



Comparación de metodologías en levantamientos topográficos por medio de GPS diferencial y dron equipado con módulo RTK



Yandri Roberto Martínez Sánchez
María Eloisa Parra Salcedo
Karla Denisse Salazar Bustamante
Paul Eduardo Suarez Ramos
Verónica Mercedes Serrano Sánchez

**Comparación de Metodologías en
Levantamientos Topográficos por Medio de
Gps Diferencial y Dron Equipado con
Módulo Rtk**

Yandri Roberto Martínez Sánchez
María Eloisa Parra Salcedo
Karla Denisse Salazar Bustamante
Paul Eduardo Suarez Ramos
Verónica Mercedes Serrano Sánchez

IMPORTANTE

La información aquí presentada no pretende sustituir el consejo profesional en situaciones de crisis o emergencia. Para el diagnóstico y manejo de alguna condición particular es recomendable consultar un profesional acreditado.

Cada uno de los artículos aquí recopilados son de exclusiva responsabilidad de sus autores

ISBN: 978-9942-568-88-5

Una producción © Cuevas Editores SAS

Enero 2026

Av. República del Salvador, Edificio TerraSol 7-2

Quito, Ecuador

www.cuevaseditores.com

Editado en Ecuador - Edited in Ecuador

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Índice

Capítulo 1: El Arte de Medir la Tierra: Del Antiguo Egipto a la Era Digital	5
Capítulo 2: El Desafío Bananero: Mapeando los Terrenos más Exigentes del Ecuador	17
Capítulo 3: Señales del Cielo: Cómo el GPS Diferencial Conquistó el Territorio	28
Capítulo 4: Ojos en las Nubes: La llegada del Dron con Precisión Milimétrica	39
Capítulo 5: El Gran Duelo Tecnológico: Comparando dos Mundos bajo el Mismo Sol	51
Capítulo 6: La Frontera de la Precisión: Resultados de una Medición Casi Perfecta	62
Capítulo 7: Carrera contra el Reloj: La Velocidad de los Datos en Tiempo Real	72
Capítulo 8: El Dilema de la Inversión: Balanceando Costos, Tecnología y Eficiencia	82
Capítulo 9: Bajo control: Reglas de Vuelo y el Nuevo rol del Topógrafo Moderno	93
Capítulo 10: De la Teoría a la Obra: Aplicaciones reales que Transforman la Ingeniería	105
Capítulo 11: Hacia un Nuevo Horizonte: El Futuro de la Topografía y el Mapeo Inteligente	116
Datos de Autores	126

Capítulo 1: El Arte de Medir la Tierra: Del Antiguo Egipto a la Era Digital

Cada vez que caminamos por una calle pavimentada, entramos en un edificio de gran altura o simplemente observamos los límites de una finca agrícola, estamos interactuando con el resultado de una de las disciplinas más antiguas y fundamentales de la humanidad: la topografía. Aunque a menudo pasa desapercibida para el ciudadano común, esta ciencia y técnica dedicada a la medición, representación y análisis de la superficie terrestre es la columna vertebral sobre la cual se construye nuestra civilización. Su objetivo principal, que parece sencillo pero encierra una complejidad asombrosa, es determinar las características físicas de un terreno, incluyendo su forma, sus dimensiones exactas, el relieve que lo compone y su ubicación precisa en el vasto espacio que llamamos hogar.

La topografía es, en esencia, el lenguaje con el cual traducimos la realidad física e irregular del mundo a un formato que el ingenio humano pueda comprender y transformar. Antes de que una sola piedra sea colocada para construir una carretera o de que se trace un canal de riego en una plantación bananera, un topógrafo debe haber "leído" el terreno. Esta labor no se limita meramente a medir distancias; es un proceso vital en la planificación y ejecución de cualquier proyecto de construcción moderno. Al establecer líneas y niveles precisos, los profesionales

de esta área crean la base invisible pero indispensable para el diseño de estructuras que garantizan nuestra seguridad y calidad de vida, desde simples viviendas hasta presas hidroeléctricas de gran envergadura.

Para entender cómo hemos llegado a las maravillas tecnológicas de hoy, como los drones que sobrevuelan nuestras cabezas con precisión milimétrica, debemos retroceder en el tiempo hasta los albores de la historia. Aunque no se conoce con absoluta exactitud el momento en que nació esta ciencia, existe un consenso académico que sitúa los primeros trabajos topográficos conocidos en el Antiguo Egipto. Allí, la medición de la tierra no era una opción, sino una necesidad de supervivencia. Cada año, las inundaciones del río Nilo borraban los límites de las parcelas agrícolas, obligando a los "estiradores de cuerdas" —los antecesores de los actuales ingenieros— a restablecer los linderos de propiedad para asegurar que la agricultura, motor de su imperio, pudiera continuar con orden.

Ese impulso inicial, nacido de la necesidad de administrar el territorio, evolucionó de la mano del pensamiento griego. Figuras como Anaximandro y Mileto comenzaron a plasmar el mundo en cartas geográficas, pero fue en esta cultura donde la medición pasó de ser una técnica práctica a una disciplina científica vinculada a la matemática. No podemos hablar de la historia de la medición sin mencionar a Eratóstenes, un genio que dio un paso crucial al desarrollar un método científico para calcular el radio

terrestre. Su trabajo fue complementado por Hiparco, quien dividió la circunferencia en trescientos sesenta grados, un aporte tan fundamental que hoy en día lo consideramos el "padre de la Geodesia", la ciencia hermana de la topografía que se encarga de estudiar la forma y dimensiones de la Tierra a gran escala.

En este punto, es vital que el lector comprenda un concepto que será el hilo conductor de nuestro viaje: la Tierra no es una esfera perfecta. En el lenguaje de la ciencia, nuestro planeta es un "geoide", un cuerpo casi esférico que presenta un leve achatamiento en sus polos y un ensanchamiento en el ecuador, producto de la gravedad y la fuerza centrífuga de su propia rotación. Esta irregularidad es la que hace que la labor del topógrafo sea tan desafiante. No estamos midiendo sobre una mesa plana, sino sobre una superficie curva y caprichosa donde incluso la curvatura del planeta debe ser ajustada mediante cálculos matemáticos para obtener proporciones reales de un espacio físico.

Tradicionalmente, la topografía se ha dividido en dos grandes ramas que trabajan en armonía: la planimetría y la altimetría. La primera se encarga de proyectar la localización de puntos importantes sobre una superficie plana, como si viéramos el mundo desde arriba en un dibujo de dos dimensiones. La segunda, la altimetría, es la que otorga profundidad y relieve, determinando las alturas

de los distintos puntos utilizando generalmente el nivel medio del mar como su referencia cero. Cuando estas dos ramas se unen, obtenemos un estudio planialtimétrico, una descripción integral de la morfología del terreno que nos permite entender cada colina, valle o depresión con una fidelidad asombrosa.

Durante siglos, el equipo del topógrafo fue evolucionando lentamente. De las cuerdas egipcias pasamos a las cintas métricas para mediciones directas y, más tarde, a instrumentos óptico-mecánicos más sofisticados. Aparecieron herramientas como la brújula para orientarnos respecto al norte magnético y el teodolito, un instrumento diseñado para medir ángulos horizontales y verticales con gran precisión. Estos métodos clásicos exigían que los profesionales estuvieran físicamente presentes en cada rincón del terreno, a menudo enfrentándose a condiciones climáticas hostiles o vegetación impenetrable para poder clavar un jalón o colocar una mira de nivelación.

A medida que el siglo XX avanzaba, la tecnología electrónica comenzó a integrarse en estos instrumentos, dando lugar a las estaciones totales. Estos dispositivos marcaron un antes y un después al integrar sistemas de medición láser que calculan automáticamente distancias, ángulos y coordenadas, reduciendo significativamente el error humano y aumentando la rapidez del trabajo de campo. Sin embargo, incluso con estas mejoras, el desafío seguía siendo el mismo: el tiempo y el acceso. ¿Cómo

medir de forma eficiente un área de cientos de hectáreas de densa vegetación tropical, como las que abundan en las provincias ecuatorianas de Guayas y Los Ríos?

La respuesta comenzó a descender del cielo con la llegada de la era espacial. El desarrollo del Sistema de Posicionamiento Global, conocido por todos como GPS, transformó radicalmente la navegación y la topografía. De repente, ya no dependíamos únicamente de líneas de visión directas entre dos puntos en el suelo; ahora podíamos utilizar una constelación de satélites orbitando la Tierra para obtener coordenadas exactas en tiempo real. Este salto tecnológico permitió a los topógrafos realizar levantamientos con una rapidez que sus antecesores habrían considerado mágica, eliminando muchas de las barreras físicas que imponía el terreno.

Sin embargo, el GPS convencional, el mismo que usamos en nuestros teléfonos inteligentes, tiene un margen de error que puede variar entre dos y cuatro metros debido a distorsiones atmosféricas. Para la ingeniería civil o la agricultura de precisión, este margen es inaceptable. Necesitábamos algo más. Es aquí donde entra en escena el concepto de GPS diferencial y, posteriormente, la tecnología RTK (Cinemática en Tiempo Real). Estos sistemas no solo escuchan a los satélites, sino que utilizan estaciones de referencia en tierra —puntos fijos con coordenadas conocidas con exactitud milimétrica— para corregir los errores de la señal satelital en el acto.

Este viaje desde las cuerdas egipcias hasta las señales que viajan a la velocidad de la luz nos prepara para el dilema moderno que motiva este libro. En un país como Ecuador, donde el desarrollo territorial y la tecnificación de la ingeniería son pilares para el progreso, surge una pregunta fundamental: ¿cuál es la mejor manera de mapear nuestro futuro? Por un lado, tenemos la solidez del GPS diferencial, una tecnología establecida y confiable que requiere un despliegue humano considerable en el terreno. Por otro, nos encontramos ante la revolución de la aerofotogrametría mediante drones equipados con módulos RTK, capaces de capturar miles de imágenes de alta resolución en una fracción del tiempo que tomaría un levantamiento tradicional.

Para comprender la magnitud de la revolución que estamos viviendo, debemos detenernos un momento en la figura geométrica que define todo nuestro trabajo. Como mencionamos anteriormente, la Tierra no es perfecta; es un geoide. Esta forma casi esférica, achatada en los polos por la fuerza centrífuga de su rotación y ensanchada en el ecuador, es el lienzo irregular sobre el que debemos dibujar con precisión milimétrica. Aquí radica uno de los mayores desafíos de la ciencia moderna: ¿cómo convertir la altura que nos da un satélite en el espacio en una medida útil para un ingeniero que está construyendo un puente en Guayaquil? La respuesta reside en una fórmula matemática que parece sencilla pero que encierra siglos de estudio: $H = h - N$. En esta ecuación, la altura que realmente nos importa para la construcción (la altura

ortométrica) se obtiene restando la ondulación del geoide a la altura puramente geométrica que captan nuestros sensores satelitales. Esta capacidad de traducir el lenguaje del universo a la realidad del suelo es lo que separa a la topografía clásica de la era digital.

La transición hacia esta modernidad no ocurrió de la noche a la mañana. Antes de que los drones surcaran el cielo, la topografía clásica se valía de sistemas abstractos de coordenadas y referencias esféricas que luego debían traducirse a un eje cartesiano plano para obtener proporciones reales. Durante décadas, el estándar de oro fue la estación total. Estos dispositivos representaron el primer gran salto hacia la automatización, al integrar en un solo aparato la capacidad de medir distancias mediante láser y calcular ángulos con una precisión que los antiguos teodolitos mecánicos solo podían soñar. La estación total introdujo la agilidad: el cálculo automático de coordenadas que ahorraba tiempo y reducía drásticamente el error humano, ese factor siempre presente cuando un profesional debe anotar manualmente datos bajo el sol inclemente.

Sin embargo, el verdadero cambio de paradigma llegó cuando dejamos de mirar solo hacia el horizonte y empezamos a mirar hacia las estrellas. El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) permitió que los satélites en órbita transmitieran señales electromagnéticas a receptores en la superficie terrestre para determinar su ubicación exacta. Pero el GPS que todos conocemos, ese

que nos guía por la ciudad, tiene limitaciones. Factores como la atmósfera y la ionosfera distorsionan las señales, introduciendo errores que pueden ser de varios metros. Para un topógrafo, un error de un metro es la diferencia entre un edificio estable y un desastre arquitectónico. Por ello, la ciencia desarrolló el GPS diferencial o DGPS. Este sistema utiliza estaciones de referencia en puntos fijos y conocidos que calculan el error de la señal satelital en tiempo real y envían una corrección a los receptores móviles. En condiciones óptimas, esta técnica reduce el margen de error a apenas unos centímetros, proporcionando la exactitud necesaria para la agricultura de precisión o la ingeniería civil de gran escala.

Mientras estas tecnologías terrestres se perfeccionaban, otra revolución se gestaba en el aire: la fotogrametría. Aunque el término suena complejo, su principio fundamental es algo que todos hacemos instintivamente: la triangulación. Al igual que nuestros ojos utilizan dos perspectivas diferentes para percibir la profundidad, la fotogrametría toma imágenes desde distintas posiciones de un mismo objeto o terreno para cruzar "líneas de vista" y obtener coordenadas tridimensionales. Durante mucho tiempo, esta técnica requería aviones tripulados, lo que la hacía costosa y limitada a grandes proyectos gubernamentales. Pero la llegada de los vehículos aéreos no tripulados, o drones, democratizó el acceso al cielo.

Hoy en día, un dron equipado con tecnología RTK (Cinemática en Tiempo Real) es capaz de sincronizar su

control de vuelo, su cámara y su módulo de posicionamiento en microsegundos. Esto permite capturar la ubicación precisa del centro de cada imagen con una exactitud de nivel centimétrico, a menudo sin la necesidad de colocar tantos puntos de control manuales en el suelo, lo que ahorra una cantidad inmensa de tiempo y recursos económicos. Es, literalmente, llevar una estación de medición de alta precisión a las nubes.

Pero, ¿por qué es tan importante elegir la metodología correcta? La respuesta la encontramos en el territorio. En Ecuador, específicamente en las provincias de Guayas y Los Ríos, nos enfrentamos a desafíos únicos. Las plantaciones bananeras son terrenos planos pero inmensamente extensos, cubiertos por una vegetación densa que dificulta el acceso y la visibilidad. En estas condiciones, realizar un levantamiento tradicional con GPS diferencial puede convertirse en una odisea que demanda semanas de trabajo físico, un despliegue masivo de personal y un esfuerzo logístico agotador bajo el calor tropical. Aquí es donde la comparación científica se vuelve vital: mientras que el GPS diferencial es una garantía de precisión absoluta punto por punto, los drones RTK prometen una eficiencia temporal y una cobertura de áreas extensas que podrían transformar la productividad del sector.

Este libro no se limita a describir estas herramientas; se sumerge en una investigación rigurosa que utiliza el ciclo de mejora continua conocido como PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar). Esta metodología nos permite

estructurar la comparación no solo como un duelo de marcas o precios, sino como un proceso científico organizado que evalúa la precisión, la exactitud y la viabilidad económica en el mundo real. A lo largo de estas páginas, veremos cómo se implementaron ambas tecnologías en fincas como Isabel María y Agrícola del Pacífico, terrenos que sirvieron de laboratorio para determinar cuál es la mejor forma de mapear nuestra tierra.

Estamos en el umbral de una nueva era donde la topografía ya no es solo medir distancias con cuerdas o cintas, sino gestionar flujos masivos de datos geoespaciales. Desde el ordenamiento territorial hasta la construcción de infraestructuras sostenibles, la capacidad de obtener representaciones gráficas fieles de la superficie terrestre es la base de todo progreso. Al finalizar este recorrido, el lector no solo comprenderá cómo funcionan estos dispositivos, sino que podrá apreciar el valor invisible que aportan a nuestra sociedad: la certeza de que el suelo que pisamos y las estructuras que habitamos han sido medidos con el rigor que solo la unión entre la historia y la tecnología más avanzada puede ofrecer.

Bibliografía

1. Alcaraz, D. P. (2015). Levantamiento mediante GPS. Universidad Politécnica de Cartagena.
2. Blanco Suárez, M. A. (2022). Vuelo en área montañosa con vehículo aéreo no tripulado equipado con GNSS

- L1: análisis de la precisión fotogramétrica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
3. Cevallos. (2021). Evaluación de costos, rapidez y precisión en el levantamiento topográfico realizado con dron en la carreta Pillco Marca distrito de Cayran 2019.
 4. Claudio Antonio Ramirez Soto. Importancia de los levantamientos topográficos. (2022).
 5. Darum-sl. (s.f.). Técnicas de levantamiento topográfico: métodos tradicionales vs. tecnología moderna.
 6. Dji. (2024). Mavic 3M - Specifications.
 7. Egvuser. (2024). Aerofotogrametría.
 8. El Vuelo del Dron. (s.f.). Drones profesionales - Mavic 3 Multispectral.
 9. Eml Yd. (s.f.). RTK Introduction.
 10. GeoGest. (2021). Conceptos fundamentales en topografía.
 11. GeoPortal. (s.f.). Geodesia- Ecuador.
 12. Geoteknik S.A.C. (s.f.). Receptor GPS Diferencial.
 13. Global Mediterránea Geomática. (2020). Levantamiento topográfico con GPS.
 14. Gps (s.f.). Fundamentos del sistema GPS.
 15. Guandique (2015). Fundamentos básicos de fotogrametría.
 16. Iberoptics. (s.f.). Fundamentos básicos de fotogrametría 3D.
 17. Ingeoexpert. (2021). Topografía y sus objetivos.
 18. Instituto Geográfico Militar. (2020). Resoluciones técnicas.

19. Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). Teoría de la Geodesia.
20. Jiménez Granizo, M. J., & Yamasqui Sarmiento, J. D. (2022). Evaluación y valoración de levantamientos topográficos mediante aerofotogrametría y métodos tradicionales. Universidad Nacional de Chimborazo.
21. Latitud-19. (s.f.). Levantamiento geodésico.
22. McCormac, J. (2003). Topografía. Prentice Hall Internacional.
23. Pérez, J., & Ana, G. (2019). Definición de Geodesia.
24. Rodenas Chivichón, S. (2023). Análisis comparativo de los métodos fotogramétricos. Universidad de San Carlos de Guatemala.
25. Silva Velarde, E. O. (2024). Generación de ortofotografía y modelo digital de elevación con puntos de control RTK. Universidad Politécnica Salesiana Ecuador.
26. Toposervis. (s.f.). Topografía en proyectos de obra civil.
27. Utm30. (s.f.). Equipos de Topografía - SinoGNSS.
28. Villner. (2022). Tipos de levantamientos topográficos y su aplicación.
29. Wingtra AG. (s.f.). Aplicaciones cartográficas y SIG.

