

# APLICACIÓN DEL PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL (PTL) EN UN MAPA (ORTOMOSAICO) OBTENIDO POR FOTOGRAMETRÍA (UAV – DRONE),

ÁREA DE PRUEBA: Campus Universitario UMSA (Cota-Cota) ciudad de La Paz

APPLICATION OF THE LOCAL TOPOGRAPHIC PLANE (PTL) ON A MAP (ORTHOMOSAIC) OBTAINED BY PHOTOGRAMMETRY (UAV – DRONE),

TEST AREA: University Campus (Cota-Cota) UMSA, Ciudad de La Paz-Bolivia

Huber Augusto Mamani Gutiérrez\*

RESUMEN	ABSTRACT	RESUMO
<p>La investigación aplica el Plano Topográfico Local (PTL), en levantamientos fotogramétricos apoyados por un UAV (Vehículo Aéreo no Tripulado – Drone), considerando que los ortomosaicos generados por la proyección Universal Transverse Mercator (UTM), no guardan relación con las distancias del terreno (distancia horizontal topográfica). Dificultando de esta manera la determinación directa de distancias sobre los ortomosaicos para trabajos de ingeniería y catastro.</p> <p>El levantamiento fotogramétrico con UAV aplicó todo los procedimientos y protocolos requeridos para generar ortomosaicos en la proyección UTM y en PTL. Además se realizó el levantamiento de elementos y distancias con estación total (ET) y cinta métrica de campo (CM), de la distancia horizontal topográfica (determinación en terreno). Los datos obtenidos permitieron comparar valores de distancia y posición de las esquinas, límites, distancia de elementos y construcciones levantadas. Encontrando diferencias menores en milímetros para valores correspondientes al ortomosaico en (PTL), y no así para la proyección UTM. Resaltando que las medidas con cinta métrica (CM) se asemejan a los valores levantados con estación total (ET) y estos valores; con el ortomosaico en (PTL). A diferencia con la proyección UTM que presenta variaciones significativas.</p> <p>Por lo tanto aplicando el (PTL) a ortomosaicos generados mediante aerofotogrametría de UAV, se puede efectuar cálculo de distancias y temas catastrales; siempre y cuando, no se exceda el tamaño de pixel, y las características del terreno.</p> <p><b>PALABRAS CLAVE:</b> Proyección cartográfica, Proyección Universal Transversa de Mercator, Plano Topográfico Local, Distancia horizontal topográfica.</p> <p><b>History of the article:</b> Review 15/08/2023. Style Review 20/08/2023. Accepted 27/08/2023.</p>	<p>The research applies the Local Topographic Plane (PTL), in photogrammetric surveys supported by a UAV (Unmanned Aerial Vehicle – Drone), considering that the orthomosaics generated by the Universal Transverse Mercator (UTM) projection are not related to the distances of the terrain (topographic horizontal distance). Thus making it difficult to directly determine distances on the orthomosaics for engineering and cadastral work.</p> <p>The photogrammetric survey with UAV applied all the procedures and protocols required to generate orthomosaics in the UTM projection and in PTL. In addition, the survey of elements and distances was carried out with a total station (ET) and field tape measure (CM), of the topographic horizontal distance (determination in the field). The data obtained allowed us to compare values of distance and position of the corners, limits, distance of elements and erected constructions. Finding minor differences in millimeters for values corresponding to the orthomosaic in (PTL), and not for the UTM projection. Highlighting that the measurements with a tape measure (CM) are similar to the values collected with a total station (ET) and these values; with the orthomosaic in (PTL). Unlike the UTM projection that presents significant variations.</p> <p>Therefore, by applying the (PTL) to orthomosaics generated by UAV aerial photogrammetry, distances and cadastral themes can be calculated; as long as the pixel size and terrain characteristics are not exceeded.</p> <p><b>KEYWORDS:</b> Cartographic projection, Universal Transverse Mercator Projection, Local Topographic Plane, Topographic horizontal distance.</p>	<p>A pesquisa aplica o Plano Topográfico Local (PTL), em levantamentos fotogramétricos apoiados por um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado – Drone), considerando que os ortomosaicos gerados pela projeção Universal Transversal Mercator (UTM) não estão relacionados com as distâncias do terreno (distância horizontal topográfica). Dificultando assim a determinação direta de distâncias nos ortomosaicos para trabalhos de engenharia e cadastrais.</p> <p>O levantamento fotogramétrico com VANT aplicou todos os procedimentos e protocolos necessários para gerar ortomosaicos na projeção UTM e em PTL. Além disso, foi realizado o levantamento de elementos e distâncias com estação total (ET) e fita métrica de campo (CM), da distância topográfica horizontal (determinação em campo). Os dados obtidos permitiram comparar valores de distância e posição dos cantos, limites, distância de elementos e construções erguidas. Encontrar pequenas diferenças em milímetros para valores correspondentes ao ortomosaico em (PTL), e não para a projeção UTM. Destacando que as medições com fita métrica (CM) são semelhantes aos valores coletados com estação total (ET) e estes valores; com o ortomosaico em (PTL). Ao contrário da projeção UTM que apresenta variações significativas.</p> <p>Portanto, aplicando o (PTL) aos ortomosaicos gerados pela aerofotogrametría de VANT, podem-se calcular distâncias e temas cadastrais; desde que o tamanho do pixel e as características do terreno não sejam excedidos.</p> <p><b>PALAVRAS-CHAVE:</b> Projeção cartográfica, Projeção Transversa Universal de Mercator, Plano Topográfico Local, Distância horizontal topográfica.</p>

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico y la densificación territorial debido a la urgencia por presentar planificaciones ordenadas especialmente de los territorios locales, han ido disminuyendo la importancia de la relación entre: distancia-terreno-proyección, considerando a la escala<sup>1</sup>, como una relación constante entre las distancias medidas en el plano o mapa y las distancias correspondientes al terreno. Todo esto sin tomar en cuenta las deformaciones inherentes al proceso proyectivo. [1]

En consecuencia, la búsqueda de información geográfica que permita relacionar datos específicos y generales con una localización geográfica en particular, a través del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)<sup>2</sup>, ha mostrado

diferencias en el desarrollo de proyectos civiles y topográficos, debido a que en los proyectos civiles se referencian medidas topográficas convencionales posteriormente comparadas, en levantamientos asistidos por GPS que representan el terreno a través de proyecciones cartográficas. Ocasionando la comparación, diferencias en los datos, al replantear topográficamente estos proyectos. [2], [3]

El uso del Plano Topográfico Local (PTL), ha demostrado ser la solución y se ha ido fortaleciendo a través de una serie de proyectos aplicativos a obras civiles – ejemplo: la autopista presidente Dutra (Brasil)–, que buscó relacionar biunívocamente las principales características del Plano Topográfico Local PTL con el (GPS) geodésico, soportado por un modelo matemático de proyección que suministre distancias, ángulos y áreas compatibles con las medidas directas en campo, a partir de cálculos analíticos utilizando sus coordenadas y que no necesiten corregir los cálculos para las deformaciones lineales y angulares. [4]

<sup>1</sup> Relación de proporción entre las medidas de una cosa real y su representación gráfica.

<sup>2</sup> Actualmente denominado Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) relacionado con el sistema de proyección Universal Transversa de Mercator (UTM).

