo, Cenaida & Caicedo, José & Núñez Parra, Noldin & Machado, Diego & Garcia, Julian & Pineda, Maria. (2015). ESTABLECIMIENTO DE PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE PARA LA CORRECCIÓN PLANIALTIMETRICA DE IMÁGENES TOMADAS POR DRONES. ESTABLISHMENT OF GROUND CONTROL POINTS PLANIALTIMETRIC CORRECTION FOR IMAGE TAKEN BY UAVs. 10.13140/RG.2.1.3415.4640. Mexico.
- [5] Cardiel, Omar & Guerra, Víctor & Ferriño, Adrián y Yépez, Fabiola. (2016). SIMULACIÓN FLUVIAL BIDIMENSIONAL EN UN TRAMO DEL RÍO SANTA CATARINA EN MONTERREY, NUEVO LEÓN, UTILIZANDO UN MODELO DIGITAL DE TERRENO OBTENIDO A PARTIR DE FOTOS TOMADAS CON VANT. *Revista Geos*, Vol. 36, No. 1, Noviembre, 2016. México.
- [6] Yépez, Fabiola & Aguilar, Juan y Guerra, Víctor. 2016. ANÁLISIS GEOMORFOMÉTRICO DEL TERRENO UTILIZANDO TECNOLOGÍA LIDAR Y FOTOGRAMETRÍA CON VANT. *Revista Geos*, Vol. 36, No. 1, Noviembre, 2016. México.
- [7] Hinojosa, Alejandro & Ochoa, Jorge & Raul1, Luna Luciana2 y Aguirre Alfonso. 2016. BOSQUE DE CIPRÉS DE ISLA GUADALUPE: UNA PERSPECTIVA RECIENTE POR DRON. *Revista Geos*, Vol. 36, No. 1, Noviembre, 2016. México.
- [8] Nex, F., & Remondino, F. (2013). UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, 6(1), 1–15. <http://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>

- [9] Nex, F., & Remondino, F. (2013). UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, 6(1), 1–15. <http://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x> .
- [10] Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97. <http://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
- [11] Snavely, N., Seitz, S. M., & Szeliski, R. (2007). Modeling the World from Internet Photo Collections. *International Journal of Computer Vision*, 80(2), 189–210. <http://doi.org/10.1007/s11263-007-0107-3>.
- [12] Arévalo Vera, B., Bayona Ibáñez, E., & Rincón Parada, I. K. (2015). Tecnura. *Tecnura*, 19, 113–120. <http://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a09>
- [13] Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). "Structure-from-Motion" photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>
- [14] Barazzetti, L., Remondino, F., & Scaioni, M. (2010a). Automation in 3D reconstruction: results on different kinds of close-range blocks. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII(5), 55–61. Retrieved from <http://isprsserv.ifp.uni-stuttgart.de/proceedings/XXXVIII/part5/papers/106.pdf>
- [15] Lingua, A., Marenchino, D., & Nex, F. (2009c). Automatic Digital Surface Model (DSM) generation procedure from images acquired by Unmanned Aerial Systems (UASs). *RevCAD, Journal of Geodesy and Cadastre*, (9), 53–64.
- [16] Marenchino, D. (2009). Low-cost UAV for the environmental emergency management. Photogrammetric procedures for rapid mapping activities. Ph.D Thesis Politecnico Di Torino, 1–7. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.329.9625&rep=rep1&type=pdf>
- [17] Furukawa, Y., & Ponce, J. (2007). Accurate, dense, and robust multiview stereopsis. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (Vol. 32, pp. 1–8). Minneapolis, USA. <http://doi.org/10.1109/TPAMI.2009.161>.

- [18] Lucieer, A., Robinson, S., & Turner, D. (2011). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) remote sensing for hyperspatial terrain mapping of Antarctic Moss beds based on Structure from Motion (SfM) point clouds. *Proceeding of the 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Sydney, Australia, (January 2008), 1–4. Retrieved from <http://www.isprs.org/proceedings/2011/ISRSE-4/211104015Final00641.pdf>
- [19] Hirschmuller, H. (2005). Accurate and efficient stereo processing by semi-global matching and mutual information. ... *Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005*. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1467526
- [20] Hirschmüller, H. (2008). Stereo processing by semiglobal matching and mutual information. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(2), 328–41. <http://doi.org/10.1109/TPAMI.2007.1166>
- [21] Hirschmüller, H. (2011). Semi-Global Matching Motivation, Developments and Applications. *Photogrammetric Week*, 173–184. Retrieved from <http://www.robotic.dlr.de/fileadmin/robotic/hirschmu/pw2011hh.pdf>
- 22 Gehrke, S., Morin, K., & Downey, M. (2010). Semi-global matching: An alternative to LIDAR for DSM generation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Retrieved from http://www.isprs.org/proceedings/xxxviii/part1/11/11_01_Paper_121.pdf
- [23] Haala, N. (2011). Multiray Photogrammetry and Dense Image Matching. In D. Fritsch (Ed.), *Photogrammetric Week '11* (pp. 185–195). Stuttgart: Wichmann.
- [24] Hirschmüller, H., & Bucher, T. (2010). Evaluation of digital surface models by semi-global matching. *DGPF Tagungsband*. Retrieved from <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/dgpf/wien/5-HirschmuellerBucher-SemiGlobalMatching.pdf>
- [25] Gehrke, S., Morin, K., & Downey, M. (2010). Semi-global matching: An alternative to LIDAR for DSM generation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Retrieved from http://www.isprs.org/proceedings/xxxviii/part1/11/11_01_Paper_121.pdf
- [26] Gallo Lancheros, E. O., Cáceres Jiménez, J. J., & Porras Díaz, H. (2014). Modelos urbanos tridimensionales generados a partir de nubes de puntos de un escáner láser terrestre Three-dimensional urban models generated from point clouds. *Tecnura*, 18(41), 134–