Capítulo 2: El Desafío Bananero: Mapeando los Terrenos más Exigentes del Ecuador

Ecuador es una tierra de contrastes geográficos que desafían constantemente el ingenio humano. En el corazón de su región litoral, las provincias de Guayas y Los Ríos se extienden como una alfombra verde de fertilidad inigualable, donde el banano no es solo un producto de exportación, sino el motor de una cultura y un ecosistema económico complejo. Sin embargo, bajo esa densa capa de hojas anchas y suelos generosos, se esconde uno de los mayores retos para la ingeniería civil y la planificación territorial: la dificultad de medir con exactitud un terreno que parece resistirse a ser capturado por los instrumentos convencionales. La topografía, esa ciencia que busca traducir la irregularidad de la superficie terrestre a un plano comprensible, encuentra en las plantaciones bananeras su prueba de fuego.

Para el ciudadano común, un mapa es una herramienta estática que indica rutas o límites. Pero para un ingeniero civil o un planificador agrícola, un mapa topográfico es una entidad viva que debe reflejar con precisión milimétrica cada desnivel, cada pendiente y cada accidente del terreno. Esta precisión es la que garantiza que un canal de riego fluya correctamente por gravedad, que una carretera no se inunde durante la temporada de

lluvias o que una estructura de gran envergadura se mantenga estable sobre el suelo arcilloso de la costa. En sectores como la ingeniería civil y la agricultura de precisión, la demanda de levantamientos topográficos precisos, eficientes y económicos es cada vez mayor, lo que subraya la necesidad de perfeccionar las metodologías que utilizamos para recolectar datos en el espacio.

El escenario principal de nuestra investigación se sitúa en dos puntos estratégicos que representan la diversidad y la complejidad del agro ecuatoriano: la finca Isabel María en la provincia de Los Ríos y la Agrícola del Pacífico en la provincia del Guayas. Estos lugares no fueron elegidos al azar; representan un entorno de homogeneidad climática donde las temperaturas oscilan entre los **24°C** y los **30°C**, con una humedad relativa que abraza al trabajador y una pluviosidad significativa que transforma el terreno de un día para otro. Es en este microclima tropical donde la tecnología debe demostrar su verdadera validez. No es lo mismo realizar un levantamiento en un desierto plano o en una ciudad pavimentada que hacerlo bajo el dosel de una plantación bananera, donde la vegetación es tan densa que oculta el cielo a los ojos de los satélites.

Históricamente, la medición del territorio ha sido una labor de sacrificio físico. Los topógrafos clásicos dependían de cintas métricas, brújulas y teodolitos ópticos que exigían una línea de visión directa entre dos puntos. Si un árbol se interponía en el camino, había que cortarlo o buscar una ruta alternativa. Con el tiempo, la llegada de

las estaciones totales electrónicas trajo consigo el uso de láseres para calcular distancias y ángulos, integrando en un solo dispositivo lo que antes requería varios instrumentos. Sin embargo, el problema fundamental persistía: la necesidad de que un equipo humano recorriera cada metro del terreno, enfrentándose a la fatiga, el calor extremo y las dificultades de acceso propias de la selva agrícola.

La evolución tecnológica nos llevó del suelo al cielo. La aparición del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) permitió que, por primera vez, pudiéramos determinar coordenadas exactas utilizando señales enviadas por una constelación de satélites en órbita. Pero aquí surgió una limitación técnica crítica: la precisión. El GPS convencional que todos llevamos en el bolsillo tiene un margen de error que puede ser de varios metros debido a las interferencias atmosféricas. Para la construcción de un puente o el diseño de una red de alcantarillado, un error de un metro es inaceptable. Es aquí donde el GPS diferencial se convirtió en el estándar de la industria, utilizando estaciones de referencia en tierra para corregir las señales satelitales y lograr una exactitud de nivel centimétrico.

A pesar de la precisión del GPS diferencial, el "desafío bananero" seguía presente. Realizar un levantamiento en una finca como Isabel María, con sus más de **300 hectáreas** de extensión, requiere un despliegue considerable de personal. Imaginemos a un grupo de profesionales —guías, cadeneros y topógrafos—

caminando bajo el sol inclemente, cargando equipos pesados y tratando de encontrar puntos de control en áreas donde la vegetación es tan cerrada que la señal de radio se debilita. Este proceso no solo es lento y costoso, sino que también está sujeto al error humano inevitable que surge del cansancio y la complejidad logística.

En este contexto de necesidad de eficiencia, emergió una tecnología que prometía cambiar las reglas del juego: los drones equipados con módulos RTK (Cinemática en Tiempo Real). A diferencia de los drones recreativos, estos dispositivos son verdaderas estaciones de medición voladoras. Al integrar un módulo RTK, el dron puede comunicarse con satélites y bases terrestres simultáneamente, capturando la ubicación exacta de cada fotografía aérea con una precisión de hasta un centímetro. Lo que antes tomaba semanas de caminatas por el lodo y la maleza, ahora podría realizarse en cuestión de horas desde el aire, sobrevolando los obstáculos que detienen al topógrafo terrestre.

Pero, ¿es realmente el dron la solución definitiva para el territorio ecuatoriano? La respuesta no es tan sencilla como parece. Aunque los drones RTK ofrecen una cobertura asombrosa de áreas extensas y reducen el tiempo de campo, enfrentan sus propios enemigos naturales en la costa del Ecuador. Los vientos fuertes pueden desestabilizar el vuelo, la lluvia puede dañar los sensores y la misma vegetación densa que oculta el suelo puede dificultar la creación de modelos tridimensionales

precisos del relieve terrestre. Es una danza delicada entre la eficiencia de la máquina y la robustez del método tradicional.

La importancia de este análisis comparativo radica en que no existe una solución única para todos los problemas. La topografía moderna en Ecuador debe ser adaptativa. Para proyectos de pequeña escala o en terrenos donde la visibilidad aérea es nula, el GPS diferencial sigue siendo una garantía de precisión absoluta punto por punto. Pero para la planificación de grandes extensiones bananeras o el ordenamiento territorial de provincias enteras, la aerofotogrametría con drones se presenta como una herramienta revolucionaria que optimiza los recursos y proporciona una visión integral que antes era imposible de obtener.

A lo largo de este capítulo, nos sumergiremos en la realidad de estas plantaciones, explorando cómo las características únicas del terreno ecuatoriano obligan a los ingenieros a repensar sus herramientas. Veremos cómo la finca Isabel María, con su perfil de elevación y sus desafíos específicos, se convirtió en el laboratorio perfecto para poner a prueba el duelo entre el GPS diferencial y el dron RTK. Este viaje no es solo sobre tecnología; es sobre cómo entendemos y respetamos la tierra que nos da el sustento, buscando siempre la forma más precisa y responsable de cartografiar nuestro futuro.

Para dimensionar el reto que enfrentamos, es necesario poner nombres y apellidos a los laboratorios vivos donde se desarrolló esta investigación: la Finca Isabel María y la Agrícola del Pacífico. La primera, situada en la provincia de Los Ríos, se asienta a apenas trece metros sobre el nivel del mar. Es un mundo donde la temperatura rara vez baja de los veintisiete grados y la humedad, que oscila entre el setenta y cinco y el ochenta y ocho por ciento, satura el aire y pone a prueba no solo a los pulmones humanos, sino también a la resistencia de los circuitos electrónicos de un dron. Por otro lado, en la provincia del Guayas, la Agrícola del Pacífico presenta un escenario aún más complejo en sus dos zonas de estudio. En la Zona 1, nos encontramos con un elemento que rompe la monotonía del cultivo tradicional: un bosque de árboles de teca. Estas estructuras vegetales, con sus troncos rectos y copas altas, crean un laberinto de sombras y obstáculos físicos que obligan a cualquier metodología de medición a esforzarse al máximo para no perder el hilo de la precisión.

En estos terrenos, la topografía deja de ser una abstracción de oficina para convertirse en una lucha contra la geografía. La vegetación densa de las plantaciones bananeras y los bosques de teca actúan como una barrera natural para las señales de posicionamiento. Un GPS diferencial, por muy sofisticado que sea, requiere que el receptor móvil —operado por un ser humano— mantenga una conexión limpia con los satélites en el cielo. Si el follaje es demasiado espeso, la señal se distorsiona, y la

precisión centimétrica que se busca para un proyecto de ingeniería civil se desvanece entre las ramas. Por otro lado, el dron, aunque vuela por encima de los obstáculos, debe ser capaz de "ver" el suelo a través de las hojas si lo que se desea es generar un modelo digital de elevación fiel a la realidad del suelo y no solo a la parte superior de los árboles.

Ante este panorama, la investigación no se dejó llevar por la simple intuición tecnológica, sino que adoptó una brújula metodológica infalible: el ciclo de mejora continua conocido como PHVA. Este enfoque, compuesto por las fases de Planificar, Hacer, Verificar y Actuar, permitió que la comparación entre el GPS diferencial y el dron RTK no fuera una simple anécdota, sino un proceso científico estructurado. En la fase de planificación, se identificó la necesidad crítica de optimizar los recursos sin sacrificar la exactitud, estableciendo objetivos claros que pusieran a prueba la viabilidad económica y técnica de cada herramienta en el entorno bananero. No se trataba solo de medir, sino de entender cómo medir mejor bajo condiciones de viento variables y humedad extrema.

Durante la ejecución, o la fase de "Hacer", el equipo humano se sumergió en las fincas para recolectar datos sobre el terreno. Aquí es donde la teoría se encontró con el lodo y el calor. Se realizaron levantamientos estáticos y móviles con GPS diferencial, documentando cada paso para garantizar que los resultados fueran reproducibles. Simultáneamente, el dron Mavic 3M surcó los cielos,

capturando miles de imágenes georreferenciadas que luego serían procesadas para crear ortomosaicos, esas fotografías a gran escala corregidas geométricamente que permiten medir distancias reales sobre una imagen plana.

La fase de verificación trajo consigo las respuestas más reveladoras. Al comparar los datos, se descubrió que ambas metodologías mantienen una precisión asombrosamente similar, con una desviación estándar de apenas el 0.096% en términos de área medida. Esto significa que, independientemente del método utilizado, la ciencia ha logrado vencer la irregularidad del relieve ecuatoriano. Sin embargo, donde la brecha se ensancha dramáticamente es en la eficiencia temporal y el costo. Mientras que un levantamiento tradicional con GPS diferencial en un área extensa puede demandar semanas de trabajo físico intenso, el uso de drones con tecnología RTK logra reducir y optimizar ese tiempo entre un cincuenta y un sesenta y seis por ciento.

Esta optimización del tiempo es vital para la ingeniería civil moderna. En proyectos de gran escala, como la construcción de sistemas de riego que deben cubrir cientos de hectáreas de banano, cada día ahorrado en el levantamiento inicial se traduce en una planificación más ágil y una ejecución más segura. No obstante, este salto hacia la eficiencia aérea tiene un precio: la inversión inicial en drones RTK y la capacitación necesaria para operarlos puede ser hasta un sesenta y dos por ciento más costosa que los métodos tradicionales. Es el dilema del

progreso: invertir más hoy para ganar tiempo y precisión mañana.

Finalmente, la fase de actuar cerró el ciclo con recomendaciones claras. Para terrenos pequeños y accesibles donde el personal puede caminar sin grandes obstáculos, el GPS diferencial sigue siendo el rey de la rentabilidad. Pero cuando el desafío es el territorio bananero en su máxima expresión —áreas extensas, vegetación impenetrable y linderos difíciles de alcanzar—, el dron equipado con módulo RTK se erige como el aliado indispensable. Este capítulo nos enseña que mapear el Ecuador no es solo una tarea técnica, sino una decisión estratégica que debe considerar la complejidad del suelo, el rigor del método y la visión de futuro necesaria para transformar nuestro territorio.

Bibliografía

1. Alcaraz, D. P. (2015). Levantamiento mediante GPS. Universidad Politécnica de Cartagena.
2. Blanco Suárez, M. A. (2022). Vuelo en área montañosa con vehículo aéreo no tripulado equipado con GNSS L1: análisis de la precisión fotogramétrica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
3. Cevallos. (2021). Evaluación de costos, rapidez y precisión en el levantamiento topográfico realizado con dron en la carreta Pillco Marca distrito de Cayran 2019.
4. Claudio Antonio Ramirez Soto. Importancia de los levantamientos topográficos. (2022) .

5. Darum-sl. (s.f.). Técnicas de levantamiento topográfico: métodos tradicionales vs. tecnología moderna.
6. Dji. (2024). Mavic 3M - Specifications.
7. Egvuser. (2024). Aerofotogrametría.
8. El Vuelo del Dron. (s.f.). Drones profesionales - Mavic 3 Multispectral.
9. Eml Yd. (s.f.). RTK Introduction.
10. GeoGest. (2021). Conceptos fundamentales en topografía.
11. GeoPortal. (s.f.). Geodesia- Ecuador.
12. Geoteknik S.A.C. (s.f.). Receptor GPS Diferencial.
13. Global Mediterránea Geomática. (2020). Levantamiento topográfico con GPS.
14. Gps (s.f.). Fundamentos del sistema GPS.
15. Guandique (2015). Fundamentos básicos de fotogrametría.
16. Iberoptics. (s.f.). Fundamentos básicos de fotogrametría 3D.
17. Ingeoexpert. (2021). Topografía y sus objetivos.
18. Instituto Geográfico Militar. (2020). Resoluciones técnicas.
19. Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). Teoría de la Geodesia.
20. Jiménez Granizo, M. J., & Yamasqui Sarmiento, J. D. (2022). Evaluación y valoración de levantamientos topográficos mediante aerofotogrametría y métodos tradicionales.
21. Latitud-19. (s.f.). Levantamiento geodésico.

22. McCormac, J. (2003). Topografía. Prentice Hall Internacional.
23. Pérez, J., & Ana, G. (2019). Definición de Geodesia.
24. Rodenas Chivichón, S. (2023). Análisis comparativo de los métodos fotogramétricos.
25. Silva Velarde, E. O. (2024). Generación de ortofotografía y modelo digital de elevación con puntos de control RTK.
26. Toposervis. (s.f.). Topografía en proyectos de obra civil.
27. Utm30. (s.f.). Equipos de Topografía - SinoGNSS.
28. Villner. (2022). Tipos de levantamientos topográficos y su aplicación.
29. Wingtra AG. (s.f.). Aplicaciones cartográficas y SIG.
30. Zevallos, E. O. (2021). Evaluación de costos, rapidez y precisión en el levantamiento topográfico realizado con dron.

Capítulo 3: Señales del Cielo: Cómo el GPS Diferencial Conquistó el Territorio

Cada vez que abrimos una aplicación de mapas en nuestro teléfono para encontrar una dirección, estamos utilizando, sin darnos cuenta, un legado de miles de años de ingenio humano. Sin embargo, existe un abismo de precisión entre el mapa que nos guía a una cafetería y el mapa que permite construir un puente o nivelar una plantación bananera de cientos de hectáreas. En este capítulo, nos adentraremos en la tecnología que permitió cerrar esa brecha: el GPS diferencial, una herramienta que no solo escucha a las estrellas artificiales que orbitan nuestro planeta, sino que las corrige para ofrecernos una visión casi perfecta de la realidad.

Para comprender la magnitud de este avance, debemos reconocer que la topografía es mucho más que una simple tarea técnica; es la columna vertebral de nuestra civilización. Se define como la ciencia y la técnica dedicada a la medición, representación y análisis de la superficie terrestre. Su objetivo fundamental es determinar las características físicas de un terreno, incluyendo su forma, sus dimensiones, su relieve y su ubicación exacta en el espacio. Sin la topografía, no habría planificación urbana, ni carreteras seguras, ni una gestión eficiente de los recursos naturales.

Históricamente, el impulso de medir la tierra nació de la necesidad de orden. Aunque el origen exacto es difuso, los registros nos llevan al Antiguo Egipto, donde las inundaciones anuales del río Nilo borraban los límites de las propiedades, obligando a los agrimensores de la época a restablecer los linderos para asegurar la producción agrícola. Más tarde, en la antigua Grecia, pensadores como Anaximandro y Mileto comenzaron a plasmar el mundo en cartas geográficas, sentando las bases de lo que hoy conocemos como cartografía. Fue en esta cultura donde nació la Geodesia, la ciencia madre que estudia la forma y dimensiones de la Tierra. Personajes como Eratóstenes, quien calculó el radio terrestre con un método científico asombrosamente preciso para su tiempo, e Hiparco, quien dividió la circunferencia en trescientos sesenta grados, son hoy considerados los padres de esta disciplina.

Pero la Tierra es un lienzo caprichoso. A diferencia de los mapas planos que solemos ver, nuestro planeta no es una esfera perfecta. La ciencia la describe como un geoide: un cuerpo casi esférico que presenta un leve achatamiento en sus polos y un ensanchamiento en el ecuador, producto de la gravedad y la fuerza centrífuga de su propia rotación. Esta irregularidad es el primer gran desafío del topógrafo. Para que una medida tomada desde un satélite en el espacio sea útil para un ingeniero en el suelo, debemos aplicar fórmulas matemáticas complejas que traducen la altura geométrica en una altura útil para la construcción, considerando la ondulación del geoide.

Durante siglos, la medición dependió de la presencia física y el contacto directo con el suelo a través de cintas métricas, brújulas y teodolitos. Estas herramientas exigían que el topógrafo recorriera cada rincón del terreno, a menudo enfrentándose a vegetación densa o relieves accidentados que dificultaban la visibilidad. Con la llegada de la era digital, surgieron las estaciones totales, dispositivos que integran sistemas electrónicos y láser para calcular ángulos y distancias de forma automática, reduciendo el error humano y aportando agilidad al trabajo de campo. Sin embargo, incluso con estos avances, seguíamos dependiendo de "ver" un punto desde otro.

La verdadera revolución llegó cuando dejamos de mirar hacia el horizonte y empezamos a mirar hacia el cielo. El Sistema de Posicionamiento Global, o GPS, transformó la navegación y la topografía al permitirnos obtener coordenadas exactas mediante señales electromagnéticas transmitidas por una constelación de satélites. Este sistema se basa en tres componentes críticos: los satélites en órbita que emiten la señal, el sistema de control terrestre que los monitoriza y los receptores de usuario que recogen los datos para calcular su posición en la Tierra.

No obstante, el GPS que conocemos comúnmente tiene una limitación invisible: la atmósfera. Las señales que viajan desde el espacio se ven ralentizadas y distorsionadas al atravesar la ionosfera y las capas de aire que rodean nuestro planeta. Esto provoca que un receptor

autónomo, como el de un teléfono inteligente, tenga un margen de error de entre dos y cuatro metros. En la vida cotidiana, esto no es un problema grave, pero en la ingeniería civil, un error de dos metros puede significar que una carretera se desvíe de su ruta o que un edificio se asiente sobre un terreno inestable.