La asistencia de (UAV's) Vehículos Aéreos No Tripulados comúnmente conocidos como drones, para inspecciones de líneas de alta tensión, agricultura de precisión, evaluación y monitoreo ambiental, levantamientos fotogramétricos además de levantamientos topográficos han demostrado las ventajas de esta tecnología que cubriendo áreas más grandes en menor tiempo reduce el número de personas involucradas en los levantamientos topográficos.

Bajo esta perspectiva, la asistencia de (UAV's) está contribuyendo con información geoespacial para la representación del territorio. Sin embargo, en obras de ingeniería de alta precisión utilizando levantamientos con (GPS) y (UAV's), se están cometiendo pequeños errores de interpretación en los ortomosaicos<sup>3</sup>, al utilizar el (GPS) asistido por (UAV's - drones) que al transmitir las imágenes geolocalizadas, o a través de los Puntos de Control Terrestre (GCP). Envían estas imágenes para su corrección geométrica recurriendo por lo general al sistema de proyección UTM.

En consecuencia, al utilizar los ortomosaicos para realizar medidas de distancia sobre éstos; se asume, que al ser un levantamiento aéreo su resultado representa fielmente al terreno. Sin considerar la existencia de una distorsión en la proyección aplicada. Por lo tanto, su uso en la determinación de distancias, superficies, delimitación de predios y construcciones, para **aplicación catastral**, necesita analizar las variaciones que se pueden originar al compararlos con las distancias horizontales topográficas (el mismo problema que se generó al utilizar los GPS en obras de ingeniería).

La solución para evitar las inconsistencias que se están generando en la utilización de los ortomosaicos, también parte de la aplicación del Plano Topográfico Local (PTL), en el establecimiento de los Puntos de Control Terrestre (GCP), y en el posterior procesamiento de las imágenes transmitidas por el (UAV -drone<sup>4</sup>).

### Planteamiento del problema

Los procedimientos convencionales que se aplican para la generación de productos finales de levantamientos fotogramétricos con drones, vienen asociados a proyecciones conocidas como la Universal Transverse Mercator (UTM). Sin embargo, es necesario aplicar una proyección en la generación de los ortomosaicos transmitidos por las cámaras de los drones, que permitan minimizar las distancias que se puedan medir sobre él, para ser comparadas con las distancias horizontales topográficas que son muy utilizadas en los proyectos de alta ingeniería y catastro. En consecuencia, la interrogante que se quiere corresponde a lo siguiente:

- ¿La aplicación del Plano Topográfico Local (PTL), en la generación de ortomosaicos asistido por (UAV-Drone), permitirá la determinación directa de distancias, superficies y límites de elementos del terreno?

<sup>3</sup> Mapa compuesto por varias **ortofotos** - imágenes aéreas georeferenciadas de un área capturada generalmente por la cámara de los UAV's - drones y que necesitan corregir las distorsiones: desplazamiento e inclinación de imágenes fotográficas- unidas entre sí, al igual que un rompecabezas. Concepto simple para una herramienta capaz de brindar gran cantidad de información sobre determinados terrenos de interés sociodemográfico. <https://mappa.ag<blog<ortomosaico>

<sup>4</sup> Hace referencia al ruido que emite el aparato y es parecido al zumbido que efectúan los zánganos. Proviene de la palabra en inglés Drone = zumbido, zángano.

### Tareas, instrumentos, materiales y software para responder a la interrogante planteada:

#### Objetivo General

Aplicar el Plano Topográfico Local (PTL), en levantamientos fotogramétricos con (UAV -Drone), para generar productos topográficos (ortomosaicos).

#### Objetivos Específicos:

- Generar el ortomosaico a partir del vuelo fotogramétrico con (UAV - Drone) en coordenadas (UTM),
- Determinar los parámetros del Plano Topográfico Local (PTL), para el área de estudio,
- Aplicar el (PTL) en el proceso de generación del ortomosaico obtenido con la cámara del (UAV - Drone),
- Efectuar el análisis de resultados por comparación de todos los datos obtenidos.

#### Materiales e instrumentos

##### - Puntos de Control Terrestre (GCP)

Seis GPS de doble frecuencia, Marca South S86S, seis bases nivelantes y trípodes, seis radios de comunicación.



##### - Drone eBee de senseFly,

Cámara de fotogrametría S.O.D.A. (Sensor Optimised for Drone, Applications). Computadora i5.

##### - Estación Total y cinta métrica

Estación Total, Marca South, Modelo Zoom 35-1" A10 y trípode, seis jalones y prismas, dos cintas métricas de 30 m.



##### - Programas (Software)

LEICA Geo Office, Versión 7.0.0.0.  
Google Earth Pro, Versión 7.3.2.5776 (64-bit),  
ArcGIS 10.0 - ArcMap (ESRI),  
eMotion senseFly, Versión 3.5.0  
Pix4Dmapper, Versión 4.4.12

### DESARROLLO

#### a) Generación del ortomosaico a partir de imágenes transmitidas desde la cámara del Drone eBee de senseFly.

##### a.1) Delimitación área de estudio y establecimiento de Puntos de Control Terrestre (GCP)

El levantamiento topográfico se realizó específicamente en el área correspondiente al Campus Universitario dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), zona de Cota Cota, Municipio de Nuestra Señora de La Paz del Departamento de La Paz.

Para establecer la ubicación de los Puntos de Control Terrestre (GCP - Ground Control Point), es necesario tomar en cuenta el número y distribución de los mismos, que están en función de las características topográficas del área de estudio (mientras más accidentado es el terreno, mayor deberá ser el número de GCP's), la forma y sobre todo los fines del uso de los productos finales obtenidos mediante el uso de (UAV – Drone). También, es importante considerar que los puntos de control terrestre, garantizan la reconstrucción del modelo tridimensional del vuelo fotogramétrico, aumentando así la precisión absoluta del proyecto, posibilitando realizar la georeferenciación (corrección geométrica) de los productos finales del vuelo fotogramétrico, similar al realizado por la fotogrametría convencional (corrección interna).

Para la obtención del Plano Topográfico Local (PTL), como producto topográfico, asistido por (UAV – Drone). y la verificación analítica de las variaciones que pudieran existir con las distancias reales del terreno y a la vez ser comparadas utilizando la proyección Universal Transverse Mercator (UTM), se utilizaron 29 puntos de control terrestre distribuidos en todo el Campus Universitario, y marcados con mojoneros de cemento. Ver figura 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1: Ubicación de 29 Puntos de Control Terrestre (GCP)

**a.2) Sesiones GPS Puntos de Control Terrestre (GCP)**

Los (GCP) garantizan la reconstrucción del modelo tridimensional del vuelo fotogramétrico y permiten mejorar la precisión absoluta, además considerando que el ortomosaico obtenido será analizado en un ámbito estrictamente topográfico geodésico de alta precisión, se efectuaron observaciones (GPS) en 29 puntos de control terrestre. Utilizando equipos GNSS de Doble Frecuencia para líneas base hasta 80 km, medición GPS Diferencial modo estático, de acuerdo con las siguientes condiciones:

1. **Sesiones:** Siete conjuntas receptores GPS (Una Base y seis Rover), tiempo de sesión de una hora.
2. **Estación Base:** BLPZ (INGA), de la Red de Operación Continua (ROC), del Marco de Referencia Geodésico Nacional (MARGEN), del Instituto Geográfico Militar (IGM).
3. **Parámetros de observación:** Mínimo cinco satélites observados, PDOP y GDOP  $\leq 4$ , intervalo de grabación de datos 15 segundos y máscara de elevación 15 grados (ángulo de corte).