153.<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.our.tecnura.2014.3.a10>

- [27] Ojeda, Waldo. 2016. Uso y manejo de drones con aplicaciones al sector hídrico. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. pag 31-32
- [28] Evangelos Mitsikostas. 2016. MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TIERRAS CON DRONES Y FOTOGRAMETRÍA AÉREA PARA APLICACIONES DE PRECISIÓN EN AGRICULTURA. CURSO. Pag 28.
- [29] AuStIn, r. (2010): «unmanned Aircraft Systems. uAvS design, development and deployment». John Wiley & Sons Ltd. Chichester (reino unido).
- [30] Everaerts, J. (2008). The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVII(B1), 1187–1192. Retrieved from http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/203.pdf
- [31] Rumpler, M., Wendel, A., & Bischof, H. (2013). Probabilistic Range Image Integration for DSM and True-Orthophoto Generation. In J.-K. Kämäräinen & M. Koskela (Eds.), Image Analysis (Vol. 7944, pp. 533–544). Espoo, Finland: Springer Berlin Heidelberg. http://doi.org/10.1007/9783-642-38886-6_50
- [32] Lei, R., Fan, D., Ji, S., & Zhai, H. (2008). Theory and Algorithms of DSM generation from multi-line-array images matching. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVII(B4), 337–342. Retrieved from http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/4_pdf/59.pdf
- [33] Elaksher, A. (2008). A multi-photo least squares matching algorithm for urban area DEM refinement using breaklines. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences 37, Part B3A, XXXVII(B3a), 33–38. Retrieved from http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/3_pdf/05a.pdf
- [34] Cheng, Y., Xue, D., & Li, Y. (2007). A Fast Mosaic Approach for Remote Sensing Images. 2007 International Conference on Mechatronics and Automation, 2009–2013. <http://doi.org/10.1109/ICMA.2007.4303859>
- [34] Arthur, M., Al-Tahir, R., & Davis, D. (2012). Rapid Processing of Unmanned Aerial Vehicles Imagery for Disaster Management. FIG Working Week 2012, (May 2012), 6–10.

- [35] Gini, R., Pagliari, D., Passoni, D., Pinto, L., Sona, G., & Dosso, P. (2013). UAV PHOTOGRAMMETRY : BLOCK TRIANGULATION COMPARISONS. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL(1/W2), 157–162.
- [36] Lingua, A., Marenchino, D., & Nex, F. (2009a). 04 - Performance Analysis of the SIFT Operator for Automatic Feature Extraction and Matching in Photogrammetric Applications. Sensors (Basel, Switzerland), 9(5), 3745–66. <http://doi.org/10.3390/s90503745>
- [37] Lingua, A., Marenchino, D., & Nex, F. (2009b). A comparison between “ old and new ” feature extraction and matching techniques in Photogrammetry. RevCAD, Journal of Geodesy and Cadastre, 9, 43–52.
- [38] Nex, F., & Remondino, F. (2013). UAV for 3D mapping applications: a review. Applied Geomatics, 6(1), 1–15. <http://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
- [39] Vega Salas, P. Vehículos Aéreos No Tripulados del Lanammeucr: Una Herramienta Multidisciplinaria Adaptada Para Todo Tipo De Condiciones Al Servicio del País. Boletín Técnico. PITRA-Lanamme UCR.Volumen 8, N.º 4, Noviembre 2017
- [40] SENAMHI, 2012. Informe Técnico de Inundaciones 2012 en los Ríos Amazónicos.
- [41] GOREL, 2013. Lecciones Aprendidas – Loreto, Inundación 2012.
- [42] Ferreira, Marisa & Gerardo, Victor. 2015. APLICACIONES TOPOGRÁFICAS DE LOS DRONES. Departamento de Agrimensura, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Delimitación de la Inundación de los ríos Nanay, Amazonas e Itaya sobre el distrito de Punchana utilizando drones

| Formulación del problema | Objetivos | Hipótesis | VARIABLES | Indicadores | Índices | Instrumentos |
|---|--|---|--|--|--|----------------------------|
| ¿Se puede utilizar drones para conocer el área inundable oficial del distrito de Punchana como consecuencia del crecimiento de los ríos Amazónicos? | <p>General: Delimitar la Inundación de los ríos Nanay, Amazonas e Itaya sobre el distrito de Punchana utilizando drones.</p> <p>Específicos: Determinar el umbral del área inundable del distrito de Punchana como consecuencia del crecimiento de los ríos Amazonas, Nanay e Itaya mediante el uso de dron. Determinar las causas más frecuentes de la inundación de los ríos circundantes al distrito de Punchana.</p> | ¿Se puede delimitar la Inundación sobre el distrito de Punchana usando el modelo digital de terreno con drones? | <p>Independiente: Modelamiento Digital de Terreno con dron</p> <p>Dependiente: Umbral de la inundación del distrito de Punchana.</p> | <p>Vuelos de dron</p> <p>Espacio de inundación</p> | <p>Modelo Digital de Terreno</p> <p>Km²</p> | <p>Vuelos</p> <p>Mapas</p> |