Para superar esta barrera, la ciencia desarrolló el GPS diferencial o DGPS. La premisa es tan elegante como efectiva: si el error es causado principalmente por la atmósfera en una zona específica, dos receptores cercanos experimentarán casi el mismo error. Al colocar un receptor en un punto fijo con coordenadas conocidas con precisión milimétrica —llamado base—, este puede calcular exactamente cuánto se está desviando la señal satelital en ese instante. Esa corrección se envía en tiempo real a un receptor móvil, permitiéndole ajustar sus propias mediciones y alcanzar una exactitud de nivel centimétrico.

Esta capacidad de corrección es lo que permitió que el GPS diferencial "conquistara" el territorio. Ya no se trataba solo de saber dónde estábamos de manera aproximada, sino de definir el relieve de la tierra con una fidelidad asombrosa. En la topografía moderna, esto se divide en dos ramas principales que trabajan en armonía: la planimetría, que proyecta la localización de puntos en una superficie plana horizontal, y la altimetría, que determina las alturas y profundidades del terreno. Cuando ambas se unen en un estudio planialtimétrico, obtenemos una descripción integral de la morfología del suelo,

fundamental para cualquier proyecto de infraestructura sostenible.

En países como Ecuador, el uso de esta tecnología está regido por normativas estrictas. El Instituto Geográfico Militar (IGM) es la entidad encargada de mantener la red geodésica nacional, proporcionando los puntos de referencia críticos que los topógrafos necesitan para calibrar sus equipos y asegurar que sus mediciones sean compatibles con la cartografía nacional. Cumplir con estos estándares no es solo una cuestión legal, sino una garantía de que el desarrollo territorial se realice sobre bases sólidas y confiables.

A medida que avanzamos en este capítulo, exploraremos cómo esta tecnología se aplica en los campos de Guayas y Los Ríos, enfrentándose a los desafíos que plantean las plantaciones bananeras y la vegetación densa. Veremos que el GPS diferencial no es una herramienta estática, sino un sistema dinámico que se adapta a las necesidades de precisión, eficiencia y costo de cada proyecto de ingeniería.

Para comprender cómo las señales que viajan desde miles de kilómetros en el espacio terminan definiendo con exactitud el lindero de una finca, debemos imaginar un diálogo constante y silencioso entre la Tierra y las estrellas artificiales. El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) no es solo un receptor que recibe una señal; es un complejo sistema de relojes atómicos y señales electromagnéticas coordinadas. El receptor en la mano del

topógrafo mide el tiempo exacto que tarda una señal en viajar desde el satélite hasta el suelo. Sin embargo, este viaje no es sencillo. Al atravesar la ionosfera y la atmósfera, la señal se ralentiza y se distorsiona, como un rayo de luz que entra en un vaso de agua. Es aquí donde la técnica del GPS diferencial se vuelve indispensable para la ingeniería civil moderna.

La conquista del territorio mediante esta tecnología se logra a través de cuatro métodos principales, cada uno diseñado para un propósito específico según la escala y la precisión requerida en el proyecto. El primero de ellos es el levantamiento estático. Aunque es el método más lento, es el estándar de oro en términos de precisión para largas distancias. En este proceso, un receptor de referencia se coloca en un punto fijo, mientras que uno o más receptores móviles registran datos durante un período prolongado. Es la técnica predilecta de la Geodesia para establecer marcos de referencia nacionales. Existe también una variante más ágil, el levantamiento estático-rápido, ideal para distancias más cortas donde el tiempo es un factor pero la precisión sigue siendo prioritaria.

Para el trabajo de detalle, donde es necesario medir muchos puntos cercanos entre sí de manera eficiente, los topógrafos recurren al levantamiento cinemático. Sin embargo, la verdadera revolución en la eficiencia de campo llegó con el levantamiento RTK (Cinemática en Tiempo Real). Este sistema permite calcular las coordenadas exactas en el acto, proporcionando resultados

inmediatos sin necesidad de esperar a un procesamiento posterior en la oficina. Para un ingeniero que trabaja en áreas pequeñas pero críticas, el RTK es la herramienta definitiva, ya que permite tomar decisiones en el terreno con la seguridad de una precisión de nivel centimétrico.

En el contexto ecuatoriano, esta precisión no es solo un deseo técnico, sino una exigencia legal y profesional. El Instituto Geográfico Militar (IGM) actúa como el organismo rector que mantiene el Marco de Referencia Geodésico Nacional. Esta infraestructura es crítica para los levantamientos con módulos RTK, ya que proporciona los puntos de referencia geográficos con coordenadas precisas necesarios para calibrar y corregir los datos satelitales en tiempo real. Cumplir con las normativas del IGM asegura que el mapa de una plantación en Los Ríos sea perfectamente compatible y comparable con cualquier otro proyecto nacional, garantizando que los linderos y las obras de infraestructura se asienten sobre una base sólida y reconocida.

Llevar esta tecnología al "mundo real" de las plantaciones bananeras, como la finca Isabel María o Agrícola del Pacífico, requiere un procedimiento meticuloso. El proceso comienza con el estacionamiento de la base sobre un trípode estable, instalando la antena GPS en una alineación perfecta para recibir las señales de la constelación de satélites. No se trata simplemente de encender el equipo; el topógrafo debe haber realizado un estudio previo de la trayectoria y los horarios de los

satélites para garantizar que, en el momento del levantamiento, haya suficientes de ellos visibles en el cielo para garantizar la precisión.

En terrenos como los del Guayas y Los Ríos, donde la vegetación puede ser un obstáculo formidable, el equipo humano —compuesto por guías, cadeneros y el encargado del equipo RTK— debe desplegarse con precisión. Mientras la base permanece fija corrigiendo los errores atmosféricos, el receptor móvil recorre el terreno, capturando los vértices de los lotes y registrando cada accidente geográfico. En casos donde la conexión en tiempo real es difícil, se utiliza el postprocesamiento, empleando herramientas de software como RTKlib para corregir los datos crudos recolectados y obtener la ubicación final con exactitud milimétrica.

La metodología que guía esta labor es el ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar). En la fase de planificación, se identifican los puntos críticos y se calcula el tiempo de observación necesario mediante fórmulas precisas, como la recomendada por el IGM que suma treinta minutos base más dos minutos por cada kilómetro de distancia a la antena más cercana. En la fase de verificación, se analizan los datos procesados, comparando la precisión horizontal y vertical con los parámetros esperados, que suelen situarse en rangos de 2.5 milímetros para medidas horizontales y 5 milímetros para las verticales en condiciones óptimas.

En conclusión, el GPS diferencial no solo ha conquistado el territorio, sino que lo ha hecho comprensible. Ha permitido que proyectos de gran envergadura, como carreteras o sistemas de riego extensos, cuenten con la certeza de una medición robusta y confiable. Aunque la tecnología sigue evolucionando y nuevas herramientas como los drones RTK asoman en el horizonte prometiendo aún más agilidad, el GPS diferencial permanece como el cimiento sobre el cual se construye la precisión topográfica moderna, especialmente en aquellos terrenos donde la accesibilidad física permite al topógrafo caminar la tierra y "sentir" el relieve que está mapeando.

Bibliografía

1. Alcaraz, D. P. (2015). Levantamiento mediante GPS. Universidad Politécnica de Cartagena.
2. Blanco Suárez, M. A. (2022). Vuelo en área montañosa con vehículo aéreo no tripulado equipado con GNSS L1: análisis de la precisión fotogramétrica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
3. Cevallos. (2021). Evaluación de costos, rapidez y precisión en el levantamiento topográfico realizado con dron en la carreta Pillco Marca distrito de Cayran 2019.
4. Claudio Antonio Ramirez Soto. Importancia de los levantamientos topográficos. (2022) .
5. Darum-sl. (s.f.). Técnicas de levantamiento topográfico: métodos tradicionales vs. tecnología moderna.

6. Dji. (2024). Mavic 3M - Specifications.
7. Egvuser. (2024). Aerofotogrametría.
8. El Vuelo del Dron. (s.f.). Drones profesionales - Mavic 3 Multispectral.
9. Eml Yd. (s.f.). RTK Introduction.
10. GeoGest. (2021). Conceptos fundamentales en topografía.
11. GeoPortal. (s.f.). Geodesia- Ecuador.
12. Geoteknik S.A.C. (s.f.). Receptor GPS Diferencial.
13. Global Mediterránea Geomática. (2020). Levantamiento topográfico con GPS.
14. Gps (s.f.). Fundamentos del sistema GPS.
15. Guandique (2015). Fundamentos básicos de fotogrametría.
16. Iberoptics. (s.f.). Fundamentos básicos de fotogrametría 3D.
17. Ingeoexpert. (2021). Topografía y sus objetivos.
18. Instituto Geográfico Militar. (2020). Resoluciones técnicas.
19. Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). Teoría de la Geodesia.
20. Jiménez Granizo, M. J., & Yamasqui Sarmiento, J. D. (2022). Evaluación y valoración de levantamientos topográficos mediante aerofotogrametría y métodos tradicionales.
21. Latitud-19. (s.f.). Levantamiento geodésico.
22. McCormac, J. (2003). Topografía. Prentice Hall Internacional.
23. Pérez, J., & Ana, G. (2019). Definición de Geodesia.

24. Rodenas Chivichón, S. (2023). Análisis comparativo de los métodos fotogramétricos.
25. Silva Velarde, E. O. (2024). Generación de ortofotografía y modelo digital de elevación con puntos de control RTK.
26. Toposervis. (s.f.). Topografía en proyectos de obra civil.
27. Utm30. (s.f.). Equipos de Topografía - SinoGNSS.
28. Villner. (2022). Tipos de levantamientos topográficos y su aplicación.
29. Wingtra AG. (s.f.). Aplicaciones cartográficas y SIG.
30. Zevallos, E. O. (2021). Evaluación de costos, rapidez y precisión en el levantamiento topográfico realizado con dron.

Capítulo 4: Ojos en las Nubes: La Llegada del Dron con Precisión Milimétrica

Durante milenios, la humanidad ha estado anclada a la superficie para comprender su entorno. El topógrafo era una figura que se fundía con el paisaje, una silueta que cargaba equipos pesados y luchaba contra la maleza para arrancar un dato preciso a la naturaleza caprichosa. Sin embargo, estamos viviendo un cambio de paradigma sin precedentes. La topografía, esa ciencia dedicada a la medición y representación de la superficie terrestre, ha dejado de mirar exclusivamente al horizonte para conquistar la tercera dimensión desde el cielo. La llegada de los vehículos aéreos no tripulados, conocidos popularmente como drones, no ha sido simplemente una mejora en las herramientas de trabajo; ha sido una revolución que permite capturar la realidad con una fidelidad que los agrimensores del Antiguo Egipto o los geodestas del siglo pasado apenas habrían podido imaginar.

Para comprender este salto tecnológico, debemos recordar que el objetivo principal de la topografía siempre ha sido determinar las características físicas de un terreno: su forma, sus dimensiones, su relieve y su ubicación exacta en el espacio. Tradicionalmente, esto requería que el profesional estuviera físicamente en cada rincón del área de estudio. Si el terreno era una densa plantación bananera

en las provincias de Guayas o Los Ríos, el desafío se multiplicaba exponencialmente. La vegetación cerrada, la humedad asfixiante y la extensión de cientos de hectáreas hacían que obtener un mapa detallado fuera una labor de semanas, dependiente de la resistencia física y de la visibilidad directa entre puntos en el suelo.

La evolución tecnológica nos llevó primero a las estaciones totales, que integraron láseres y electrónica para agilizar las mediciones , y luego al Sistema de Posicionamiento Global (GPS), que nos permitió usar satélites para obtener coordenadas. Pero incluso con el GPS diferencial, que ofrece una precisión asombrosa al corregir las señales satelitales mediante bases terrestres, seguíamos necesitando recorrer el terreno punto por punto. Es aquí donde el dron entra en escena, no como un juguete volador, sino como una verdadera estación de medición aérea que ha revolucionado la obtención de información geoespacial.

La gran magia detrás de estos dispositivos es la aerofotogrametría. Aunque el nombre suena complejo, su principio fundamental es algo que todos hacemos instintivamente cada segundo: la triangulación. Nuestros ojos, al estar separados por unos centímetros, captan dos perspectivas diferentes de un mismo objeto, permitiendo que nuestro cerebro calcule la profundidad y la distancia. La fotogrametría aérea hace exactamente lo mismo, pero a una escala masiva. El dron sobrevuela el terreno capturando miles de imágenes de alta resolución desde

múltiples ángulos, asegurando que cada punto del suelo aparezca en varias fotografías. Al procesar estas imágenes mediante algoritmos matemáticos sofisticados, somos capaces de cruzar las "líneas de vista" de cada foto para obtener coordenadas tridimensionales exactas de cada objeto visible.

Sin embargo, el uso de drones comunes para la ingeniería civil presentaba una limitación crítica. Una fotografía aérea por sí sola es solo una imagen artística si no sabemos exactamente dónde se tomó. En los primeros años de esta tecnología, era necesario colocar decenas de "puntos de control" en el suelo —pequeñas marcas físicas con coordenadas medidas con GPS diferencial— para poder orientar las fotos y darles escala real. Esto significaba que, aunque el dron volaba rápido, el topógrafo seguía teniendo que caminar todo el terreno para poner esas marcas. El verdadero cambio de juego llegó con el módulo RTK (Cinemática en Tiempo Real) integrado en la aeronave.

Un dron equipado con módulo RTK, como el Mavic 3M utilizado en nuestras investigaciones de campo, es una maravilla de la sincronización. Su cerebro electrónico coordina el control de vuelo, la cámara de alta resolución y el receptor satelital en microsegundos. Mientras el dron se desplaza a gran velocidad sobre las plantaciones, recibe correcciones en tiempo real de una base terrestre o de una red de estaciones permanentes, permitiéndole grabar la ubicación exacta del centro de cada imagen con una precisión de nivel centimétrico. Este avance permite

realizar levantamientos aéreos de alta precisión reduciendo drásticamente la necesidad de colocar puntos de control en tierra, lo que ahorra una cantidad inmensa de tiempo y recursos económicos.

Imaginemos por un momento el impacto de esto en una provincia como Los Ríos, donde las fincas bananeras pueden extenderse por cientos de hectáreas de terreno plano pero visualmente complejo. Realizar un levantamiento tradicional en un sitio como la Finca Isabel María, con sus más de 300 hectáreas, requeriría un despliegue masivo de personal caminando entre los bananos. Con el dron RTK, el proceso comienza con una planificación meticulosa en una oficina, donde se definen los límites del área y se diseña una ruta de vuelo automatizada. Una vez en el sitio, el dron despegue de forma autónoma, sigue su plan de vuelo capturando datos con una superposición del ochenta por ciento para no dejar ningún hueco sin medir, y aterriza de nuevo en su punto de partida.

Esta capacidad de cobertura es lo que define a los drones como los "ojos en las nubes". Pueden cubrir áreas extensas en un tiempo relativamente corto, mientras que el personal terrestre con GPS diferencial se enfrentaría a un trabajo mucho más lento y manual. Además, su versatilidad les permite operar en terrenos que serían inaccesibles o peligrosos para un ser humano, como zonas con vegetación extremadamente densa o suelos inestables. En la ingeniería civil moderna, esta eficiencia no es solo una

cuestión de rapidez; es la base para una planificación urbana y rural más inteligente, permitiendo generar mapas detallados, modelos tridimensionales del terreno y ortofotos —imágenes corregidas para que funcionen como un mapa perfecto— que sirven para diseñar carreteras, sistemas de riego o infraestructuras críticas con una seguridad sin precedentes.

No obstante, esta tecnología no opera en un vacío. Para que estos ojos aéreos sean útiles en Ecuador, deben cumplir con una normativa rigurosa. La Dirección General de Aviación Civil (DGAC) establece reglas claras para garantizar la seguridad de todos. Operar un dron de alta precisión para topografía no es un pasatiempo; requiere certificaciones de operador, seguros de responsabilidad civil y el cumplimiento de límites de altura —generalmente 122 metros sobre el suelo— para no interferir con la aviación tripulada. Además, el topógrafo moderno debe ser también un experto en las condiciones meteorológicas, ya que estos dispositivos, a pesar de su sofisticación, son sensibles a los vientos fuertes, la lluvia y las interferencias electromagnéticas que abundan en entornos industriales o cerca de líneas eléctricas.

Este viaje desde la cuerda del agrimensor hasta el sensor satelital del dron nos prepara para entender el duelo tecnológico que define el corazón de este libro. Estamos ante una era donde la precisión ya no se mide solo con pasos en el lodo, sino con la velocidad de procesamiento de datos en la nube. En la siguiente parte,

profundizaremos en cómo estos datos se transforman en conocimiento real y cómo la fotogrametría aérea está redefiniendo el concepto mismo de medir la tierra.

Para que estos ojos en las nubes funcionen con la maestría que exige la ingeniería civil, es necesario comprender que el dron no actúa solo; es parte de un ecosistema tecnológico donde la fotogrametría terrestre y aérea se fusionan para obtener información precisa sobre la forma y dimensiones de objetos y terrenos. El principio rector de toda esta operación es la triangulación, un concepto que, aunque parezca puramente matemático, es algo que nuestros propios ojos utilizan para calibrar la distancia y percibir la profundidad en el día a día. En el aire, el dron aplica este mismo principio al capturar fotografías desde al menos dos posiciones distintas del mismo objeto, permitiendo que los rayos de luz —o líneas de vista— se crucen matemáticamente para obtener coordenadas tridimensionales de alta precisión.

Este proceso de "alquimia digital" permite generar modelos 3D, ortomosaicos y nubes de puntos densas que son fundamentales para proyectos de construcción y planificación urbana. Sin embargo, la verdadera joya de la corona en esta tecnología es el sistema RTK (Cinemática en Tiempo Real). Mientras que un GPS convencional lucha contra las distorsiones de la atmósfera que ralentizan la señal satelital, el módulo RTK del dron Mavic 3M sincroniza su control de vuelo y su cámara en microsegundos. Esta sincronización garantiza que cada

imagen capturada tenga grabada su ubicación exacta con una precisión de hasta un centímetro, eliminando casi por completo la dependencia de los puntos de control terrestres que tanto tiempo consumían en el pasado.

Llevar esta tecnología a los campos de Guayas y Los Ríos implica enfrentarse a una geografía que impone sus propias reglas. Las plantaciones bananeras y los bosques de teca, como los encontrados en la Agrícola del Pacífico, presentan una vegetación tan densa que el sistema de posicionamiento visual del dron podría verse comprometido si no se opera bajo condiciones de iluminación y visibilidad óptimas. El topógrafo moderno debe ser un estratega del clima; no puede volar bajo lluvia, nieve, niebla o vientos que superen los doce metros por segundo, ya que estos factores no solo ponen en riesgo la aeronave, sino que degradan la calidad de los datos recolectados. Además, debe estar alerta ante interferencias electromagnéticas provenientes de líneas de alta tensión o estaciones de radar que podrían confundir los sentidos electrónicos del dispositivo.