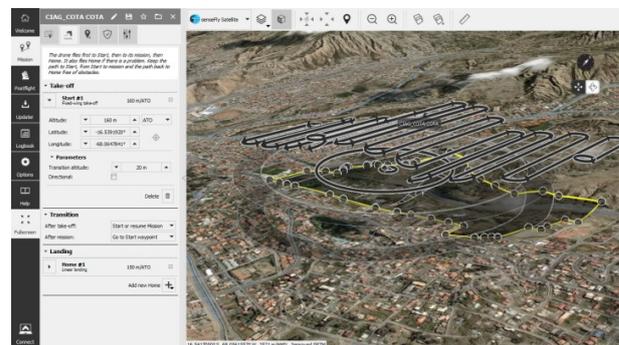
Ubicación de un GCP y su sesión GPS. Crédito: H. Mamani G. (2023)

El procesamiento y ajuste de datos GPS correspondiente a los Puntos de Control Terrestre (GCP), se efectuó aplicando los siguientes procedimientos:

1. Estructuración de todos los archivos de datos provenientes de las observaciones realizadas.
2. Transformación de datos crudos a datos RINEX.
3. Proceso y ajuste de los datos GPS con el programa LEICA Geo Office Versión 7.0.0.0, utilizando los archivos de calibración de antena (Por ejemplo, STHS86HX-BS611A NONE para el equipo GNSS South S86S), Sistema de Referencia WGS84 y Proyección UTM Zona 19 Sur.

**a.3) Planificación<sup>5</sup> fotogramétrica (UAV –Drone)**

El área de recubrimiento del Campus Universitario de la UMSA, comprende aproximadamente 57 ha, para lo cual fue necesario determinar el tipo de (UAV-Drone) a utilizar, considerando además que la topografía del área de estudio va desde plana a abrupta se eligió usar el UAV-Drone de ala fija eBee de senseFly, que permite planificar el vuelo considerando un modelo geoidal mundial que establece las alturas de vuelo en relación con la topografía del terreno, garantizando de esta manera que la resolución espacial llegue a ser la programada y no se generen deformaciones del terreno durante el procesamiento de imágenes por variación de altura de vuelo y resolución espacial. En la figura 2, se muestra el planeamiento de vuelo 3D para el área de reconocimiento.



Fuente: Elaboración propia, aplicando eMotion 3 Versión 3.5.0 2009-2018 senseFly Ltd., soporte técnico para la planificación de vuelo.

Figura 2: Planificación del vuelo de eBee de senseFly en eMotion 3.

<sup>5</sup> La planificación de vuelos en 3D es una herramienta que senseFly pone a disposición para ajustar la altitud de vuelo del Drone en función a los datos de elevación predeterminados disponibles en Improved SRTM y desde la elevación personalizada activa: eMotion 3 Versión 3.5.0 2009-2018 senseFly Ltd., soporte técnico para la planificación de vuelo.

**a.3.1) Parámetros de vuelo eBee de senseFly:**

<b>Altura de vuelo:</b> 160 metros (sobre el terreno)
<b>Número de imágenes programadas:</b> 372 imágenes geolocalizadas
<b>Superficie aproximada de recubrimiento:</b> 0,58 km <sup>2</sup>
<b>Resolución:</b> 4,83 cm/px
<b>Sobre posición:</b> lateral/frontal 70%
<b>Tiempo estimado de vuelo:</b> 35 minutos
<b>Resolución de imagen:</b> 5472 x 3648 píxeles
<b>Profundidad de bits:</b> 24
<b>Cámara:</b> senseFly S.O.D.A. (Sensor Optimised for Drone Applications)

Antes de efectuar el vuelo, se realizó la panelización de los Puntos de Control Terrestre (GCP), a través de “paneles” o “marcas” de 50 x 50 cm, de acuerdo con las recomendaciones realizadas por expertos de Pix4D, quienes sugieren que deben ser 10 veces mayor al tamaño del pixel programado 4,83 cm/px, formadas por combinaciones de dos colores diferentes que permitan foto identificar los (GCP) fácilmente. Una vez planificado el vuelo en gabinete, verificado el equipo y las condiciones climáticas adecuadas, se efectuó el vuelo programado, teniéndose estimado un tiempo de 35 minutos para cubrir toda el área de estudio.



Panelización Puntos de Control Terrestre (GCP) y despegue eBee de senseFly. Crédito: H. Mamani G. (2023)

**b) Procesamiento de imágenes del eBee de senseFly**

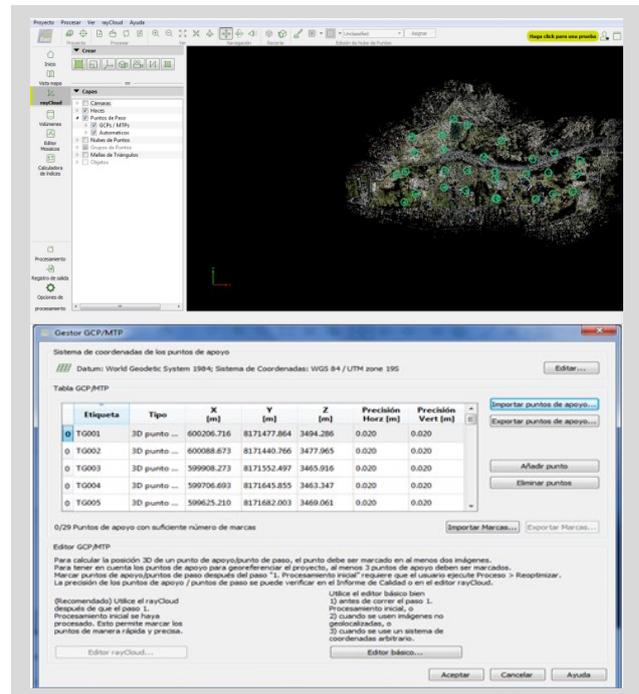
Se usó el programa especializado Pix4Dmapper versión 4.4.12, para el procesamiento de este tipo de imágenes, consistente en:

- Crear de un nuevo proyecto y configuración del sistema de referencia y proyección (se utilizó el WGS 84 y para el sistema de coordenadas el programa Pix4Dmapper versión 4.4.12, establece una proyección conocida, pudiendo ser modificada a través de una lista de proyecciones utilizadas a nivel mundial almacenadas en el mismo programa. En el presente caso, se estableció la proyección Universal Transverse Mercator, para la zona geográfica 19 Sur. Etapa (que se explicará en detalle posteriormente), y donde se aplicará el Plano Topográfico Local (PTL),
- Procesar imágenes en función del proceso preestablecidos por el programa Pix4Dmapper.

**Paso 1 Procesamiento Inicial**

Se utilizaron las imágenes geolocalizadas e insumos adicionales como los Puntos de Control Terrestre (GCP), establecidos anteriormente en el terreno, realizando las siguientes tareas: 1) Extracción de Puntos Clave – identifica características específicas como puntos clave en todas las imágenes –, 2) Puntos Clave que coinciden – selecciona qué imágenes tienen los mismos puntos clave y coinciden con ellas–. 3) Optimización modelo de la cámara – calibración de la distancia interna (Distancia focal) y parámetros externos (Orientación, etc.)–.

Concluido el procesamiento, procede la georeferenciación utilizando los Puntos de Control Terrestre (GCP), los cuales presentan coordenadas en el sistema de referencia WGS 84 y la proyección UTM Zona 19 Sur. Ver figura 3.