La metodología para domar estos desafíos se basa en un ciclo riguroso de planificación y ejecución. Antes de que las hélices comiencen a girar, el equipo debe verificar las regulaciones locales de la Dirección General de Aviación Civil y asegurarse de que las baterías y tarjetas de memoria estén listas para la misión. La planificación del vuelo se realiza de forma digital, trazando polígonos sobre el área de estudio —como se hizo en la Finca Isabel María

— y ajustando parámetros como la altitud y el traslape de imágenes, que suele fijarse en un ochenta por ciento para garantizar que no existan "puntos ciegos" en el mapa final.

Una vez que el dron aterriza de forma autónoma tras completar su ruta, el trabajo se traslada a la potencia del procesamiento digital. Miles de imágenes, cada una cargada con su propia identidad geográfica (coordenadas X, Y, Z), se importan a softwares especializados como Agisoft Metashape o Pix4D. En estos laboratorios virtuales, los datos crudos atraviesan etapas de alineación, calibración de cámara y densificación de puntos para transformarse finalmente en un ortomosaico georreferenciado. El resultado es una representación visual tan fiel a la realidad que cada punto de la imagen corresponde con exactitud a su posición física en el mundo real, permitiendo medir distancias, superficies y volúmenes con una confianza absoluta.

El impacto de este avance en el Ecuador es tangible y profundo. En la ingeniería y la construcción, la aerofotogrametría permite monitorear el progreso de las obras en tiempo real, reduciendo riesgos y costos asociados a errores de planificación. En la agricultura de precisión, el uso de drones permite a los productores monitorear cultivos extensos, identificando necesidades de riego o fertilización de manera oportuna, lo que no solo optimiza la producción sino que fomenta la sostenibilidad ambiental. Incluso en la arqueología y la preservación del patrimonio, estos ojos aéreos pueden revelar estructuras

ocultas bajo el terreno, facilitando una documentación detallada sin alterar el sitio original.

Sin embargo, no debemos olvidar el factor humano y legal que sostiene esta estructura tecnológica. En nuestro país, la ley es clara: los propietarios deben registrar sus aeronaves y contar con seguros de responsabilidad civil que cubran posibles daños a terceros, con montos que varían según el peso del dron. Para ser un operador autorizado, no basta con saber pilotar; se requiere ser mayor de edad, haber culminado la enseñanza media y aprobar cursos teórico-prácticos aprobados por la autoridad aeronáutica. Esta profesionalización garantiza que la tecnología se use para construir y no para poner en riesgo la seguridad pública.

En resumen, la llegada del dron con precisión milimétrica ha democratizado el acceso al cielo para la topografía. Lo que antes era un privilegio de grandes proyectos gubernamentales que utilizaban aviones tripulados, ahora es una herramienta versátil y económica que está transformando la manera en que entendemos nuestro territorio. Aunque el GPS diferencial sigue siendo el cimiento de la precisión en áreas pequeñas, el dron RTK se ha consolidado como el aliado indispensable para mapear el futuro de nuestras provincias, ofreciendo una eficiencia en tiempo de entre el cincuenta y el sesenta y seis por ciento en comparación con los métodos tradicionales. Con esta nueva visión desde las nubes, la ingeniería civil ecuatoriana camina hacia una era de mayor

certeza, donde cada metro de nuestra tierra es medido con el rigor de la ciencia y la agilidad de la innovación.

Bibliografía

1. Alcaraz, D. P. (2015). Levantamiento mediante GPS. Universidad Politécnica de Cartagena.
2. Blanco Suárez, M. A. (2022). Vuelo en área montañosa con vehículo aéreo no tripulado equipado con GNSS L1: análisis de la precisión fotogramétrica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
3. Cevallos. (2021). Evaluación de costos, rapidez y precisión en el levantamiento topográfico realizado con dron en la carreta Pillco Marca distrito de Cayran 2019.
4. Claudio Antonio Ramirez Soto. Importancia de los levantamientos topográficos. (2022) .
5. Darum-sl. (s.f.). Técnicas de levantamiento topográfico: métodos tradicionales vs. tecnología moderna.
6. Dji. (2024). Mavic 3M - Specifications.
7. Egvuser. (2024). Aerofotogrametría.
8. El Vuelo del Dron. (s.f.). Drones profesionales - Mavic 3 Multispectral.
9. Eml Yd. (s.f.). RTK Introduction.
10. GeoGest. (2021). Conceptos fundamentales en topografía.
11. GeoPortal. (s.f.). Geodesia- Ecuador.
12. Geoteknik S.A.C. (s.f.). Receptor GPS Diferencial.

13. Global Mediterránea Geomática. (2020). Levantamiento topográfico con GPS.
14. Gps (s.f.). Fundamentos del sistema GPS.
15. Guandique (2015). Fundamentos básicos de fotogrametría.
16. Iberoptics. (s.f.). Fundamentos básicos de fotogrametría 3D.
17. Ingeoexpert. (2021). Topografía y sus objetivos.
18. Instituto Geográfico Militar. (2020). Resoluciones técnicas.
19. Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). Teoría de la Geodesia.
20. Jiménez Granizo, M. J., & Yamasqui Sarmiento, J. D. (2022). Evaluación y valoración de levantamientos topográficos mediante aerofotogrametría y métodos tradicionales.
21. Latitud-19. (s.f.). Levantamiento geodésico.
22. McCormac, J. (2003). Topografía. Prentice Hall Internacional.
23. Pérez, J., & Ana, G. (2019). Definición de Geodesia.
24. Rodenas Chivichón, S. (2023). Análisis comparativo de los métodos fotogramétricos.
25. Silva Velarde, E. O. (2024). Generación de ortofotografía y modelo digital de elevación con puntos de control RTK.
26. Toposervis. (s.f.). Topografía en proyectos de obra civil.
27. Utm30. (s.f.). Equipos de Topografía - SinoGNSS.
28. Villner. (2022). Tipos de levantamientos topográficos y su aplicación.

29. Wingtra AG. (s.f.). Aplicaciones cartográficas y SIG.
30. Zevallos, E. O. (2021). Evaluación de costos, rapidez y precisión en el levantamiento topográfico realizado con dron.

Capítulo 5: El Gran Duelo Tecnológico: Comparando dos Mundos bajo el Mismo Sol

En el vasto escenario de las llanuras costeras del Ecuador, bajo un sol que no perdona y una humedad que parece fundir el horizonte con la tierra, se libra una batalla silenciosa pero trascendental para el futuro del desarrollo nacional. No es una batalla de armas ni de fronteras, sino de precisión y eficiencia. En una esquina tenemos al veterano confiable, el GPS diferencial, una tecnología que ha sido el estándar de oro de la topografía moderna por décadas. En la otra, el joven aspirante, el dron equipado con módulo RTK, una promesa de agilidad aérea que busca redefinir cómo entendemos y medimos nuestro suelo. Este "duelo tecnológico" no busca declarar un ganador absoluto, sino comprender cómo estas dos formas de ver el mundo pueden convivir para transformar la ingeniería civil y la gestión del territorio.

Para apreciar la magnitud de esta comparación, es imperativo recordar que la topografía no es un simple ejercicio de dibujo, sino una ciencia fundamental dedicada a la medición, representación y análisis de la superficie terrestre. Su objetivo es ambicioso: determinar las características físicas de un terreno, incluyendo su forma, dimensiones, relieve y ubicación exacta. Cada carretera que recorremos, cada sistema de riego que alimenta nuestras plantaciones de banano en Guayas y Los Ríos, y

cada edificio que desafía la gravedad, comenzó como un conjunto de puntos capturados por un topógrafo. Sin esta base de datos espaciales, la planificación urbana y rural sería un ejercicio de adivinación peligroso y costoso.

El camino hasta este duelo ha sido largo. Desde que los antiguos egipcios estiraban cuerdas para devolver los linderos a las tierras bañadas por el Nilo, la humanidad ha buscado herramientas más exactas. Pasamos de las mediciones directas con cintas métricas a la sofisticación de los teodolitos griegos de Anaximandro y Mileto. La evolución nos regaló la Geodesia, esa disciplina madre que nos enseñó que la Tierra no es plana ni una esfera perfecta, sino un geoide: un cuerpo irregular, achatado en los polos y ensanchado en el ecuador por la fuerza de su propia rotación. Entender esta irregularidad es vital, pues para que la información recolectada por un satélite a miles de kilómetros de altura sea útil en el suelo, debemos aplicar fórmulas matemáticas que traduzcan la altura geométrica en alturas ortométricas reales.

El primer contendiente de nuestro duelo, el GPS diferencial (DGPS), nació de la necesidad de superar las limitaciones del GPS convencional. Todos llevamos un receptor satelital en el bolsillo a través de nuestros teléfonos, pero esa señal se ve distorsionada por la atmósfera y la ionosfera, generando errores que pueden variar entre los dos y cinco metros. En la ingeniería civil, un error de cinco metros es inaceptable; es la diferencia entre un puente que encaja y uno que se derrumba. El GPS

diferencial resuelve esto mediante un diálogo entre dos equipos: una base fija ubicada en un punto de coordenadas conocidas con exactitud milimétrica y un receptor móvil llamado "rover" que recorre el terreno. La base calcula el error de la señal satelital en tiempo real y envía una corrección al rover, permitiendo que las mediciones alcancen precisiones de nivel centimétrico.

Llevar este sistema al campo, especialmente en las provincias de Guayas y Los Ríos, es una labor de resistencia física y técnica. El topógrafo debe estacionar su base en un trípode estable, asegurar la conexión con la constelación de satélites GLONASS o GALILEO y luego desplegar un equipo humano que incluya guías y cadeneros para alcanzar cada vértice del lote. En sitios como la Finca Isabel María, con sus 305 hectáreas, este método implica caminar cientos de kilómetros bajo el dosel bananero, luchando contra la vegetación densa que a veces bloquea la señal del cielo. Es un proceso lento, meticuloso y robusto, donde cada punto capturado es una verdad absoluta verificada en el suelo.

Por otro lado, el dron con módulo RTK representa la conquista de la tercera dimensión desde el aire. Su fuerza reside en la aerofotogrametría, una técnica que utiliza imágenes capturadas desde el cielo para generar mapas y modelos tridimensionales. El principio es la triangulación: el dron toma miles de fotografías superpuestas desde diferentes ángulos y altitudes. Al procesar estas imágenes, el software cruza las "líneas de vista" de cada foto para

calcular las coordenadas exactas de cada objeto en el terreno. Lo que hace que el dron de nuestra investigación, el Mavic 3M, sea especial es su módulo RTK integrado, que sincroniza la cámara y el control de vuelo en microsegundos para grabar la ubicación exacta del centro de cada imagen con precisión centimétrica. Esto elimina la necesidad tradicional de colocar decenas de puntos de control manuales en el suelo, permitiendo cubrir áreas extensas en una fracción del tiempo que tomaría un levantamiento terrestre.

Este duelo se vuelve particularmente interesante cuando consideramos el entorno. Las plantaciones bananeras del Ecuador no son terrenos cualquiera. Son laboratorios vivos con temperaturas que oscilan entre los 24 y 30 grados, humedades que superan el 80% y una vegetación tan tupida que desafía tanto al ojo humano como al sensor digital. En la Agrícola del Pacífico Zona 1, por ejemplo, la presencia de bosques de árboles de teca añade una capa de complejidad: troncos altos y copas densas que ponen a prueba la capacidad de penetración de las señales y la visibilidad de los objetivos. Aquí es donde la comparación científica se vuelve vital: ¿puede el dron realmente "ver" el relieve del suelo a través de las hojas o el GPS diferencial sigue siendo el rey de la precisión en la sombra?

Para resolver esta duda, nuestra investigación no se basó en opiniones, sino en la metodología PHVA: Planificar, Hacer, Verificar y Actuar. Este enfoque de mejora continua

nos permitió estructurar la comparación como un proceso científico riguroso. Planificamos misiones de vuelo con traslapes de imágenes del 80% para no dejar puntos ciegos. Realizamos levantamientos estáticos rápidos con GPS diferencial cumpliendo las normas del Instituto Geográfico Militar (IGM), asegurando que cada dato recolectado tuviera una base legal y técnica sólida en el marco de referencia nacional.

Al final de esta primera parte, queda claro que estamos ante dos filosofías de medición distintas. Una, la del GPS diferencial, es el contacto directo, el paso a paso sobre el lodo, la precisión ganada metro a metro con esfuerzo humano. La otra, la del dron RTK, es la visión panorámica, la velocidad de los datos viajando a la velocidad de la luz y la eficiencia de las máquinas que sobrevuelan los obstáculos del terreno. Bajo el mismo sol ecuatoriano, ambos mundos se preparan para mostrar sus cartas, revelando que la verdadera innovación no está en elegir uno sobre el otro, sino en saber cuándo el territorio exige la firmeza del suelo o la agilidad del cielo

Para que este duelo entre el GPS diferencial y el dron con módulo RTK arroje resultados significativos, es necesario observar cómo se comportaron ambos en las condiciones extremas de los sitios de estudio. En la Finca Isabel María, un área de más de 300 hectáreas en Los Ríos, el equipo de topografía terrestre tuvo que enfrentarse a un terreno plano pero visualmente agotador, donde el desplazamiento con equipos pesados y la búsqueda de señales limpias bajo el

sol de 28 grados puso a prueba la metodología tradicional. En contraste, en la Agrícola del Pacífico, específicamente en su Zona 1, el desafío fue la densidad vegetal del bosque de teca, un entorno donde la visibilidad se reduce y los obstáculos físicos se multiplican.

La ejecución del levantamiento con GPS diferencial siguió un protocolo estricto basado en la toma de puntos estáticos y estáticos rápidos. Este método requiere que un receptor de referencia se mantenga fijo, mientras un equipo humano —compuesto por un guía, un ayudante, un cadenero y el operador del receptor móvil— recorre los vértices de los lotes. El tiempo de observación en cada punto está rígidamente normado por fórmulas del Instituto Geográfico Militar (IGM), asegurando que la conexión con los satélites sea lo suficientemente larga para corregir los errores atmosféricos. Es un proceso de "verdad de suelo", donde cada coordenada capturada tiene el sello de la presencia física en el lugar.

Por su parte, el dron Mavic 3M abordó los mismos terrenos desde una perspectiva cenital. La planificación de su vuelo no se hizo caminando, sino trazando polígonos regulares en software especializado para garantizar una cobertura total con un traslape de imágenes del 80%. Una vez en el aire, el módulo RTK del dron realizó una danza de microsegundos, sincronizando su obturador con la señal satelital para que cada fotografía tuviera una posición grabada con exactitud centimétrica. Lo que al

equipo terrestre le tomó días de caminata, al dron le tomó apenas unas horas de sobrevuelo autónomo.

El momento de la verdad llegó durante el procesamiento de los datos. Mientras que los puntos del GPS diferencial se analizaron mediante software como RTKlib para obtener coordenadas corregidas, las miles de imágenes del dron se transformaron en un ortomosaico georreferenciado a través de procesos de alineación, densificación de puntos y calibración de cámara en Agisoft Metashape. El resultado fue una representación visual tan fiel que cada píxel de la imagen correspondía a una ubicación exacta en el mundo real.

Al poner los resultados frente a frente, la primera revelación asombrosa es la paridad en la precisión. La investigación demostró que la diferencia entre las áreas medidas por ambas tecnologías es mínima, con una desviación estándar de apenas el 0.096%. Esto significa que, para efectos prácticos de ingeniería civil y delimitación de linderos, ambos mundos ofrecen una exactitud comparable y sumamente confiable. Sin embargo, donde el duelo se inclina drásticamente es en la eficiencia del tiempo. El uso de drones con tecnología RTK logró optimizar y reducir los tiempos de ejecución entre un 50% y un 66% en comparación con el GPS diferencial. En un proyecto de gran envergadura, ahorrar dos de cada tres semanas de trabajo de campo es un salto revolucionario en la productividad.

No obstante, esta agilidad aérea tiene un contrapunto: la inversión. El análisis de costos reveló que realizar un levantamiento con dron RTK es, en promedio, un 62.3% más costoso que el método tradicional. Este incremento se debe no solo al valor del equipo de alta tecnología, sino también a la necesidad de personal altamente capacitado en fotogrametría y al cumplimiento de normativas de aviación civil que incluyen seguros de responsabilidad y permisos especiales.

La conclusión de este duelo tecnológico nos dice que no hay una herramienta superior en todos los casos, sino una herramienta adecuada para cada escenario. Para terrenos pequeños, accesibles y donde el presupuesto sea la principal limitante, el GPS diferencial sigue siendo el rey de la eficiencia económica. Pero cuando el desafío es el territorio bananero en su máxima expresión —áreas extensas, vegetación que oculta el horizonte y cronogramas que no admiten demoras—, el dron equipado con módulo RTK se erige como el aliado indispensable para mapear el futuro con la rapidez que exige el siglo XXI.

Este duelo bajo el sol ecuatoriano nos enseña que la topografía moderna es una ciencia de equilibrio. Hemos pasado de las cuerdas egipcias a los rayos láser y de los pasos en el lodo a los sensores en las nubes. Al final del día, lo que importa es que el territorio ha sido comprendido y medido con un rigor que garantiza que

cada obra construida sobre él tenga una base sólida y una ubicación irrefutable en el espacio.

Bibliografía

1. Alcaraz, D. P. (2015). Levantamiento mediante GPS. Universidad Politécnica de Cartagena.
2. Blanco Suárez, M. A. (2022). Vuelo en área montañosa con vehículo aéreo no tripulado equipado con GNSS L1: análisis de la precisión fotogramétrica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
3. Cevallos, E. O. (2021). Evaluación de costos, rapidez y precisión en el levantamiento topográfico realizado con dron en la carreta Pillco Marca distrito de Cayran 2019.
4. Claudio Antonio Ramirez Soto. Importancia de los levantamientos topográficos. (2022) .
5. Darum-sl. (s.f.). Técnicas de levantamiento topográfico: métodos tradicionales vs. tecnología moderna.
6. DGAC. (2020). Sistemas de imágenes altamente integrado.
7. DJI. (2024). Mavic 3M - Specifications.
8. Egvuser. (2024). Aerofotogrametría.
9. El Vuelo del Dron. (s.f.). Drones profesionales - Mavic 3 Multiespectral.
10. Eml Yd. (s.f.). RTK Introduction.
11. GeoGest. (2021). Conceptos fundamentales en topografía.
12. GeoPortal. (s.f.). Geodesia- Ecuador.
13. Geoteknik S.A.C. (s.f.). Receptor GPS Diferencial.

14. Gerhard. (2005). PPP-RTK: posicionamiento preciso de puntos mediante representación en espacio de estados en redes RTK. Institute of Navigation.
15. Global Mediterránea Geomática. (2020). Levantamiento topográfico con GPS.
16. Gps (s.f.). Fundamentos del sistema GPS.
17. Guandique. (2015). Fundamentos básicos de fotogrametría.
18. Iberoptics. (s.f.). Fundamentos básicos de fotogrametría 3D.
19. Ingeoexpert. (2021). Topografía y sus objetivos.
20. Instituto Geográfico Militar. (2020). Resoluciones técnicas.
21. Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). Teoría de la Geodesia.
22. Jiménez Granizo, M. J., & Yamasqui Sarmiento, J. D. (2022). Evaluación y valoración de levantamientos topográficos mediante aerofotogrametría y métodos tradicionales .
23. Latitud-19. (s.f.). Levantamiento geodésico.
24. Ley de Geoinformación del Ecuador. (2005) .
25. McCormac, J. (2003). Topografía. Prentice Hall Internacional.
26. Normativa de la Dirección General de Aviación Civil. (2022) .
27. Pérez, J., & Ana, G. (2019). Definición de Geodesia.
28. Políticas Nacionales de Información Geoespacial (CONAGE). (2010) .
29. Rodenas Chivichón, S. (2023). Análisis comparativo de los métodos fotogramétricos. Universidad de San

Carlos de Guatemala.

30. Silva Velarde, E. O. (2024). Generación de ortofotografía y modelo digital de elevación con puntos de control RTK. Universidad Politécnica Salesiana Ecuador.
31. Toposervis. (s.f.). Topografía en proyectos de obra civil.
32. UpdateStar. (s.f.). Equipos de Topografía.
33. Utm30. (s.f.). Equipos de Topografía - SinoGNSS.
34. Villner. (2022). Tipos de levantamientos topográficos y su aplicación .
35. Wingtra AG. (s.f.). Aplicaciones cartográficas y SIG.

Capítulo 6: La Frontera de la Precisión: Resultados de una Medición Casi Perfecta

La búsqueda de la precisión no es un capricho técnico de ingenieros y cartógrafos; es, en realidad, uno de los hilos conductores de la historia de la civilización. Cada vez que cruzamos un puente monumental, abrimos el grifo de agua en nuestra casa o caminamos por los linderos de una propiedad, estamos confiando nuestras vidas y nuestra economía a la exactitud de una medición previa. La topografía, esa ciencia dedicada al estudio detallado de la superficie terrestre, es la herramienta que permite representar gráficamente la realidad física del mundo con una fidelidad que hoy consideramos casi natural, pero que ha tomado milenios perfeccionar. En este capítulo, exploraremos cómo esa frontera de la precisión ha sido finalmente conquistada, transformando la manera en que entendemos y habitamos nuestro territorio.

Para comprender la importancia de este avance, debemos mirar hacia atrás y reconocer que la topografía ha sido siempre el cimiento del desarrollo territorial. No existe obra de ingeniería civil, desde una modesta carretera hasta una presa de gran envergadura, que no haya requerido primero un conocimiento profundo de la realidad del suelo. El topógrafo es el profesional que establece las líneas y niveles que garantizan la estabilidad de las estructuras que nos rodean. Su labor no se limita a medir

distancias; se trata de una disciplina fundamental para la planificación, el diseño y la ejecución de proyectos que impactan directamente en nuestra calidad de vida.

Históricamente, el desafío de medir la tierra nació de una necesidad pragmática de orden. En el Antiguo Egipto, los desbordamientos anuales del río Nilo borraban sistemáticamente los límites de las parcelas agrícolas, obligando a los primeros agrimensores a idear métodos para restablecer la propiedad y asegurar la producción de alimentos. Con el tiempo, esta necesidad técnica se transformó en una búsqueda científica en la antigua Grecia. Pensadores como Anaximandro y Mileto comenzaron a plasmar el mundo en cartas geográficas, pero fue Eratóstenes quien dio un paso colosal al desarrollar un método científico para calcular el radio terrestre. Más tarde, Hiparco, al dividir la circunferencia en trescientos sesenta grados, sentó las bases de la Geodesia, la ciencia que hoy nos permite entender la forma y dimensiones de nuestro planeta.

Sin embargo, el camino hacia la medición "casi perfecta" se encontró con un obstáculo geográfico fundamental: la Tierra no es una esfera lisa. La ciencia moderna la define como un geoide, un cuerpo casi esférico pero con irregularidades sutiles, achatado en sus polos y ensanchado en el ecuador debido a la rotación y la gravedad. Esta forma caprichosa significa que una medición tomada desde el espacio no puede aplicarse directamente al suelo sin un ajuste matemático riguroso.

Para que la tecnología satelital sea útil en la construcción de un sistema de riego en la costa ecuatoriana, debemos utilizar fórmulas que conviertan la altura geométrica de un satélite en alturas ortométricas reales, considerando las ondulaciones del propio planeta.

Durante siglos, la precisión estuvo limitada por la capacidad física del ojo humano y la resistencia de las cintas métricas o las brújulas. La llegada de las estaciones totales y los teodolitos electrónicos supuso un salto cualitativo al integrar láseres y electrónica para calcular ángulos y distancias automáticamente, reduciendo significativamente el error humano. Sin embargo, seguíamos atados a la necesidad de ver un punto desde otro. La verdadera revolución de la precisión comenzó cuando dejamos de mirar hacia el horizonte y empezamos a mirar hacia las estrellas artificiales que orbitan la Tierra.

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) permitió obtener coordenadas exactas eliminando muchas barreras físicas, pero el sistema convencional que usamos en nuestros teléfonos presenta un margen de error de varios metros debido a distorsiones en la atmósfera. En la ingeniería civil de precisión, un error de tres metros es inaceptable. Es aquí donde las metodologías que protagonizan nuestra investigación —el GPS diferencial y los drones con módulos RTK— marcan la frontera definitiva. Ambas tecnologías han sido diseñadas para corregir las señales satelitales en tiempo real,

permitiéndonos alcanzar una exactitud de nivel centimétrico.

En este contexto, la investigación realizada en las plantaciones bananeras de las provincias de Guayas y Los Ríos se convierte en un testimonio de esta era de precisión casi perfecta. Al comparar el GPS diferencial con el dron equipado con módulo RTK en sitios como la Finca Isabel María y Agrícola del Pacífico, nos encontramos con una revelación técnica asombrosa: ambas metodologías, a pesar de sus diferencias operativas, ofrecen resultados increíblemente consistentes. Los datos recolectados muestran que la variación entre una medición aérea y una terrestre es mínima, situándose en una desviación estándar de apenas el 0.096% en términos de área.

Esta cifra, 0.096%, representa la victoria de la tecnología sobre la irregularidad del relieve y la complejidad del terreno ecuatoriano. Significa que, independientemente de si el topógrafo camina cada metro del lodo bananero con su equipo RTK o si un dron Mavic 3M sobrevuela la zona capturando miles de imágenes sincronizadas en microsegundos, la información final será esencialmente la misma. Estamos en un punto de la historia donde la ciencia nos permite mapear cientos de hectáreas de vegetación densa con la certeza de que cada centímetro ha sido registrado con el rigor que solo la unión entre la historia y la innovación digital puede ofrecer.

Al preparar al lector para los capítulos finales, es vital comprender que esta medición perfecta no es solo un dato estadístico. Es la garantía de que el desarrollo territorial del Ecuador se realiza sobre bases sólidas. En la siguiente parte, profundizaremos en los resultados numéricos específicos de nuestras zonas de estudio, descubriendo cómo cada uno de estos puntos georreferenciados contribuye a una visión del territorio que los agrimensores del Nilo jamás habrían creído posible.

Para materializar esta "medición casi perfecta", la investigación se trasladó a los campos de Guayas y Los Ríos, convirtiendo las plantaciones de banano en laboratorios de alta precisión. En este entorno, los resultados no fueron fruto del azar, sino de un proceso riguroso de comparación entre la solidez terrestre y la agilidad aérea. Al analizar los datos obtenidos, nos encontramos con una paridad técnica que desafía las expectativas iniciales. En la Finca Isabel María, un coloso de más de trescientas hectáreas, el levantamiento realizado con GPS diferencial arrojó una superficie de **305.87 hectáreas**, mientras que el dron con tecnología RTK registró **306.59 hectáreas**. Esta mínima diferencia, de apenas un **0.24%**, es el primer indicio de que estamos ante una nueva era de exactitud geoespacial.

Esta consistencia se repitió con precisión matemática en los otros sitios de estudio. En la Zona 1 de Agrícola del Pacífico, la variación entre ambos métodos fue casi imperceptible: un asombroso **0.01%**, con áreas de **210.32** y **210.35 hectáreas** respectivamente. En la Zona 2 del

mismo sitio, la diferencia fue de tan solo un **0.08%**. Al calcular la desviación estándar de todas estas mediciones, llegamos a la cifra mágica que mencionamos anteriormente: **0.096%**. Este número es el sello de garantía de la investigación; nos dice que las diferencias entre medir con los pies en la tierra o con ojos en las nubes son tan pequeñas que, para los fines prácticos de la ingeniería y la planificación, ambas metodologías habitan el mismo universo de precisión.

Sin embargo, alcanzar esta frontera no fue una tarea sencilla ni automática. Requirió el uso de herramientas de vanguardia, como el receptor **SinoGNSS RTK**, capaz de captar señales de múltiples constelaciones satelitales como **GLONASS** y **GALILEO**, y el dron **Mavic 3M**, cuya cámara y módulo de posicionamiento se sincronizan en microsegundos. Pero la verdadera "magia" ocurrió en el procesamiento de los datos. Mientras que los puntos del GPS terrestre fueron depurados mediante el software **RTKlib** para obtener coordenadas corregidas con milímetros de error, las miles de imágenes capturadas por el dron fueron sometidas a una alquimia digital en **Agisoft Metashape**. Allí, procesos de alineación, densificación de nubes de puntos y calibración de lentes transformaron fotos simples en un ortomosaico georreferenciado, una imagen donde cada píxel tiene una identidad geográfica exacta.

Es importante que el lector comprenda por qué esta precisión es vital para el desarrollo del país. En el sector

bananero, por ejemplo, un error en la medición del área puede significar un diseño defectuoso de los canales de riego o una mala distribución de los recursos de fertilización. Al contar con una precisión del **0.096%**, los ingenieros pueden diseñar infraestructuras con la certeza de que el agua fluirá exactamente por donde fue planeada. Esta exactitud también es la base para la seguridad jurídica de la tierra, permitiendo establecer linderos y fronteras de propiedad que no admiten dudas ni conflictos legales.

La metodología que permitió validar estos resultados fue el ciclo de mejora continua **PHVA** (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar). Esta estructura no solo organizó el trabajo de campo, sino que garantizó la transparencia y la reproducibilidad de los datos. En la fase de verificación, se pudo constatar que, aunque el dron con módulo RTK representa una inversión inicial mayor —siendo un **62.3%** más costoso en promedio que el método tradicional—, su capacidad para optimizar el tiempo de ejecución entre un **50%** y un **66%** lo convierte en la herramienta predilecta para conquistar áreas extensas en plazos que antes eran impensables.

Al final de este capítulo, queda claro que la frontera de la precisión ya no es un límite distante, sino un territorio habitado. Hemos logrado unificar dos mundos tecnológicos bajo una misma premisa: la búsqueda de la verdad geométrica. Ya sea que utilicemos la robustez del GPS diferencial en áreas pequeñas y boscosas, o la visión panorámica del dron RTK en grandes latifundios, el

resultado final es una representación fiel y casi perfecta de nuestra tierra. Esta certeza es el legado más valioso que la tecnología moderna entrega a la ingeniería civil ecuatoriana y al futuro de nuestro desarrollo territorial.

Bibliografía

1. Alcaraz, D. P. (2015). Levantamiento mediante GPS. Universidad Politécnica de Cartagena.
2. Blanco Suárez, M. A. (2022). Vuelo en área montañosa con vehículo aéreo no tripulado equipado con GNSS L1: análisis de la precisión fotogramétrica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
3. Cevallos, E. O. (2021). Evaluación de costos, rapidez y precisión en el levantamiento topográfico realizado con dron en la carreta Pillco Marca distrito de Cayran 2019.
4. Claudio Antonio Ramirez Soto. Importancia de los levantamientos topográficos. (2022).
5. Darum-sl. (s.f.). Técnicas de levantamiento topográfico: métodos tradicionales vs. tecnología moderna.
6. DGAC. (2020). Sistemas de imágenes altamente integrado.
7. DJI. (2024). Mavic 3M - Specifications.
8. Egvuser. (2024). Aerofotogrametría.
9. El Vuelo del Dron. (s.f.). Drones profesionales - Mavic 3 Multispectral.
10. Eml Yd. (s.f.). RTK Introduction.
11. GeoGest. (2021). Conceptos fundamentales en topografía.

12. GeoPortal. (s.f.). Geodesia- Ecuador.
13. Geoteknik S.A.C. (s.f.). Receptor GPS Diferencial.
14. Global Mediterránea Geomática. (2020). Levantamiento topográfico con GPS.
15. GPS. (s.f.). Fundamentos del sistema GPS.
16. Guandique. (2015). Fundamentos básicos de fotogrametría.
17. Iberoptics. (s.f.). Fundamentos básicos de fotogrametría 3D.
18. Ingeoexpert. (2021). Topografía y sus objetivos.
19. Instituto Geográfico Militar. (2020). Resoluciones técnicas.
20. Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). Teoría de la Geodesia.
21. Jiménez Granizo, M. J., & Yamasqui Sarmiento, J. D. (2022). Evaluación y valoración de levantamientos topográficos mediante aerofotogrametría y métodos tradicionales.
22. Latitud-19. (s.f.). Levantamiento geodésico.
23. Ley de Geoinformación del Ecuador. (2005).
24. McCormac, J. (2003). Topografía. Prentice Hall Internacional.
25. Normativa de la Dirección General de Aviación Civil. (2022).
26. Pérez, J., & Ana, G. (2019). Definición de Geodesia.
27. Políticas Nacionales de Información Geoespacial (CONAGE). (2010).
28. Rodenas Chivichón, S. (2023). Análisis comparativo de los métodos fotogramétricos. Universidad de San Carlos de Guatemala.

29. Silva Velarde, E. O. (2024). Generación de ortofotografía y modelo digital de elevación con puntos de control RTK. Universidad Politécnica Salesiana Ecuador.
30. Toposervis. (s.f.). Topografía en proyectos de obra civil.
31. UpdateStar. (s.f.). Equipos de Topografía.
32. Utm30. (s.f.). Equipos de Topografía - SinoGNSS.
33. Villner. (2022). Tipos de levantamientos topográficos y su aplicación.
34. Wingtra AG. (s.f.). Aplicaciones cartográficas y SIG.

Capítulo 7: Carrera contra el Reloj: La Velocidad de los Datos en Tiempo Real

En el mundo moderno, el tiempo se ha convertido en el recurso más escaso y, por ende, en el más valioso. Esta premisa, que rige los mercados financieros y la logística global, tiene un eco profundo y particular en la ingeniería civil y la gestión del territorio. Imaginemos por un momento la planificación de una gran infraestructura, como un sistema de alcantarillado para una nueva zona urbana o una red de riego para cientos de hectáreas de banano en la provincia de Los Ríos. Cada día de retraso en la obtención de los planos base no solo representa un costo acumulado en salarios y equipos, sino también un aplazamiento de los beneficios que esa obra traerá a la comunidad. La topografía, tradicionalmente vista como una labor pausada y meticulosa, se encuentra hoy en medio de una frenética carrera contra el reloj, donde la tecnología de datos en tiempo real está dictando los nuevos récords de velocidad y precisión.

Para comprender por qué la velocidad es hoy un factor determinante, debemos recordar el papel fundamental que juega la topografía en nuestra vida cotidiana. Esta ciencia, dedicada a la medición y representación de la superficie terrestre, es la que permite que las ciudades se ordenen, que las carreteras sigan trayectorias seguras y que los recursos naturales se gestionen con justicia. Sin un levantamiento previo, cualquier construcción sería un salto

al vacío. El topógrafo es quien "traduce" la realidad irregular del suelo a un lenguaje que arquitectos e ingenieros puedan usar para diseñar el futuro. Históricamente, esta traducción era un proceso que tomaba meses.

Si retrocedemos a los albores de la civilización, en el Antiguo Egipto, el tiempo de medición estaba dictado por el ritmo de la naturaleza. Los agrimensores debían esperar a que las aguas del Nilo se retiraran para comenzar su labor con cuerdas y estacas, restableciendo linderos que la inundación había borrado. No había prisa porque la agricultura seguía el ciclo de las estaciones. Sin embargo, con la evolución del pensamiento griego y el nacimiento de la Geodesia, la ambición humana por medir no solo parcelas, sino el planeta entero, introdujo la necesidad de instrumentos más ágiles. De las cuerdas pasamos a los teodolitos mecánicos y, mucho después, a las estaciones totales electrónicas que integraron láseres para automatizar cálculos de distancias y ángulos. Cada salto tecnológico buscaba lo mismo: reducir el margen de error y, sobre todo, acortar el tiempo que el profesional debía pasar bajo el sol.

En el contexto de Ecuador, específicamente en las fértiles tierras de Guayas y Los Ríos, esta evolución ha chocado tradicionalmente con un muro geográfico: la vegetación densa y los terrenos extensos de las plantaciones bananeras. Realizar un levantamiento topográfico en sitios como la Finca Isabel María no es solo una cuestión de

técnica, sino de resistencia física. La humedad que oscila entre el 75% y el 90%, sumada a temperaturas que pueden alcanzar los 30°C, convierte cada jornada de campo en un desafío logístico. Con los métodos tradicionales, un equipo de topografía debía caminar metro a metro, luchando contra la maleza para colocar jalones o estaciones de referencia, un proceso que podía tomar semanas para cubrir un área de trescientas hectáreas.

La llegada del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) prometió romper estas cadenas. Al utilizar una red de satélites en órbita, el topógrafo ya no dependía de la visibilidad directa entre dos puntos en el suelo. Podía obtener coordenadas exactas desde casi cualquier lugar. Sin embargo, el GPS convencional presentaba un "retraso" en la precisión. Las señales satelitales, al atravesar la atmósfera y la ionosfera, sufrían distorsiones que obligaban a los profesionales a realizar largas tomas de datos estáticos para luego corregirlos en la oficina mediante procesos matemáticos complejos. Aunque era más rápido que los métodos manuales, aún no estábamos en la era de la inmediatez.