Fuente: Elaboración propia sobre resultados de Pix4Dmapper

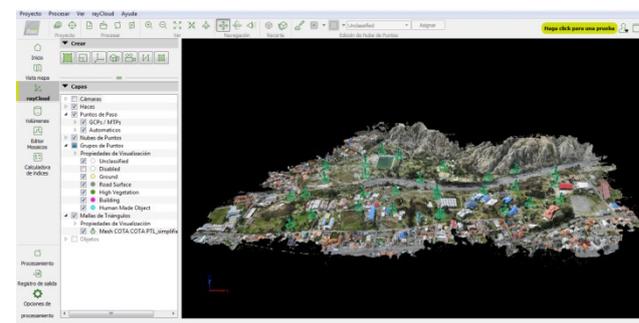
Figura 3: Georeferenciación utilizando los GCP en Pix4Dmapper

**Paso 2 Generación de nube de puntos y malla**

Puntos de empalme automáticos con densificación de puntos: Se crean puntos de empate adicionales basados en los puntos de empate automáticos que resultan en una Nube de Puntos Densa.

Malla con textura 3D: Utilizando la nube de puntos densa, se crea una malla con textura 3D.

Adicionalmente, en la configuración de este paso, se puede establecer la clasificación de la nube de puntos densa, a fin de permitir mejorar la generación del Modelo Digital del Terreno (MDT). Ver figura 4.



Fuente: Elaboración propia sobre resultados de Pix4Dmapper

Figura 4: Visualización de la nube de puntos densa y la malla de triángulos en Pix4Dmapper

**Paso 3 – Generación del Ortomosaico, MDS y MDT**

**Creación del Modelo Digital de Superficie (MDS):** permite el cálculo de volúmenes, creación del ortomosaico y la generación de mapas de reflectancia.

**Ortomosaico:** La creación del ortomosaico se basa en orto rectificación del proyecto, este método elimina las distorsiones de perspectiva de las imágenes.

**Mapa de reflectancia:** Se utiliza para producir un mapa en el que el valor de cada píxel indique fielmente la reflectancia del objeto.

**Mapa de índices:** Permite generar un mapa de índices donde se calcula el color de cada píxel utilizando una fórmula que combina diferentes bandas de los mapas de reflectancia.

**Productos generados. Ver figura 5:**

1. Ortomosaico de toda el área de estudio, resolución espacial de 5 cm, sistema de referencia WGS 84, proyección UTM 19 Sur.
2. Modelo Digital de Superficie (MDS), resolución espacial de 5 cm, sistema de referencia WGS 84, proyección UTM 19 Sur.
3. Modelo Digital del Terreno (MDT), resolución espacial de 15 cm, sistema de referencia WGS 84 y proyección UTM 19 Sur.



Fuente: Elaboración sobre resultados de Pix4Dmapper

**Figura 5:** Ortomosaico generado en Pix4Dmapper

**b.1) Plano Topográfico Local (PTL)**

El (PTL), es el plano georeferenciado sobre el cual se representa la superficie topográfica (área de estudio), para su cálculo hay diferentes métodos, programas diseñados e incluso aplicaciones.

El programa utilizado fue LEICA Geo Office, para crear inicialmente la proyección (PTL) con todos los parámetros necesarios y vincularlos a un sistema de referencia como el WGS 84. Sistema de coordenadas aplicado en el ajuste de datos satelitales GNSS de los Puntos de Control Terrestre (GCP). Determinados en el sistema de referencia WGS 84 con la proyección UTM Zonas 19 Sur y finalmente utilizar las coordenadas en (PTL) de los (GCP) en el procesamiento de imágenes (proceso de georeferenciación del proyecto).

**b.1.1) Cálculo de parámetros:**

**Coordenadas del punto medio**

- El cálculo de este plano requiere valores medios de las coordenadas geodésicas de los puntos (GCP), o en todo caso del punto medio del área de estudio. Latitud media: 16° 32' 14" S, Longitud media: 68°00'00" W. La **latitud** media fue determinada en función del promedio de latitudes de los puntos (GCP) y corroborada en Google Earth Pro. Para la **longitud**, el cálculo de parámetros del (PTL), requiere utilizar el meridiano con longitud más cercana a la longitud media 68° W.

**Altura promedio nivelada**

- Para determinar la altura promedio referida al nivel medio del mar, se utilizó los datos de nivelación del trabajo de campo sobre los (GCP). Asimismo, se confirmó mediante Google Earth la altura promedio, considerando que utiliza el modelo digital de terreno del proyecto SRTM. Altura promedio determinada: 3430 m. Ver figura 6.



Fuente: Elaboración sobre resultados de Google Earth Pro

**Figura 6:** Altura media determinada en Google Earth Pro

**Cálculo Factor de escala por efecto de la altura (Kh)<sup>6</sup>**

- Para el cálculo del (PTL), es necesario determinar el Factor de escala por efecto de la altura (Kh), que representa la altura del terreno sobre el elipsoide (cercano a la altura sobre el nivel medio del mar), representando la tangencia con un punto del terreno obteniéndose para éste, la directa relación terreno – plano de proyección. Considerando los parámetros del elipsoide WGS 84,  $Kh = 1,000539291$

**Parámetros para el (PTL)**

- Realizado los cálculos y determinados los valores se tienen los siguientes parámetros para crear la proyección (PTL) en el programa LEICA Geo Office.

**(PTL) COTA COTA**  
**FALSO ESTE (m): 200000**  
**FALSO NORTE (m): 3000000**  
**MC: 68°00'00" W**  
**ANCHO DE ZONA: 1°**  
**Kh: 1,000539291**

**Proyección (PTL) COTA COTA en LEICA Geo Office**

- Determinados los parámetros del (PTL), se creó con en el programa LEICA Geo Office la ventana correspondiente al nuevo sistema de proyección, *PTL\_COTA\_COTA\_01*, introduciendo los parámetros correspondientes. Creado el nuevo sistema de coordenadas, se ajustan los datos (GNSS), para determinar las coordenadas de los (GCP) en la proyección UTM, obteniéndose de esta manera las coordenadas (PTL) de los Puntos de Control Terrestre (GCP).

**b.2) Procesamiento de imágenes transmitidas por eBee de senseFly en coordenadas (PTL)**

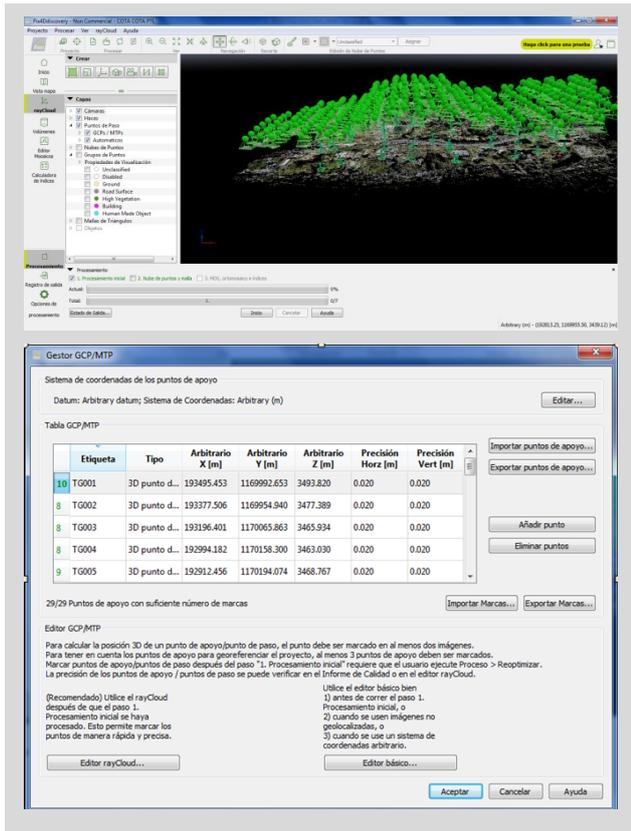
Para realizar el procesamiento de las imágenes transmitidas por eBee de senseFly. Aplicando las

$$^6 Kh = (Rm + hm)/Rm$$

Kh = Factor de escala efecto de la altura, Rm = Radio Medio de curvatura, hm = altura media

coordenadas (PTL), en el programa Pix4Dmapper, modificando el paso 1 (párrafo b), específicamente al momento en el que se realiza la “georeferenciación” del proyecto.