El verdadero cambio de paradigma ocurrió con la implementación de la tecnología RTK (Cinemática en Tiempo Real). El concepto es tan revolucionario como sencillo en su ejecución: el sistema ya no espera a llegar a la oficina para saber dónde está con precisión. A través de un diálogo constante entre una base fija de coordenadas conocidas y un receptor móvil (ya sea un equipo terrestre o un dron), los errores atmosféricos se calculan y corrigen

en microsegundos. El resultado es una precisión de nivel centimétrico entregada al instante. Es aquí donde la "carrera contra el reloj" da un giro definitivo a favor de la eficiencia.

En nuestra investigación, esta velocidad se puso a prueba en escenarios reales. En las plantaciones de banano de Dole Ecuador, se comparó el despliegue de un equipo humano con GPS diferencial frente a la agilidad de un dron equipado con módulo RTK. Mientras que el personal terrestre debía navegar por el intrincado diseño de los lotes agrícolas, el dron Mavic 3M surcaba los cielos siguiendo rutas automatizadas, capturando miles de imágenes georreferenciadas con una exactitud que antes solo era posible tras días de procesamiento manual. Esta capacidad de obtener datos "frescos" y listos para usar permite que los ingenieros tomen decisiones críticas en el mismo sitio de obra, ajustando planos o detectando errores de nivelación en tiempo real.

No obstante, esta velocidad no es un producto del azar. Requiere una planificación meticulosa que comienza mucho antes de que el dron despegue o la base GPS se encienda. En la fase de "Planificar" de nuestra metodología PHVA, se deben considerar variables como la trayectoria de los satélites y las condiciones climáticas. No sirve de nada tener la tecnología más rápida si una ráfaga de viento o una lluvia tropical impiden la operación segura del equipo. El topógrafo moderno, por tanto, ha pasado de ser un caminante de linderos a ser un gestor de datos que

debe sincronizar la logística humana con la precisión de los relojes atómicos en órbita.

En la segunda parte de este capítulo, profundizaremos en los datos específicos obtenidos en la Finca Isabel María y Agrícola del Pacífico, revelando cómo la tecnología RTK logró reducir semanas de trabajo a apenas unos días, y cómo este ahorro de tiempo se traduce en una ventaja estratégica para el desarrollo de la ingeniería civil en nuestro país. Analizaremos por qué, en la topografía del siglo XXI, el que no corre con precisión, simplemente se queda atrás en el mapa del progreso.

Para cuantificar verdaderamente lo que significa esta carrera contra el tiempo, debemos observar los espejos de la realidad que nos ofrecen los sitios de estudio en las provincias de Guayas y Los Ríos. La investigación no se quedó en la superficie de la teoría, sino que se sumergió en la logística diaria de terrenos complejos como la Finca Isabel María y la Agrícola del Pacífico. Es en estos escenarios donde la diferencia entre los métodos tradicionales y la tecnología de vanguardia deja de ser una cifra en un manual para convertirse en una ventaja competitiva tangible para el desarrollo territorial.

En la Finca Isabel María, un coloso de más de trescientas hectáreas caracterizado por su homogeneidad climática y su densa capa vegetal, el levantamiento realizado con GPS diferencial demandó un despliegue humano y técnico que se extendió durante cuatro semanas completas. Imaginemos a un equipo compuesto por un guía,

ayudantes y cadeneros recorriendo cada vértice de los lotes bajo un sol que calienta el aire hasta los treinta grados centígrados. Cada punto tomado requería un tiempo de observación específico, calculado meticulosamente para asegurar la precisión milimétrica que exige el Instituto Geográfico Militar (IGM). En contraste, cuando el dron equipado con el módulo RTK surcó el mismo cielo, el tiempo de ejecución se redujo drásticamente a solo dos semanas. Esta optimización del cincuenta por ciento en el tiempo de campo es un testimonio de cómo la aerofotogrametría ha logrado comprimir procesos que antes se consideraban inamovibles.

Esta tendencia hacia la velocidad se volvió aún más evidente en la Zona 1 de la Agrícola del Pacífico, un terreno que presentaba el desafío adicional de un bosque de teca. Aquí, el método tradicional con GPS diferencial tomó tres semanas de trabajo intenso, luchando contra la visibilidad limitada y los obstáculos físicos. Sin embargo, el dron con tecnología RTK logró completar la captura de datos en apenas una semana. Estamos hablando de una reducción del tiempo de ejecución del sesenta y seis punto seis por ciento. Para un ingeniero civil, ahorrar dos semanas de trabajo de campo en una sola zona de estudio no es solo un logro técnico; es la liberación de recursos que pueden ser destinados a la fase de diseño o construcción, acelerando todo el ciclo de vida del proyecto.

Pero, ¿cómo es posible que esta velocidad no comprometa la calidad? La respuesta reside en la integración del ciclo de mejora continua conocido como PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar). En la fase de planificación, se establecen rutas de vuelo automatizadas y polígonos regulares que permiten al dron cubrir el área con un traslape de imágenes del ochenta por ciento, garantizando que no existan huecos de información. En la fase de verificación, los datos obtenidos se contrastan con puntos de control terrestres, demostrando que la precisión obtenida tiene una desviación estándar de apenas el 0.096% respecto a los métodos terrestres. Esta metodología asegura que la rapidez no sea sinónimo de descuido, sino de una eficiencia orquestada por algoritmos de alta precisión.

No obstante, esta carrera tiene un costo que el profesional debe ponderar. El análisis económico de la investigación reveló que, aunque el uso de drones con módulo RTK optimiza el tiempo de levantamiento de manera espectacular, la inversión inicial y operativa es significativamente mayor. En promedio, utilizar esta tecnología es un sesenta y dos punto tres por ciento más costoso que el GPS diferencial tradicional. Es aquí donde surge el dilema estratégico: ¿vale la pena pagar más por ganar tiempo? La respuesta que arroja el estudio es clara: para áreas extensas y terrenos de difícil acceso, como las plantaciones bananeras del litoral ecuatoriano, el ahorro de tiempo compensa con creces la inversión, permitiendo una

planificación y un ordenamiento territorial mucho más ágil.

La percepción de los profesionales del sector respalda estos hallazgos. Según las encuestas realizadas a expertos en ingeniería civil y geomática, el sesenta y seis punto siete por ciento considera que los drones con módulo RTK son el método más eficiente en términos de tiempo. Sin embargo, la precisión sigue siendo el factor crítico número uno para la mitad de los encuestados. Lo fascinante de la era actual es que la tecnología RTK ha logrado unir ambas necesidades: la velocidad de los datos en tiempo real con la exactitud centimétrica que antes solo se lograba con mediciones pausadas y estáticas.

En conclusión, la carrera contra el reloj en la topografía moderna ha sido ganada por las alas digitales. Hemos pasado de semanas de caminatas y cálculos manuales a horas de sobrevuelo y procesamiento automatizado. Esta velocidad es la que permite hoy que Ecuador sueñe con infraestructuras más inteligentes y una gestión del territorio basada en la inmediatez de la información geográfica. En el siguiente capítulo, exploraremos el otro lado de la moneda: el dilema de la inversión y cómo equilibrar la sofisticación tecnológica con la realidad presupuestaria de cada proyecto.

Bibliografía

- Alcaraz, D. P. (2015). Levantamiento mediante GPS. Universidad Politécnica de Cartagena.

- Blanco Suárez, M. A. (2022). Vuelo en área montañosa con vehículo aéreo no tripulado equipado con GNSS L1: análisis de la precisión fotogramétrica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Cevallos, E. O. (2021). Evaluación de costos, rapidez y precisión en el levantamiento topográfico realizado con dron.
- Claudio Antonio Ramirez Soto. Importancia de los levantamientos topográficos. (2022).
- Darum-sl. (s.f.). Técnicas de levantamiento topográfico: métodos tradicionales vs. tecnología moderna.
- DJI Enterprise. (s.f.). Mavic 3M - Specifications.
- Egvuser. (2024). Aerofotogrametría.
- El Vuelo del Dron. (s.f.). Mavic 3 Multispectral.
- Emlid. (s.f.). RTK Introduction.
- GeoGest. (2021). Conceptos fundamentales en topografía.
- GeoPortal IGM. (s.f.). Geodesia- Ecuador.
- Geoteknik S.A.C. (s.f.). Receptor GPS Diferencial.
- Gerhard, W. (2005). PPP-RTK: posicionamiento preciso de puntos. Institute of Navigation.
- Global Mediterránea Geomática. (2020). Levantamiento topográfico con GPS.
- Iberoptics. (s.f.). Fundamentos básicos de fotogrametría.
- Ingeoexpert. (2021). Topografía y sus objetivos.
- Instituto Geográfico Militar. (2020). Resoluciones técnicas.

- Jiménez Granizo, M. J., & Yamasqui Sarmiento, J. D. (2022). Evaluación y valoración de levantamientos topográficos mediante aerofotogrametría y métodos tradicionales.
- Latitud-19. (s.f.). Levantamiento geodésico.
- McCormac, J. (2003). Topografía. Prentice Hall Internacional.
- Rodenas Chivichón, S. (2023). Análisis comparativo de los métodos fotogramétricos.
- Silva Velarde, E. O. (2024). Generación de ortofotografía y modelo digital de elevación con puntos de control RTK.
- Toposervis. (s.f.). Topografía en proyectos de obra civil.
- Utm30. (s.f.). Equipos de Topografía - SinoGNSS.
- Villner. (2022). Tipos de levantamientos topográficos y su aplicación.
- Wingtra AG. (s.f.). Aplicaciones cartográficas y SIG.

Capítulo 8: El Dilema de la Inversión: Balanceando Costos, Tecnología y Eficiencia

Cualquier progreso humano, desde la construcción de una pequeña vivienda hasta el trazado de una autopista que conecta provincias, comienza con un acto de fe en la medición. Sin embargo, detrás de esa confianza hay un complejo entramado de decisiones técnicas y económicas que rara vez llegan al conocimiento del público general. La topografía, esa ciencia dedicada a la medición, representación y análisis de la superficie terrestre, no es ajena a este desafío. En la actualidad, nos encontramos en una encrucijada donde la tradición y la vanguardia compiten no solo en exactitud, sino en la eficiencia con la que se utilizan los recursos de una nación. El dilema de la inversión en tecnología topográfica no se trata simplemente de elegir el equipo más moderno; se trata de entender cómo la captura de la realidad física del territorio puede potenciar el desarrollo de infraestructuras esenciales para la vida cotidiana.

Para comprender este equilibrio, es fundamental reconocer que la topografía es la columna vertebral de sectores estratégicos como la ingeniería civil, la arquitectura y la agricultura de precisión. Cada vez que vemos un mapa preciso de una plantación bananera en las provincias de Guayas o Los Ríos, estamos viendo el resultado de una labor que busca traducir la irregularidad del suelo a un

lenguaje que ingenieros y planificadores puedan entender. El objetivo primordial es determinar las características físicas de un terreno, incluyendo su relieve y su ubicación exacta en el espacio, lo que permite el diseño de obras que garantizan nuestra seguridad y bienestar, como sistemas de riego eficientes o carreteras que no colapsan ante el primer temporal.

Históricamente, la medición del territorio ha sido una tarea de gran sacrificio físico y temporal. En el Antiguo Egipto, los primeros agrimensores debían esperar a que las aguas del Nilo bajaran para restablecer los linderos de las tierras de cultivo, utilizando herramientas rudimentarias como cuerdas. Con el tiempo, el pensamiento griego transformó esta necesidad práctica en una disciplina científica vinculada a la matemática y la astronomía. Figuras como Eratóstenes, quien calculó el radio terrestre, e Hiparco, que dividió la circunferencia en trescientos sesenta grados, sentaron las bases de la Geodesia, la ciencia que nos permite entender la Tierra no como una esfera plana, sino como un geoide irregular achatado en los polos. Esta evolución milenaria nos ha enseñado que medir es, en última instancia, una lucha constante contra el error y el tiempo.

Durante décadas, el estándar de la industria fueron los métodos terrestres. Instrumentos óptico-mecánicos como las brújulas taquimétricas y los teodolitos dieron paso a las estaciones totales electrónicas, que integraron láseres para calcular distancias y ángulos de forma automática. Estas

herramientas permitieron una precisión asombrosa, pero seguían exigiendo que un equipo humano recorriera físicamente cada metro del terreno, enfrentándose a vegetación densa y obstáculos geográficos que ralentizaban el progreso. En terrenos como las fincas bananeras del litoral ecuatoriano, donde la vegetación es cerrada y el clima tropical impone condiciones extremas, realizar un levantamiento tradicional puede convertirse en una odisea de semanas.

La llegada del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) diferencial marcó una nueva era. Al utilizar una red de satélites en órbita y corregir las señales mediante bases terrestres, los topógrafos pudieron alcanzar precisiones milimétricas sin depender de la visibilidad directa entre puntos en el suelo. Sin embargo, el GPS diferencial, aunque robusto y confiable, aún requiere un despliegue considerable de personal y equipos en el terreno. Es en este punto donde surge la tecnología emergente de los drones equipados con módulos RTK (Cinemática en Tiempo Real), prometiendo una revolución en la eficiencia al capturar datos masivos desde el cielo en una fracción del tiempo habitual.

Aquí es donde el profesional se enfrenta al dilema de la inversión. Por un lado, el GPS diferencial representa un método consolidado, con costos operativos conocidos y una fiabilidad probada en áreas pequeñas o de difícil visibilidad aérea. Por otro lado, la aerofotogrametría con drones RTK ofrece una visión integral y veloz de áreas

extensas, reduciendo la necesidad de grandes equipos de campo y facilitando la recolección de información en condiciones desfavorables. No obstante, este salto tecnológico implica una inversión inicial significativamente mayor y la necesidad de una formación especializada para procesar los complejos datos fotogramétricos.

Nuestra investigación en las fincas Isabel María y Agrícola del Pacífico nos ha permitido poner cifras concretas a este dilema. Al comparar ambas metodologías bajo el sol ecuatoriano, hemos descubierto que no existe una solución única ganadora, sino una herramienta adecuada para cada contexto. La decisión de invertir en una u otra tecnología debe basarse en un análisis cuidadoso de la precisión requerida, la complejidad del terreno y, sobre todo, la urgencia con la que el territorio demanda ser comprendido. Al final del día, el balance entre costo, tecnología y eficiencia es lo que define el ritmo al que nuestro país puede transformar su suelo en progreso.

Para resolver el dilema de la inversión, no basta con admirar la sofisticación de los sensores o la agilidad de las hélices; es imperativo sumergirse en la frialdad de los presupuestos y la logística del mundo real. En nuestra investigación, el análisis económico dejó de ser una abstracción para convertirse en una hoja de ruta clara, fundamentada en los análisis de precios unitarios que rigen la industria de la construcción y la consultoría en

Ecuador. Al observar los datos recolectados en los tres sitios de estudio, emerge un patrón revelador: la tecnología de punta tiene un costo de entrada elevado, pero su rentabilidad en términos de tiempo es tan contundente que obliga a repensar la forma en que planificamos el desarrollo del país.

Empecemos por el gigante de nuestro estudio, la Finca Isabel María, un terreno de más de trescientas hectáreas que representa el estándar de los grandes latifundios bananeros. Aquí, el levantamiento mediante el método tradicional de GPS diferencial representó un costo de once mil ciento treinta y siete dólares con setenta y tres centavos. En contraste, realizar el mismo trabajo utilizando un dron equipado con módulo RTK elevó la cifra a diecisiete mil treinta y un dólares con veinticuatro centavos, lo que representa un incremento del cincuenta y tres por ciento en el costo directo. A primera vista, la balanza parece inclinarse hacia la tradición, pero es en este punto donde el factor tiempo entra en juego con una fuerza arrolladora. Mientras que el equipo terrestre necesitó cuatro semanas de arduo trabajo de campo bajo el sol tropical para completar la misión, el dron redujo ese lapso a tan solo dos semanas. Esta optimización del cincuenta por ciento en el tiempo no es solo un dato

estadístico; es la posibilidad de iniciar el diseño de un canal de riego o la nivelación de un lote catorce días antes de lo previsto, acelerando todo el ciclo productivo de la finca.

El escenario se vuelve aún más contrastado cuando analizamos áreas de tamaño intermedio, como la Zona 1 de la Agrícola del Pacífico. En este terreno, que incluye la complejidad añadida de un bosque de árboles de teca que dificulta el acceso, la diferencia económica se ensanchó notablemente. El levantamiento con GPS diferencial tuvo un costo de tres mil setecientos cincuenta y dos dólares con dos centavos, mientras que el uso de drones RTK ascendió a once mil trescientos once dólares con veintitrés centavos, marcando una variación del doscientos dos por ciento. Esta disparidad se explica no solo por el valor del equipo, sino por los insumos invisibles que sostienen la aerofotogrametría moderna. Operar un dron Mavic 3M de forma profesional en Ecuador exige cumplir con las normativas de la Dirección General de Aviación Civil, lo que incluye el registro de la aeronave y la contratación obligatoria de seguros de responsabilidad civil frente a terceros, cuyos montos pueden alcanzar los doce mil dólares según el peso del dispositivo. A esto se suma la necesidad de un hardware informático robusto y licencias de software especializadas como Agisoft Metashape o PIX4D, capaces de procesar miles de imágenes de alta resolución para generar modelos tridimensionales fieles a la realidad.

Sin embargo, a pesar de que el dron RTK resultó ser, en promedio, un sesenta y dos punto tres por ciento más costoso que los métodos tradicionales en términos de inversión directa, su capacidad para domar el tiempo sigue siendo su mayor atractivo. En la Agrícola del Pacífico Zona 1, el ahorro de tiempo fue del sesenta y seis punto seis por ciento, reduciendo tres semanas de caminatas intensas a una sola semana de sobrevuelo y procesamiento. Esta eficiencia es la que permite que, en proyectos de gran envergadura o terrenos sinuosos de difícil acceso, el dron deje de ser un lujo tecnológico para convertirse en una necesidad logística indispensable.

La voz de los profesionales en el campo respalda esta visión de equilibrio. Al consultar a ingenieros civiles y expertos en geomática, los resultados fueron claros: el cincuenta por ciento de los encuestados considera que la reducción de costos es la mejora tecnológica más deseada para el futuro de la topografía. Esto confirma que, aunque valoran la precisión milimétrica del RTK, el factor económico sigue siendo el principal filtro para su adopción masiva. Curiosamente, la precisión absoluta — aquel valor que históricamente obsesionó a los geodestas — fue señalada como el factor más crítico por la mitad de los encuestados, quienes entienden que un error en el plano inicial puede desencadenar fallos catastróficos en la construcción final. Lo fascinante de este duelo es que nuestra investigación demostró que ambas tecnologías habitan el mismo universo de exactitud, con una desviación estándar en las áreas medidas de apenas el cero

punto cero noventa y seis por ciento. Por lo tanto, la elección ya no es sobre quién mide mejor, sino sobre quién mide con mayor agilidad dentro de las restricciones de un presupuesto dado.

La aplicación de la metodología PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar) es la que nos permite, finalmente, actuar sobre estos datos. En la fase de actuar de nuestro estudio, determinamos que la inversión debe ser estratégica y no generalizada. El GPS diferencial permanece como el rey de la eficiencia económica para áreas pequeñas, proyectos con presupuestos muy ajustados o zonas donde la vegetación es tan impenetrable que incluso los sensores aéreos luchan por detectar el suelo firme a través de modelos tridimensionales. Por su parte, el dron equipado con módulo RTK se erige como el aliado indispensable para conquistar grandes extensiones de territorio, ofreciendo una visión panorámica y una velocidad de respuesta que los métodos terrestres simplemente no pueden igualar.

Al final del día, el balance entre estos mundos es lo que permite que el Ecuador moderno se construya sobre cimientos de datos precisos. Optimizar cada dólar invertido en el conocimiento de nuestro suelo significa optimizar el futuro de nuestra infraestructura nacional. En este dilema de inversión, la tecnología no es un fin en sí misma, sino el medio para alcanzar un territorio más ordenado, productivo y seguro para todos los ciudadanos.

Bibliografía

1. Alcaraz, D. P. (2015). Levantamiento mediante GPS. Universidad Politécnica de Cartagena.
2. Blanco Suárez, M. A. (2022). Vuelo en área montañosa con vehículo aéreo no tripulado equipado con GNSS L1: análisis de la precisión fotogramétrica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
3. Cevallos, E. O. (2021). Evaluación de costos, rapidez y precisión en el levantamiento topográfico realizado con dron en la carretera Pillco Marca distrito de Cayran 2019.
4. Claudio Antonio Ramirez Soto. Importancia de los levantamientos topográficos (2022).
5. Darum-sl. (s.f.). Técnicas de levantamiento topográfico: métodos tradicionales vs. tecnología moderna.
6. DGAC (Dirección General de Aviación Civil). (2020). Sistemas de imágenes altamente integrado / Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia.
7. DJI. (2024). Mavic 3M - Specifications.
8. Egvuser. (2024). Aerofotogrametría.
9. El Vuelo del Dron. (s.f.). Drones profesionales - Mavic 3 Multispectral.
10. Eml Yd. (s.f.). RTK Introduction.
11. GeoGest. (2021). Conceptos fundamentales en topografía.
12. GeoPortal. (s.f.). Geodesia- Ecuador.
13. Geoteknik S.A.C. (s.f.). Receptor GPS Diferencial.

14. Gerhard. (2005). PPP-RTK: posicionamiento preciso de puntos mediante representación en espacio de estados en redes RTK. Institute of Navigation.
15. Global Mediterránea Geomática. (2020). Levantamiento topográfico con GPS.
16. Gps. (s.f.). Fundamentos del sistema GPS.
17. Guandique. (2015). Fundamentos básicos de fotogrametría.
18. Iberoptics. (s.f.). Fundamentos básicos de fotogrametría 3D.
19. Ingeoexpert. (2021). Topografía y sus objetivos.
20. Instituto Geográfico Militar. (2020). Resoluciones técnicas.
21. Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). Teoría de la Geodesia.
22. Jiménez Granizo, M. J., & Yamasqui Sarmiento, J. D. (2022). Evaluación y valoración de levantamientos topográficos mediante aerofotogrametría y métodos tradicionales.
23. Latitud-19. (s.f.). Levantamiento geodésico.
24. Ley de Geoinformación del Ecuador. (2005) .
25. McCormac, J. (2003). Topografía. Prentice Hall Internacional.
26. Mettatec. (s.f.). Comparación entre los sistemas de corrección.
27. Pérez, J., & Ana, G. (2019). Definición de Geodesia.
28. Políticas Nacionales de Información Geoespacial (CONAGE). (2010) .
29. Rodenas Chivichón, S. (2023). Análisis comparativo de los métodos fotogramétricos.

30. Silva Velarde, E. O. (2024). Generación de ortofotografía y modelo digital de elevación con puntos de control RTK.
31. Toposervis. (s.f.). Topografía en proyectos de obra civil.
32. UpdateStar. (s.f.). Equipos de Topografía.
33. Utm30. (s.f.). Equipos de Topografía - SinoGNSS.
34. Villner. (2022). Tipos de levantamientos topográficos y su aplicación.
35. Wingtra AG. (s.f.). Aplicaciones cartográficas y SIG.

Capítulo 9: Bajo control: Reglas de Vuelo y el Nuevo rol del Topógrafo Moderno

Cada mañana, cuando el sol comienza a calentar las tierras bajas de la costa ecuatoriana, el paisaje se despierta con una actividad que, aunque silenciosa, es el motor invisible del desarrollo territorial. No vemos los límites de las propiedades grabados en el suelo, ni las curvas de nivel que dictan por dónde fluirá el agua en un sistema de riego, pero esas líneas invisibles son el resultado de una ciencia milenaria que hoy atraviesa su transformación más profunda. La topografía, definida como la ciencia y técnica dedicada a la medición, representación y análisis de la superficie terrestre, ha dejado de ser una labor puramente física para convertirse en una disciplina de alta tecnología y gestión de datos. Sin embargo, este salto al futuro no es un camino libre de obstáculos; requiere un control riguroso, un marco legal sólido y, sobre todo, una reinención del profesional que lleva la responsabilidad de medir el mundo que pisamos.

Para comprender la importancia de este nuevo rol, debemos reconocer que la topografía es la columna vertebral sobre la cual se asienta nuestra civilización moderna. Antes de que se coloque la primera piedra de un edificio, se trace una carretera o se planifique la

distribución de una red eléctrica, un topógrafo debe haber traducido la realidad caprichosa e irregular del terreno a un lenguaje que arquitectos e ingenieros puedan entender. Esta labor de "traducción" es vital: un error de centímetros en la delimitación de un área o en el cálculo de una elevación puede derivar en conflictos legales, sobre costos económicos o, en el peor de los casos, fallos estructurales que pongan en riesgo vidas humanas.

La historia de la medición es, en esencia, la historia de nuestra ambición por ordenar el caos de la naturaleza. Aunque sus orígenes son remotos, los registros nos sitúan en el Antiguo Egipto, donde las crecidas anuales del río Nilo borraban sistemáticamente los linderos de las parcelas agrícolas. Allí nacieron los primeros agrimensores, quienes con cuerdas estiradas devolvían la propiedad y la paz a los agricultores. Con el tiempo, esta necesidad práctica fue enriquecida por el pensamiento griego; personajes como Anaximandro y Mileto comenzaron a plasmar el territorio en cartas geográficas, sentando las bases de una disciplina que Aristóteles bautizaría como Geodesia. Fue en esta época cuando Eratóstenes, con una intuición científica asombrosa, calculó el radio terrestre, e Hiparco dividió la circunferencia en trescientos sesenta grados, convirtiéndose en el "padre" de la ciencia que estudia la forma y dimensiones de nuestro planeta.

Hoy sabemos, gracias a esa evolución milenaria, que la Tierra no es una esfera lisa ni perfecta. La ciencia

moderna la describe como un geoide: un cuerpo irregular, levemente achatado en los polos y ensanchado en el ecuador por los efectos de la gravedad y la fuerza centrífuga de su rotación. Esta irregularidad es el primer gran desafío del topógrafo moderno. Para que los datos recolectados por un satélite en el espacio sean útiles para un constructor en Guayaquil o un agricultor en Los Ríos, el profesional debe aplicar fórmulas matemáticas complejas para determinar la relación entre la altura geométrica y la altura ortométrica real. Esta capacidad de convertir datos abstractos en información física precisa es lo que separa a un simple operador de equipos de un verdadero experto en territorio.

Durante décadas, el equipo del topógrafo consistió en herramientas mecánicas y ópticas: cintas métricas, brújulas taquimétricas y teodolitos que exigían una presencia física exhaustiva en cada metro cuadrado de la superficie. La llegada de las estaciones totales electrónicas supuso un avance significativo al integrar láseres para automatizar cálculos de distancias y ángulos, reduciendo el error humano y aportando agilidad al trabajo de campo. Sin embargo, el verdadero cambio de paradigma ocurrió con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Al utilizar una constelación de satélites en órbita, el topógrafo pudo, por primera vez, obtener coordenadas exactas sin depender exclusivamente de la visibilidad directa entre puntos en el suelo.

Pero el GPS convencional tiene una limitación invisible: la atmósfera. Las señales satelitales se distorsionan al atravesar la ionosfera, introduciendo márgenes de error que pueden variar entre varios metros. En la ingeniería civil de alta precisión, este error es inaceptable. Es aquí donde el GPS diferencial y, más recientemente, la tecnología RTK (Cinemática en Tiempo Real) han conquistado el territorio. Al utilizar estaciones de referencia terrestres para corregir las señales satelitales en el acto, el topógrafo moderno ha alcanzado una frontera de exactitud centimétrica que antes era impensable.

En este contexto de sofisticación tecnológica, la llegada del dron equipado con módulo RTK representa la conquista definitiva del cielo por parte de la topografía. Estos dispositivos, como el Mavic 3M, ya no son juguetes recreativos; son estaciones de medición aéreas capaces de capturar miles de imágenes georreferenciadas en una fracción del tiempo que tomaría un levantamiento tradicional. Sin embargo, esta potencia aérea conlleva una inmensa responsabilidad. Volar una aeronave sobre una plantación bananera en la provincia del Guayas o sobre una zona urbana en expansión no es una actividad que pueda realizarse de manera antojadiza. El cielo es un espacio compartido y altamente sensible, donde la seguridad es la máxima prioridad.

Es en este punto donde las reglas de vuelo se vuelven tan cruciales como la precisión de los sensores. En Ecuador, la Dirección General de Aviación Civil (DGAC) ha

establecido un marco normativo riguroso que regula la operación de estas Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs). Para el topógrafo moderno, conocer la ley es ahora tan obligatorio como saber usar un teodolito. El profesional debe entender que cualquier aeronave con un peso mayor a cero punto veinticinco kilogramos debe estar registrada y sujeta a estrictas condiciones de operación.

Esta normativa no busca frenar la innovación, sino garantizar que la captura de datos aéreos se realice con "control". Las reglas son claras: no se puede volar cerca de aeropuertos, helipuertos o zonas de seguridad del Estado, manteniendo siempre una distancia mínima de seguridad. La altura máxima de vuelo está limitada a cuatrocientos pies —unos ciento veintidós metros— sobre el terreno, y las misiones deben realizarse siempre entre el amanecer y el atardecer, bajo condiciones climáticas que aseguren la visibilidad total de la aeronave. El topógrafo del siglo XXI debe ser también un estratega de la meteorología, capaz de identificar cuándo el viento, la lluvia o la nubosidad comprometen no solo la calidad de los datos, sino la seguridad misma de la operación.

Este nuevo rol profesional exige una formación continua. Ya no basta con dominar la planimetría y la altimetría básica; el profesional de hoy debe ser un experto en geomática, un gestor de información geoespacial capaz de operar equipos complejos y, lo más importante, procesar la masiva cantidad de datos que generan estas tecnologías. Estamos ante la figura de un profesional que combina la

resistencia física del explorador de campo con la agudeza analítica del científico de datos. En la siguiente parte de este capítulo, profundizaremos en los requisitos específicos para obtener esta idoneidad profesional y en el complejo mundo de las responsabilidades legales que hoy definen el prestigio y la seguridad de la topografía moderna en nuestro país.

La metamorfosis del topógrafo no es solo una cuestión de cambiar el teodolito por un control remoto; se trata de una evolución hacia la figura del gestor de información geoespacial, un profesional que debe garantizar la precisión en un entorno donde las herramientas son ahora dinámicas y el espacio de trabajo se ha elevado al cielo. Este nuevo escenario exige que el profesional sea el primer guardián de un marco legal complejo y necesario. En el Ecuador, la realización de levantamientos topográficos utilizando tecnologías de vanguardia como el GPS diferencial y los drones equipados con módulos RTK está estrictamente regulada por un conjunto de leyes, reglamentos y normativas que aseguran la calidad, la seguridad y la validez jurídica de la información recolectada. El profesional moderno debe navegar entre la Ley de Geoinformación, que establece las normas para la generación y uso de datos geográficos, y los reglamentos específicos que dictan cómo se debe gestionar la información geoespacial en el territorio nacional.

En el centro de esta estructura de control se encuentra la Dirección General de Aviación Civil (DGAC), la entidad

que en abril de 2020 emitió el reglamento fundamental para la operación de aeronaves pilotadas a distancia, comúnmente conocidas como RPAs o drones. Para el topógrafo que decide utilizar un dron Mavic 3M para mapear una plantación bananera o una zona urbana, la normativa no es una sugerencia, sino una obligación ineludible. La ley ecuatoriana establece que todo propietario de un dron cuyo peso máximo de despegue sea superior a los cero punto veinticinco kilogramos debe registrar su aeronave ante la autoridad aeronáutica. Este registro es el primer paso para integrar la tecnología aérea en la práctica profesional de forma legal y responsable.

Sin embargo, el control va mucho más allá del simple registro. Uno de los pilares del nuevo rol del topógrafo es la gestión del riesgo. La normativa de la DGAC obliga a los profesionales a contar con una cobertura de seguro de responsabilidad civil para responder por posibles daños causados a terceros durante la jornada de trabajos aéreos. Este compromiso ético y económico se escala según el peso del equipo: para aeronaves de hasta veinticinco kilogramos, la cobertura mínima es de tres mil dólares; para aquellas de entre veinticinco y cincuenta kilogramos, asciende a seis mil dólares; y para equipos más pesados, de hasta ciento cincuenta kilogramos, el monto alcanza los doce mil dólares. Esta exigencia subraya que el topógrafo moderno no es un aficionado, sino un operador técnico que asume la responsabilidad total de sus actos en el espacio aéreo.

Para ser considerado idóneo en este campo, el profesional debe cumplir con requisitos de capacidad y formación que garantizan su pericia. No basta con saber pilotar; se debe tener al menos dieciocho años de edad, haber culminado la enseñanza media y, lo más importante, demostrar haber aprobado satisfactoriamente un curso teórico-práctico para operador de RPA dentro de los últimos veinticuatro meses. Además, la capacidad de entender y hablar fluidamente el idioma español es un requisito básico para la comunicación con las autoridades y la interpretación de los manuales técnicos. Estas exigencias aseguran que quien esté al mando de una estación de medición aérea posea la madurez y los conocimientos necesarios para no poner en peligro la seguridad pública ni la integridad de la aviación tripulada.

El respeto por las zonas de exclusión es otra faceta crítica de este "control" profesional. El topógrafo debe ser consciente de que el espacio aéreo no es libre de forma absoluta. La ley prohíbe terminantemente el uso de drones cerca de aeropuertos, helipuertos, zonas de seguridad del Estado o áreas intangibles. La distancia mínima para considerar un espacio como aéreo controlado es de nueve kilómetros respecto a estas instalaciones. Además, para evitar interferencias con otras aeronaves, la altura máxima permitida es de cuatrocientos pies —ciento veintidós metros— sobre el terreno. El profesional del siglo XXI debe planificar sus misiones considerando no solo la topografía del suelo, sino la arquitectura invisible de las restricciones aéreas.

En este complejo engranaje, el Instituto Geográfico Militar (IGM) actúa como el organismo rector que da validez técnica a todo el trabajo realizado en el suelo ecuatoriano. El IGM es el encargado de mantener el Marco de Referencia Geodésico Nacional actualizado, proporcionando las especificaciones técnicas y las resoluciones que rigen la ejecución de cualquier levantamiento topográfico. Para que la investigación de un topógrafo sea aceptada por la comunidad académica y profesional, es crucial que sus métodos y resultados sean compatibles con los estándares del IGM, asegurando que cada punto medido sea coherente con la cartografía oficial del país. Esta vinculación con las instituciones nacionales eleva la labor del topógrafo de una tarea técnica aislada a una contribución real al ordenamiento territorial del Estado.

Para gestionar toda esta complejidad, el nuevo rol del topógrafo adopta filosofías de gestión de calidad, como el ciclo de mejora continua PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar). En la fase de planificación, el profesional ya no solo mira el mapa, sino que analiza regulaciones, clima y logística de personal. En la fase de verificación, utiliza software sofisticado para contrastar los datos obtenidos con el dron RTK frente a los métodos terrestres, garantizando una transparencia total en el proceso. Este enfoque estructurado es el que permite que la precisión del cero punto cero noventa y seis por ciento, hallada en nuestras investigaciones, sea una realidad reproducible y no un evento fortuito.

Finalmente, la creación de infraestructuras propias, como la placa permanente instalada en el campus de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte (ULVR), simboliza el compromiso de este nuevo profesional con las futuras generaciones. Esta red geodésica propia no es solo un punto de concreto; es una base sólida y confiable para que los estudiantes practiquen la topografía de alta precisión bajo los mismos estándares de rigor que exige la industria moderna. El topógrafo moderno, en conclusión, es un profesional polifacético: un experto en tecnología, un guardián de la ley, un estratega de procesos y un educador que entiende que el control y la precisión son las dos alas que permiten que el desarrollo del Ecuador vuele alto y seguro.

Bibliografía

1. Alcaraz, D. P. (2015). Levantamiento mediante GPS. Universidad Politécnica de Cartagena.
2. Blanco Suárez, M. A. (2022). Vuelo en área montañosa con vehículo aéreo no tripulado equipado con GNSS L1: análisis de la precisión fotogramétrica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
3. Cevallos, E. O. (2021). Evaluación de costos, rapidez y precisión en el levantamiento topográfico realizado con dron en la carretera Pillco Marca distrito de Cayran 2019.
4. Claudio Antonio Ramirez Soto. Importancia de los levantamientos topográficos (2022).

5. Darum-sl. (s.f.). Técnicas de levantamiento topográfico: métodos tradicionales vs. tecnología moderna.
6. DGAC (Dirección General de Aviación Civil). (2020). Sistemas de imágenes altamente integrado / Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia.
7. DJI. (2024). Mavic 3M - Specifications.
8. Egvuser. (2024). Aerofotogrametría.
9. El Vuelo del Dron. (s.f.). Drones profesionales - Mavic 3 Multispectral.
10. Eml Yd. (s.f.). RTK Introduction.
11. GeoGest. (2021). Conceptos fundamentales en topografía.
12. GeoPortal. (s.f.). Geodesia- Ecuador.
13. Geoteknik S.A.C. (s.f.). Receptor GPS Diferencial.
14. Gerhard. (2005). PPP-RTK: posicionamiento preciso de puntos mediante representación en espacio de estados en redes RTK. Institute of Navigation.
15. Global Mediterránea Geomática. (2020). Levantamiento topográfico con GPS.
16. Gps. (s.f.). Fundamentos del sistema GPS.
17. Guandique. (2015). Fundamentos básicos de fotogrametría.
18. Iberoptics. (s.f.). Fundamentos básicos de fotogrametría 3D.
19. Ingeoexpert. (2021). Topografía y sus objetivos.
20. Instituto Geográfico Militar. (2020). Resoluciones técnicas.
21. Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). Teoría de la Geodesia.