Definidos los datos de entrada (similares párrafo b), se establecen los datos de salida. Aplicando las coordenadas (PTL) establecidas en los 29 Puntos de Control Terrestre (GCP). El programa Pix4Dmapper tiene el Gestor de GCP, el cual permite la opción de importar los puntos de apoyo (GCP), que deben ser estructurados en un archivo<sup>7</sup> \*.txt, con las columnas de X (coordenada Este), Y (coordenada Norte) y Z (altura), en este caso se consideró la altura elipsoidal de los puntos. Ver figura 7.



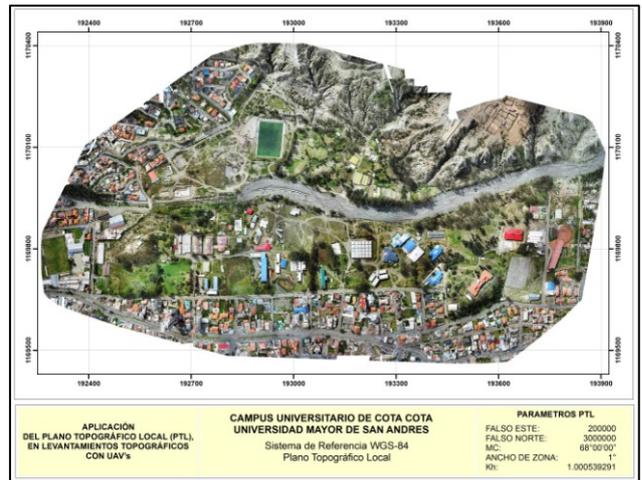
Fuente: Elaboración sobre resultados programa Pix4Dmapper

Figura 7: GCP con coordenadas en (PTL) en Pix4Dmapper

La configuración y procesamiento (pasos 2 y 3, párrafo b), son similares (convencionales), a los realizados en el primer procesamiento utilizado en la proyección UTM Zona 19 Sur. Los resultados de todo el procesamiento son el Ortomosaico, el Modelo Digital de Superficie (MDS), y el Modelo Digital del Terreno (MDT), con coordenadas (PTL). Ver figura 8.

<sup>7</sup> El proceso de marcado es también convencional, identificando las dianas en las imágenes y marcando imagen por imagen. Otra opción a utilizar, a fin de reducir el proceso manual, es la creación del archivo \*.prj, incorporando en su formato todos los parámetros del (PTL) determinados para el proyecto. El archivo \*.prj, creado servirá en el momento de seleccionar el sistema de coordenadas de salida, para posteriormente continuar con el proceso convencional.

```
PROJCS["PTL_COTA_COTA",GEOGCS["GCS_WGS_1984",DATUM["D_WGS_1984",SPHEROID["WGS_1984",6378137.0,298.257223563]],PRIMEM["Greenwich",0.0],UNIT["Degree",0.017453292519943295]],PROJECTION["Transverse_Mercator"],PARAMETER["False_Easting",2000000.0],PARAMETER["False_Northing",3000000.0],PARAMETER["Central_Meridian",-68.0],PARAMETER["Scale_Factor",1.000539291],PARAMETER["Latitude_of_Origin",0.0],UNIT["Meter",1.0]]
```



Fuente: Elaboración resultado del procesamiento de imágenes (PTL)

Figura 8: Mapa del ortomosaico Campus Universitario en (PTL).

**c) Determinación distancias y coordenadas, trabajo de campo (estación total y cinta métrica)**

El ortomosaico, resultado del procesamiento de imágenes con transmitidas por eBee de senseFly, generado tanto en proyección UTM Zona 19 Sur, como aplicando el (PTL). Es un producto topográfico que sirve para determinar valores de distancias, superficies y digitalización de elementos cartográficos, etc. Que fueron comparados con la mensura en campo de distancias horizontales topográficas tanto con Estación Total como también con cinta métrica.

**c.1) Levantamiento con Estación Total (ET)**

Para realizar el levantamiento con Estación Total (ET) instrumento Zoom35-1" A10 - Serie: 2836112, se deben efectuar las correcciones atmosféricas y geométricas:

Correcciones atmosféricas:			
Temperatura: 10 °C	Humedad: 60%	Presión: 493 mm Hg (658 hPa)	
Cota: 3454 s. n. m	Cálculo del PPM: 99		Coef. Refracción: 0,14
Correcciones geométricas:			
Factor combinado (Anam): 1,0000000000			

- Se utilizaron los mismos Puntos de Control Terrestre (GCP), para establecer los puntos de Estación y Referencia (Orientación), que se encuentran señalados en el Campus Universitario considerando sus coordenadas en (PTL) con las correcciones detalladas anteriormente. Obteniéndose mensuras de distancias y determinación de coordenadas de cuatro lugares: 1) Terreno deportivo futsal, 2) loza FCPN, 3) terreno deportivo Futbol, 4) edificación FCPN, para poder comparar con los establecidos en los ortomosaicos en UTM Zona 19 Sur y (PTL) definidos para el área de estudio.



Levantamiento con Estación Total (ET).  
Crédito H. Mamani G. (2023)

El Área comprende el terreno deportivo de fútbol y parte de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímicas (figura 9), donde se logró levantar de igual forma elementos foto identificables en los ortomosaicos: terreno de fútbol (líneas de trazo), longitud de las graderías, puntos (GCP) y (ET) para determinar sus coordenadas en (PTL) y las distancias entre éstos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 9: Terreno deportivo de fútbol, levantamiento topográfico Estación Total (ET) campus universitario Cota Cota

c.2) Levantamiento con cinta métrica

Con el propósito de verificar las distancias medidas de los diferentes lugares para el levantamiento topográfico con Estación Total (ET). Se efectuaron en campo, mediciones con cinta métrica y jalón; que sirvieron para comparar resultados (ET) con las mediciones usando cinta métrica, y las otras coordenadas (UTM) y (PTL). Para realizar el levantamiento con cinta métrica se controlaron los errores por catenaria<sup>8</sup> y horizontalidad<sup>9</sup> principalmente.



Levantamiento con cinta métrica (CM). Crédito: H. Mamani G. (2023)

d) Comparación distancias entre Puntos de Control Terrestre (GCP)

d.1) Comparación entre coordenadas

Determinación de distancias en función a las coordenadas proyección UTM y en (PTL) de los puntos observados, comparados con las distancias horizontales topográficas obtenidas en campo mediante Estación Total (ET), (considerando como valor verdadero la determinada en campo con ET). Los resultados muestran que las distancias determinadas con las coordenadas (PTL) se

<sup>8</sup> Cuando la cinta no está apoyada sobre el terreno y se mantiene suspendida de uno de los extremos.

<sup>9</sup> Cuando no se toma en cuenta la pendiente del terreno.

aproximan más a las determinadas en campo con la (ET), encontrando 47 mm entre los puntos TG019-TG002 como diferencia máxima y como valor mínimo 2 mm entre los puntos TG020-TG003. En comparación con las coordenadas UTM que presenta un valor absoluto máximo de 341 mm y un valor absoluto mínimo de 12 mm. Ver tabla 1.

Tabla 1  
Comparación distancias (GCP) por coordenadas

De punto	Hasta punto	Coordenadas			Diferencia (m)		
		UTM (1)	PTL (2)	ET (3)	1-3	2-3	
TG025	TG024	118,276	118,373	118,389	-0,113	-0,016	
<b>TG026</b>	<b>TG005</b>	411,077	411,413	<b>411,418</b>	<b>-0,341</b>	<b>-0,005</b>	
TG005	TG004	89,139	89,213	89,233	-0,094	-0,020	
TG005	TG010	186,405	186,557	186,562	-0,157	-0,005	
TG005	TG008	304,966	305,215	305,189	-0,223	0,026	
TG005	TG007	267,454	267,671	267,665	-0,211	0,006	
TG005	TG006	117,082	117,178	117,175	-0,093	0,003	
TG005	TG026	411,077	411,413	411,417	-0,340	-0,004	
<b>TG020</b>	<b>TG003</b>	192,046	192,203	<b>192,201</b>	-0,155	<b>0,002</b>	
<b>TG020</b>	<b>TG021</b>	39,617	39,650	<b>39,629</b>	<b>-0,012</b>	<b>0,021</b>	
TG020	TG022	156,421	156,549	156,542	-0,121	0,007	
<b>TG019</b>	<b>TG002</b>	94,800	94,879	<b>94,832</b>	-0,032	<b>0,047</b>	
TG016	TG015	111,407	111,498	111,489	-0,082	0,009	
					<b>V Máx.</b>	<b>-0,341</b>	<b>0,047</b>
					<b>V mín.</b>	<b>-0,012</b>	<b>0,002</b>

Fuente: Elaboración propia.

d.2) Comparación considerando ortomosaicos

La comparación realizada utilizando los ortomosaicos (tanto en UTM como en PTL), se realizó con el programa ArcGIS, que determina las distancias gráficamente, marcando en los ortomosaicos los (GCP), sin embargo, se debe considerar que ya al tener resoluciones espaciales (pixel), de 5 cm, el error mínimo sería éste, pudiendo ser mayor, debido a que el pixel ya es una limitante para la identificación de un determinado punto. Las distancias medidas en el ortomosaico coordenadas UTM son las que tienen mayores diferencias, estableciendo un valor máximo de 335 mm y un mínimo de 52 mm. Mientras que en el ortomosaico coordenadas (PTL) se tienen diferencias de 44 mm máximo y 5 mm mínimo. Tabla 2.

Tabla 2  
Comparación distancias (GCP) ortomosaico y (ET)

De punto	Hasta punto	ORTOMOSAICO			Diferencia (m)		
		UTM (1)	PTL (2)	ET (3)	1-3	2-3	
TG025	TG024	118,326	118,376	118,389	-0,063	-0,013	
TG026	TG005	411,098	411,448	411,418	-0,320	0,030	
TG005	TG004	89,132	89,228	89,233	-0,101	<b>-0,005</b>	
TG005	TG010	186,505	186,593	186,562	-0,057	0,031	
TG005	TG008	305,013	305,223	305,189	-0,176	0,034	
TG005	TG007	267,488	267,709	267,665	-0,177	<b>0,044</b>	
TG005	TG006	117,103	117,204	117,175	-0,072	0,029	
<b>TG005</b>	<b>TG026</b>	411,082	411,408	411,417	<b>-0,335</b>	-0,009	
TG020	TG003	192,03	192,221	192,201	-0,171	0,020	
TG020	TG021	39,572	39,614	39,629	-0,057	-0,015	
TG020	TG022	156,373	156,527	156,542	-0,169	-0,015	
<b>TG019</b>	<b>TG002</b>	94,78	94,861	94,832	<b>-0,052</b>	0,029	
TG016	TG015	111,435	111,516	111,489	-0,054	0,027	
					<b>V Máx.</b>	<b>-0,335</b>	<b>0,044</b>
					<b>V mín.</b>	<b>-0,052</b>	<b>-0,005</b>

Fuente: Elaboración propia

En consecuencia, aplicando en los (GCP) coordenadas en (PTL), se referencia mejor el ortomosaico respecto a las

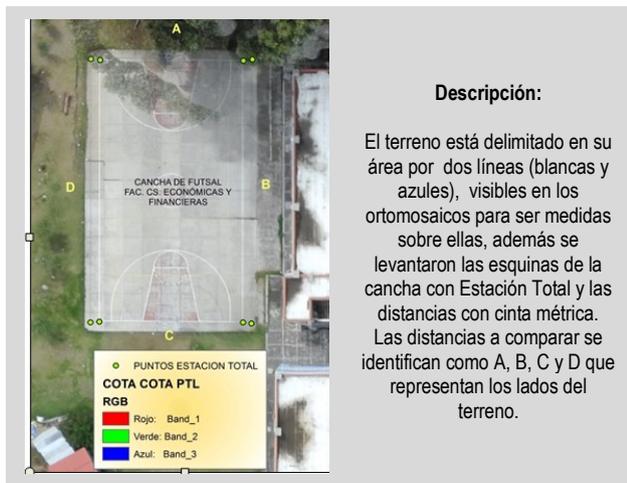
distancias horizontales topográficas determinadas en el terreno, obteniéndose valores que van de 5 mm a 44 mm.

**e) Comparación distancias en el terreno**

**e.1) Comparación ortomosaicos, (ET) y cinta métrica**

Similar que en los casos de la determinación de distancias entre (GCP), se procedió a comparar las distancias de una serie de terrenos medidos en campo, a fin de verificar sus variaciones en valores. Los procedimientos fueron los mismos que para la determinación de los ortomosaicos, considerando como valor verdadero las medidas de la Estación Total (ET).

**CASO 1: Terreno deportivo de fútbol, Facultad de Ciencias Económicas y Financieras**



**Descripción:**  
El terreno está delimitado en su área por dos líneas (blancas y azules), visibles en los ortomosaicos para ser medidas sobre ellas, además se levantaron las esquinas de la cancha con Estación Total y las distancias con cinta métrica. Las distancias a comparar se identifican como A, B, C y D que representan los lados del terreno.

Un aspecto importante para determinar distancias en los ortomosaicos es el color del elemento a medir, por ejemplo, la línea blanca que delimita el terreno deportivo de fútbol en los ortomosaicos se muestran con los límites reflectados (el grosor de las líneas aumentaron porque el color blanco refleja la luz), por lo cual no deberán ser medidos en la misma ubicación que en el terreno. Por otro lado, el color azul se disipa en contraste con el cemento por lo cual algunas líneas desaparecen y es difícil de medirlas en los ortomosaicos. Recordando también que los ortomosaicos tienen resoluciones espaciales (pixeles), de 5 cm, error mínimo que limita la identificación de los elementos (en este caso las esquinas de las líneas que delimitan el terreno deportivo). Ver tablas 3 a y 3b.

**Tabla 3a**  
**Comparación de distancias terreno deportivo fútbol**  
**Facultad de Ciencias Económicas y Financieras**

LÍNEA BLANCA								
Medida	Ortomosaico		Levantamiento		Diferencias (m)			
	UTM (1)	PTL (2)	CM (3)	ET (4)	UTM 1-4	PTL 2-4	CM 3-4	
A	15,017	15,031	15,050	15,035	-0,018	-0,004	0,015	
B	27,821	27,866	27,860	27,884	-0,063	-0,018	-0,024	
C	15,048	15,057	15,060	15,070	-0,022	-0,013	-0,010	
D	27,793	27,933	27,910	27,876	-0,083	0,057	0,034	
					<b>V Máx.</b>	<b>-0,083</b>	<b>-0,057</b>	<b>0,034</b>
					<b>V mín.</b>	<b>-0,018</b>	<b>-0,004</b>	<b>-0,010</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3 b**  
**Comparación de distancias terreno deportivo fútbol**  
**Facultad de Ciencias Económicas y Financieras**

LÍNEA AZUL								
Medida	Ortomosaico		Levantamiento		Diferencias (m)			
	UTM (1)	PTL (2)	CM (3)	ET (4)	UTM 1-4	PTL 2-4	CM 3-4	
A			16,910	16,953			-0,043	
B			28,060	28,125			-0,065	
C			16,950	16,897			0,053	
D	27,999	28,014	28,100	28,061	-0,062	-0,047	0,039	
					<b>V Máx.</b>	<b>-0,062</b>	<b>-0,047</b>	<b>-0,065</b>
					<b>V mín.</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,039</b>

Fuente: Elaboración propia

- Las distancias en las líneas blancas, indican diferencias menores entre las medidas con cinta métrica (CM) y la Estación Total (ET), seguida por las distancias determinadas en el ortomosaico (PTL) y finalmente las del ortomosaico en UTM.
- En el caso de las diferencias de los valores con cinta métrica (CM) Estación total (ET), el valor máximo es 34 mm y el mínimo a 10 mm; para el caso de las diferencias con el Ortomosaico (PTL), el valor máximo de 57 mm y el mínimo de 4 mm.
- Por lo tanto, las diferencias de los valores determinados en el Ortomosaico UTM son los mayores alcanzando un máximo de 83 mm y un mínimo de 18 mm.
- Es evidente que la aplicación (PTL) en los ortomosaicos permite determinar distancias más precisas a las distancias horizontales topográficas medidas en el terreno. Sin embargo, para distancias menores a 30 metros (como el caso analizado), se debe considerar, que la distorsión para esa medida en la proyección UTM tendría que aproximarse a 12 mm (considerando el factor de escala del meridiano central 0,9996), lo cual sería despreciable considerando que la resolución espacial del ortomosaico es de 50 mm. (Determinando al azar un punto que por debajo de 50 mm, no se puede identificar claramente en la imagen).

**CASO 2: Construcción – Loza, Facultad de Ciencias Puras y Naturales**

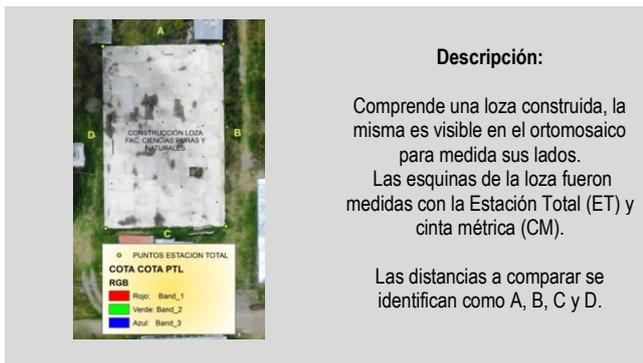
**Tabla 4**  
**Comparación de distancias construcción – loza**  
**Facultad de Ciencias Puras y Naturales**

LOZA								
Medida	Ortomosaico		Levantamiento		Diferencias (m)			
	UTM (1)	PTL (2)	CM (3)	ET (4)	UTM 1-4	PTL 2-4	CM 3-4	
A	21,915	21,929	21,958	21,940	-0,025	-0,011	0,018	
B	33,850	33,936	33,970	33,955	-0,105	-0,019	0,015	
C	21,902	21,919	21,958	21,945	-0,043	-0,026	0,013	
D	33,870	33,898	33,938	33,926	-0,056	-0,028	0,012	
					<b>V Máx.</b>	<b>-0,105</b>	<b>-0,028</b>	<b>0,018</b>
					<b>V mín.</b>	<b>-0,025</b>	<b>-0,011</b>	<b>0,012</b>

Fuente: Elaboración propia

De manera similar, los valores con menores diferencias, corresponden cinta métrica (CM) Estación total (ET)

máximo de 18 mm y un mínimo de 12 mm, seguido con valores un poco más altos, diferencias (ET) y (PTL).



**Descripción:**

Comprende una loza construida, la misma es visible en el ortomosaico para medida sus lados. Las esquinas de la loza fueron medidas con la Estación Total (ET) y cinta métrica (CM). Las distancias a comparar se identifican como A, B, C y D.

**CASO 3: Terreno deportivo de futbol Campus UMSA Cota - Cota**

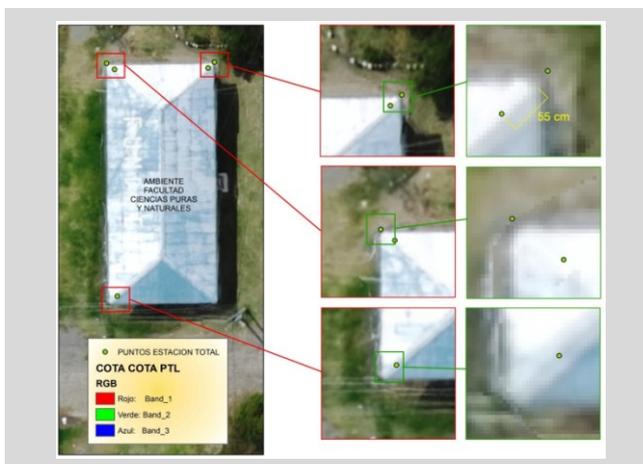
Los resultados muestran que los valores con menor diferencia a los registrados por la Estación Total (ET), corresponden a los determinados con cinta métrica (CM), con valores: máximo de 42 mm y mínimo de 3 mm, seguido por los determinados en el ortomosaico (PTL) máximo 44 mm y mínimo de 20 mm. En cuanto a las distancias determinadas en el ortomosaico en UTM las variaciones llegan a máximo de 105 mm y un mínimo de 64 mm. Ver tabla 5.

**Tabla 5**  
Comparación de distancias Terreno deportivo de futbol Campus UMSA Cota - Cota

TERRENO DEPORTIVO FUTBOL							
Medida	Ortomosaico		Levantamiento		Diferencias (m)		
	UTM (1)	PTL (2)	CM (3)	ET (4)	UTM 1-4	PTL 2-4	CM 3-4
A	68,218	68,283	68,212	68,309	-0,091	-0,026	0,003
B	100,061	100,168	100,130	100,125	-0,064	0,043	0,005
C	68,233	68,259	68,338	68,303	-0,070	-0,044	0,035
D	100,157	100,242	100,220	100,262	-0,105	-0,020	-0,042
					<b>V Máx. -0,105</b>	<b>-0,044</b>	<b>-0,042</b>
					<b>V mín. -0,064</b>	<b>-0,020</b>	<b>0,003</b>

Fuente: Elaboración propia

**CASO 4: Ambiente Fac. de Ciencias Puras y Naturales**



Fuente: Elaboración ortomosaico (PTL)

Señalización tres esquinas de la estructura del ambiente, y dos esquinas de la acera norte. Ambiente FCPN

Realizado el análisis de resultados, la distancia de la pared medida con cinta métrica corresponde a 7,502 m, y la determinada con Estación Total igual a 7,514, con una variación de 12 mm, sin embargo, esta distancia no puede ser medida en los ortomosaicos por que el techo no permitió una determinación directa.

En consecuencia, la verificación de campo previa, es otro aspecto a considerar en la determinación de límites del terreno. Al no efectuar esta verificación de campo se puede cometer un error; como en este caso, el techo de la edificación puede incrementar las dimensiones del terreno.

En el caso de la acera, la distancia con cinta métrica resulto igual a 8,636 m, y con Estación Total igual a 8,651, con una variación de 15 mm, en el caso de los ortomosaicos es difícil de poder identificar la acera por la dispersión de luz que ocurrió en la imagen por el brillo que reflejaba la calamina.

Respecto al tamaño de pixel (5 cm), al igual que en los casos anteriores afecta en la determinación del límite del techo, y también de la acera por el reflejo en la calamina.

**CONCLUSIONES**

Resultado de la aerofotogrametría generada por la cámara del eBee de senseFly – Drone. Se aplicó el Plano Topográfico Local (PTL), para determinar las coordenadas de los Puntos de Control Terrestre (GCP), en (PTL) con una resolución espacial (pixel), de 5 cm, la misma que en el aspecto de georeferenciación se encuentra con un error medio cuadrático (RMS), de 0,018 m por debajo del tamaño de pixel.

Generando el ortomosaico del área de estudio en proyección UTM, Zona 19 Sur, con sistema de referencia WGS 84 y resolución espacial de 5 cm, producto con el cual se realizaron comparación de una serie de elementos medidos en campo.

Las medidas de la Estación Total (ET), consideradas como las de referencia, para una serie de puntos (GCP), fueron comparadas con las coordenadas UTM y (PTL), obteniéndose diferencias mínimas para el (PTL), máximo de 47 mm y mínimo de 2 mm. Demostrando que el Plano Topográfico Local (PTL) minimiza las variaciones con las distancias horizontales topográficas. En el caso de las distancias proyectadas en coordenadas UTM, éstas registran diferencias mayores con las distancias horizontales topográficas, máximo 341 mm y mínimo 12 mm.

Se realizó la comparación de distancias entre puntos (GCP) determinados directamente en los ortomosaicos y comparados con las distancias horizontales topográficas medidas con Estación Total (ET), los resultados muestran que evidentemente las distancias medidas en el ortomosaico en (PTL) representa variaciones mínimas máximo 44 mm y mínimo de 5 mm, demostrando también que el uso de (PTL) para la generación de ortomosaicos es adecuado y permite determinar distancias directamente en la imagen.

Las distancias determinadas con el ortomosaico en UTM, son mayores. Por lo tanto, en proyectos de alta precisión esta limitante, afectarían al comparar con las distancias horizontales topográficas del terreno.

El análisis comparativo de vértices de construcciones levantamiento Estación Total (ET) con los del ortomosaico en (PTL), muestran que efectivamente los puntos determinados con Estación Total (ET) marcan ubicaciones correctas en el ortomosaico. Sin embargo, al ser una imagen digital y ampliar el área de análisis, la resolución espacial (pixel = 5 cm), es un factor determinante para la ubicación del vértice, esquina, límite del predio o construcción. Así, para determinar límites de predios y construcciones directamente en el ortomosaico, se debe evaluar con mucho cuidado, porque se podrían omitir las salientes de las construcciones (volado de techo) que en el ortomosaico no se logran apreciar plenamente, puede ocasionar errores de distancias y más aún de superficies.

Por lo tanto, el uso del Plano Topográfico Local (PTL) para la generación de ortomosaicos a partir de la asistencia aerofotogramétrica de (UAV's-drones) es recomendable, para determinar distancias horizontales topográficas con precisiones por lo general milimétricas. Dependiendo de la dimensión de las distancias y la resolución espacial (pixel) del ortomosaico.

Finalmente, el ortomosaico en coordenadas (PTL) para la determinación de límites de predios y construcciones (propósitos catastrales), resulta ser bastante preciso dependiendo de las tolerancias que exigen las normativas vigentes y de cada municipio, y también de la resolución espacial de pixel, y el efecto de dispersión en colores claros de los elementos a delimitar.

#### Referencias bibliográficas:

- [1] Fuentes, S., Valladares M., 2006, Diagnóstico del uso de Proyecciones Transversales de Mercator en Escalas urbanas. Recuperado de: [https://www.academia.edu/4920846/DIAGN%C3%93STICO\\_DEL\\_USO\\_DE\\_PROYECCIONES\\_TRANSVERSALES\\_DE\\_MERCATOR\\_EN\\_ESCALAS\\_URBANAS](https://www.academia.edu/4920846/DIAGN%C3%93STICO_DEL_USO_DE_PROYECCIONES_TRANSVERSALES_DE_MERCATOR_EN_ESCALAS_URBANAS),
- [2] Sánchez, F.N.Y.S., Bolívar, M.A.F.B., 2016, Generación de Planos Topográficos Locales (PTL) aplicando el Método Modelaje 3D en la Poligonal Chocontá – Suesca, Bogotá – Colombia,
- [3] Martín, U.J.C., Calvo, A. E. J., 2015, Definición de Planos Topográficos Locales para un caso de Estudio, Poligonal Predio El Triunfo – Sopó Cundinamarca, Aplicando la metodología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi para el Sistema de Coordenadas Planas Cartesianas Origen Local (Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Recuperado de <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/4888>,
- [4] Valeije, I.I. (s. f.), Uso del Plano Topográfico Local en obras lineales de Ingeniería: Caso Autopista Presidente Dutra. 10, Brasil.

#### BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

- Bautista, G. G., 2018, Implementación de Plano Topográfico Local (PTL), para el desarrollo y ejecución de obras civiles en el Proyecto de Industrialización de los Recursos Evaporíticos del Salar de Uyuni (Potosí Bolivia), La Paz – Bolivia,
- Gutiérrez, J. A., 2016, Trabajos de fotogrametría a pequeña escala. Puno – Perú,
- Pix4D, 2018, Pix4Dmapper Guía de inicio,
- Tola, V.R., 2010, Aplicación de la Proyección Local Transversa de Mercator (LTM), sobre el Plano Topográfico Local (PTL), mediante observaciones con Estación Total entre puntos de control, La Paz – Bolivia,
- Vargas, V. R., 2012, Propuesta Jurídica y Técnica de un nuevo Sistema de Proyección Local, en sustitución del Sistema de Proyección UTM, La Paz – Bolivia.

(\*), MSc. en Ciencias Geomáticas aplicada a la gestión territorial, recursos naturales y medio ambiente, Licenciado en Topografía y Geodesia, Docente Investigador Instituto de Investigaciones y Aplicaciones Geomáticas IIAG – Carrera de Geodesia Topografía y Geomática, <http://gtgiag.umsa.bo/>, Facultad de Tecnología – UMSA.