22. Jiménez Granizo, M. J., & Yamasqui Sarmiento, J. D. (2022). Evaluación y valoración de levantamientos topográficos mediante aerofotogrametría y métodos tradicionales.
23. Latitud-19. (s.f.). Levantamiento geodésico.
24. Ley de Geoinformación del Ecuador. (2005).
25. McCormac, J. (2003). Topografía. Prentice Hall Internacional.
26. Mettatec. (s.f.). Comparación entre los sistemas de corrección.
27. Pérez, J., & Ana, G. (2019). Definición de Geodesia.
28. Políticas Nacionales de Información Geoespacial (CONAGE). (2010).
29. Rodenas Chivichón, S. (2023). Análisis comparativo de los métodos fotogramétricos.
30. Silva Velarde, E. O. (2024). Generación de ortofotografía y modelo digital de elevación con puntos de control RTK.
31. Toposervis. (s.f.). Topografía en proyectos de obra civil.
32. UpdateStar. (s.f.). Equipos de Topografía.
33. Utm30. (s.f.). Equipos de Topografía - SinoGNSS.
34. Villner. (2022). Tipos de levantamientos topográficos y su aplicación.
35. Wingtra AG. (s.f.). Aplicaciones cartográficas y SIG.

Capítulo 10: De la Teoría a la Obra: Aplicaciones reales que Transforman la Ingeniería

Cada vez que cruzamos un puente que se eleva majestuoso sobre un río, caminamos por una calle perfectamente nivelada o dependemos de un sistema de riego que nutre cientos de hectáreas de banano, estamos interactuando con el resultado final de un proceso científico que comenzó mucho antes de que se vertiera el primer gramo de hormigón. La topografía, esa ciencia y técnica dedicada a la medición, representación y análisis de la superficie terrestre, es la base invisible sobre la cual se construye la civilización moderna. A menudo, el ciudadano común percibe el terreno como algo estático y simple, pero para el ingeniero civil, el arquitecto o el planificador agrícola, cada metro de suelo es una compleja red de elevaciones, pendientes y características físicas que deben ser descritas con precisión matemática antes de cualquier intervención humana.

En este capítulo, nos sumergiremos en el viaje que realizan los datos desde los sensores de un dron o la antena de un GPS diferencial hasta convertirse en obras de infraestructura que transforman la vida de las comunidades. Entenderemos que la topografía no es solo una tarea de medición; es una disciplina fundamental para la planificación y ejecución de proyectos de construcción que garantizan la funcionalidad y la sostenibilidad de

nuestro entorno. Al establecer líneas y niveles precisos, los topógrafos crean la base indispensable para el diseño de estructuras como edificios, carreteras, presas y redes de servicios básicos que mejoran nuestra calidad de vida.

Para apreciar el impacto de estas aplicaciones reales, debemos primero reconocer la evolución del ingenio humano en su afán por dominar el territorio. Esta ambición no es nueva. Sus raíces se hunden en el Antiguo Egipto, donde la necesidad de restablecer los linderos de las parcelas agrícolas tras las inundaciones anuales del río Nilo dio origen a los primeros trabajos de agrimensura. Con el tiempo, esta técnica práctica se enriqueció con el rigor científico de la antigua Grecia, donde pensadores como Anaximandro y Mileto comenzaron a plasmar el mundo en cartas geográficas. Fue en esta cultura donde nació la Geodesia, la ciencia madre que estudia la forma y dimensiones de la Tierra, gracias a figuras como Eratóstenes, quien calculó el radio terrestre, e Hiparco, quien dividió la circunferencia en trescientos sesenta grados.

Esta herencia histórica nos ha enseñado que la Tierra no es una esfera lisa, sino un "geoide": un cuerpo casi esférico pero irregular, achatado en los polos y ensanchado en el ecuador por los efectos de la gravedad y la rotación. Esta irregularidad es el primer gran desafío que la ingeniería moderna debe vencer. Para que un mapa sea útil, la tecnología debe ser capaz de traducir las alturas geométricas captadas por los satélites en alturas

ortométricas reales, una conversión que permite que el agua fluya correctamente por un canal de riego o que una carretera mantenga una pendiente segura.

En las fértiles tierras de las provincias de Guayas y Los Ríos, en el corazón del Ecuador, esta ciencia se enfrenta a escenarios particularmente exigentes. Las plantaciones bananeras, con su vegetación densa y terrenos planos pero inmensamente extensos, demandan una precisión que solo las tecnologías de vanguardia pueden ofrecer. Aquí, la topografía deja de ser un ejercicio académico para convertirse en una herramienta de supervivencia económica. Un error en la delimitación de un área o en el cálculo de un relieve puede significar el fracaso de una red de drenaje en fincas como Isabel María o Agrícola del Pacífico, donde el clima tropical y la pluviosidad significativa transforman el suelo constantemente.

Tradicionalmente, este conocimiento se obtenía mediante métodos terrestres que exigían un despliegue humano considerable. El topógrafo clásico recorría el lodo y la maleza cargando cintas métricas, brújulas o teodolitos, instrumentos óptico-mecánicos que sentaron las bases de la precisión. Más tarde, la llegada de las estaciones totales electrónicas supuso un avance notable al integrar láseres que calculan automáticamente distancias y ángulos, reduciendo el margen de error humano. Sin embargo, la verdadera revolución tecnológica que ha permitido la tecnificación de la ingeniería ha sido la transición hacia el

Sistema de Posicionamiento Global (GPS) diferencial y los drones equipados con módulos RTK.

El GPS diferencial ha permitido a los ingenieros obtener coordenadas exactas de puntos críticos del terreno minimizando los errores atmosféricos que afectan a los receptores convencionales. En proyectos de infraestructura rural o estudios agrícolas, esta tecnología proporciona la certeza necesaria para delimitar linderos y planificar obras de gran envergadura como presas o carreteras con una precisión de nivel centimétrico. Pero es la aerofotogrametría mediante drones la que está redefiniendo los límites de lo posible.

Al capturar imágenes de alta resolución desde el cielo, los drones permiten generar modelos digitales del terreno (MDT) y ortofotos corregidas geométricamente que ofrecen detalles cruciales sobre la topografía de una región entera. Esta capacidad de visión aérea no solo agiliza el proceso de levantamiento, sino que proporciona una perspectiva integral que antes era imposible de obtener. En la ingeniería civil, esto se traduce en la capacidad de evaluar las condiciones de un sitio, planificar diseños arquitectónicos complejos y monitorear el progreso de las obras en tiempo real, reduciendo riesgos y costos asociados a errores de planificación.

En la siguiente parte de este capítulo, exploraremos cómo estos datos procesados en potentes softwares se convierten en los planos detallados que guían a las máquinas de

construcción. Analizaremos por qué la elección entre el GPS diferencial y el dron RTK no es solo una cuestión de preferencia técnica, sino una decisión estratégica que impacta directamente en el éxito de los proyectos que transforman nuestro territorio. Veremos que, ya sea desde el suelo o desde las nubes, el objetivo final es el mismo: dotar a la ingeniería de una base sólida de información para construir el futuro del Ecuador.

Para que un mapa digital se convierta en una estructura física, debe atravesar un proceso de validación que garantice que lo que vemos en la pantalla de una computadora coincide exactamente con la realidad del terreno. En el mundo de la ingeniería civil, esto se logra mediante la creación de planos arquitectónicos y diagramas detallados que sirven como una representación gráfica precisa del sitio antes de iniciar cualquier obra. Esta labor de procesamiento de datos es donde la magia de la topografía moderna realmente brilla. Mediante cálculos matemáticos complejos y el uso de software especializado, los profesionales transforman nubes de puntos y fotografías aéreas en medidas cuantitativas de gran relevancia, como la determinación de áreas y volúmenes de tierra que deben moverse para nivelar un lote o trazar una nueva vía.

En el sector bananero del Ecuador, específicamente en terrenos como la Finca Isabel María, esta capacidad de procesamiento ha transformado la gestión agrícola. La agricultura de precisión depende de datos geoespaciales

precisos para monitorear y gestionar los cultivos de manera eficiente. Al utilizar drones equipados con sensores de alta resolución, los productores pueden identificar patrones de crecimiento, detectar áreas afectadas por plagas o enfermedades y, lo más importante, diseñar sistemas de riego y fertilización que se adapten a la topografía específica de cada lote. Esta intervención precisa no solo optimiza la producción y reduce los costos operativos, sino que contribuye significativamente a la sostenibilidad al minimizar el desperdicio de agua y químicos.

La investigación realizada en Guayas y Los Ríos demostró que el uso de drones con tecnología RTK permite capturar la ubicación exacta del centro de miles de imágenes con una precisión de hasta un centímetro. Cuando estos datos se procesan en herramientas como Agisoft Metashape, se genera un ortomosaico georreferenciado donde cada píxel tiene una identidad geográfica exacta. Esto permite a los ingenieros medir distancias, superficies y volúmenes con una confianza absoluta, facilitando la toma de decisiones informadas en proyectos de infraestructura hidráulica o en el diseño de represas y valles para el manejo de recursos hídricos.

Por otro lado, el GPS diferencial sigue siendo una herramienta insustituible en aplicaciones donde la visibilidad aérea es limitada o la precisión debe verificarse punto por punto en el suelo. En la Zona 1 de la Agrícola del Pacífico, por ejemplo, la presencia de un bosque de

teca representa un desafío para los sensores aéreos. Aquí, el método de nivelación directa y la toma de puntos estáticos rápidos proporcionan las cotas y coordenadas cruciales para asegurar que todas las partes de un proyecto se alineen correctamente y se mantengan dentro de los parámetros de seguridad establecidos. Esta metodología garantiza que los levantamientos catastrales definan con exactitud las fronteras de las propiedades, evitando conflictos legales y asegurando una administración justa de la tierra.

La aplicación real de estas tecnologías en la ingeniería civil también se extiende al monitoreo de la salud de las infraestructuras existentes. La aerofotogrametría permite a los ingenieros evaluar el desgaste de carreteras y puentes, identificar deslizamientos en pendientes pronunciadas y planificar labores de mantenimiento preventivo. Esta capacidad de obtener datos actualizados y detallados reduce drásticamente los riesgos de construcción y permite una gestión más eficiente de los recursos públicos y privados. Es una transición de una ingeniería reactiva a una proactiva, basada en el conocimiento profundo de la realidad física del territorio.

Para garantizar que todos estos procesos alcancen los más altos estándares de calidad, la investigación se apoyó en la metodología PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar). Este enfoque de mejora continua asegura que cada levantamiento topográfico sea transparente, justificado y reproducible. En la fase de verificación, se analizan los resultados obtenidos comparando la eficiencia y precisión

de ambos métodos, lo que permite ajustar las metodologías para futuros proyectos. Esta estructura organizativa es la que permite concluir con certeza que, aunque el dron RTK optimiza el tiempo de levantamiento entre un cincuenta y un sesenta y seis por ciento, el GPS diferencial sigue siendo la opción más económica para áreas pequeñas y accesibles.

Finalmente, el impacto de estas tecnologías no se limita al ámbito profesional; llega también al corazón de la academia. La creación de una red geodésica propia en el campus de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, con placas georreferenciadas de hormigón instaladas permanentemente, proporciona a las futuras generaciones de ingenieros una base sólida para sus prácticas de campo. Este Intervalo de tiempo establecido de treinta y cinco minutos para la toma de datos en cada punto asegura que los estudiantes aprendan a minimizar los errores potenciales y a valorar la precisión como el activo más valioso de su profesión.

En conclusión, el paso de la teoría a la obra es un testimonio de la capacidad humana para traducir el lenguaje de la naturaleza a estructuras de progreso. Ya sea a través de las cuerdas de los antiguos egipcios o de las señales sincronizadas en microsegundos de un dron moderno, la topografía sigue siendo el primer paso indispensable para cualquier sueño de construcción. Al finalizar este recorrido, el lector puede apreciar que cada obra que nos rodea es, en realidad, un monumento a la

precisión y una prueba de que, cuando medimos bien el presente, construimos un futuro mucho más seguro y próspero para todos.

Bibliografía

1. Alcaraz, D. P. (2015). Levantamiento mediante GPS. Universidad Politécnica de Cartagena.
2. Blanco Suárez, M. A. (2022). Vuelo en área montañosa con vehículo aéreo no tripulado equipado con GNSS L1: análisis de la precisión fotogramétrica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
3. Cevallos. (2021). Evaluación de costos, rapidez y precisión en el levantamiento topográfico realizado con dron en la carreta Pillco Marca distrito de Cayran 2019.
4. Claudio Antonio Ramirez Soto. Importancia de los levantamientos topográficos. (2022) .
5. Darum-sl. (s.f.). Técnicas de levantamiento topográfico: métodos tradicionales vs. tecnología moderna.
6. DGAC. (2020). Sistemas de imágenes altamente integrado.
7. DJI. (2024). Mavic 3M - Specifications.
8. DJI Enterprise. (s.f.). DJI Enterprise.
9. DJI Mavic 3M. (s.f.). Sistemas de imágenes altamente integrado.
10. Egvuser. (2024). Aerofotogrametría.
11. El Vuelo del Dron. (s.f.). El Vuelo del Dron.
12. EMLYD. (s.f.). RTK Introduction.

13. GeoGest. (2021). Conceptos fundamentales en topografía.
14. GeoPortal IGM. (s.f.). Geodesia- Ecuador.

15. Geoteknik S.A.C. (s.f.). Receptor GPS Diferencial.
16. Gerhard (2005). PPP-RTK: posicionamiento preciso de puntos mediante representación en espacio de estados en redes RTK.
17. Global Mediterránea Geomática. (2020). Levantamiento topográfico con GPS.
18. GPS (s.f.). Fundamentos del sistema GPS.
19. Guandique (2015). Fundamentos básicos de fotogrametría.
20. Iberoptics. (s.f.). Fundamentos básicos de fotogrametría.
21. Ingeoexpert. (2021). Topografía.
22. Instituto Geográfico Militar. (2020). Registro Oficial.
23. Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). Teoría de la Geodesia.
24. Jiménez Granizo, M. J., & Yamasqui Sarmiento, J. D. (2022). Evaluación y valoración de levantamientos topográficos mediante aerofotogrametría y métodos tradicionales.
25. Latitud-19. (s.f.). Levantamiento geodésico.
26. Ley de Geoinformación del Ecuador. (2005) .
27. McCormac, J. (2003). Topografía.
28. Mettatec. (s.f.). Comparación entre los sistemas de corrección.

29. Normativa de la Dirección General de Aviación Civil. (2022) .
30. Pérez, J., & Ana, G. (2019). Definición de Geodesia.
31. Políticas Nacionales de Información Geoespacial (CONAGE). (2010) .
32. Rodenas Chivichón, S. (2023). Análisis comparativo de los métodos fotogramétricos.
33. Silva Velarde, E. O. (2024). Generación de ortofotografía y modelo digital de elevación (MDE) de alta resolución con puntos de control RTK.
34. Toposervis. (s.f.). Topografía en proyectos de obra civil.
35. UpdateStar. (s.f.). Equipos de Topografía.
36. Utm30. (s.f.). Equipos de Topografía.
37. Villner. (2022). Tipos de levantamientos topográficos.
38. Wingtra AG. (s.f.). Aplicaciones cartográficas.
39. Zevallos, E. O. (2021). Evaluación de costos, rapidez y precisión en el levantamiento topográfico realizado con dron.

Capítulo 11: Hacia un Nuevo Horizonte: El Futuro de la Topografía y el Mapeo Inteligente

Llegar al final de este recorrido por la ciencia de la medición nos obliga a levantar la vista del suelo, ese lienzo irregular que hemos intentado descifrar punto a punto, para mirar hacia el horizonte de lo que está por venir. La topografía, definida formalmente como la ciencia y técnica dedicada a medir, representar y analizar la superficie terrestre, ha dejado de ser una disciplina estática para convertirse en el motor invisible de nuestra civilización. A menudo olvidamos que cada aspecto de nuestra vida cotidiana —desde la seguridad del edificio donde dormimos hasta la eficiencia de la carretera por la que viajamos o la abundancia de los alimentos que llegan a nuestra mesa desde las plantaciones bananeras de Guayas y Los Ríos— depende de la exactitud con la que un topógrafo ha leído el mundo. Pero estamos en un punto de inflexión. Lo que antes era una labor de sacrificio físico extremo y cálculos manuales interminables, hoy es una danza coordinada de señales satelitales y alas digitales que procesan información a la velocidad de la luz.

Para entender hacia dónde nos dirigimos, es imperativo honrar el pasado. El arte de medir la tierra es, en esencia, la historia de nuestra ambición por imponer orden en el caos de la naturaleza. Los registros nos dicen que esta

búsqueda nació en el Antiguo Egipto, donde los "estiradores de cuerdas" restablecían los linderos de las parcelas tras las crecidas del Nilo, asegurando que la propiedad y la agricultura pudieran subsistir en un entorno cambiante. Más tarde, la curiosidad intelectual de la Grecia antigua transformó esta necesidad práctica en una disciplina científica vinculada a la matemática y la astronomía. Fue allí donde figuras como Eratóstenes, con un ingenio que aún asombra a la ciencia moderna, desarrolló un método para calcular el radio terrestre, mientras que Hiparco, el "padre de la Geodesia", dividió la circunferencia del planeta en trescientos sesenta grados, dándonos la primera cuadrícula para entender nuestro hogar global.

Esta evolución milenaria nos ha enseñado que la Tierra no es una esfera lisa ni perfecta. La ciencia moderna la define como un geoide: un cuerpo casi esférico pero con irregularidades sutiles, achatado en los polos y ensanchado en el ecuador debido a la gravedad y la fuerza de su propia rotación. Esta comprensión es la que permite que hoy, mediante fórmulas matemáticas complejas como $H = h - N$, podamos traducir la altura que un satélite ve desde el espacio en una medida útil para un ingeniero civil que debe asegurar que el agua fluya correctamente por un canal de riego en el litoral ecuatoriano. Esta capacidad de traducción es el puente entre la teoría astronómica y la obra física, y es precisamente lo que define el prestigio de la topografía moderna.

Durante gran parte del siglo XX, el estándar de la industria fue el contacto directo. El topógrafo caminaba el lodo, la maleza y el relieve accidentado cargando instrumentos óptico-mecánicos como teodolitos y brújulas taquimétricas. La llegada de las estaciones totales supuso un primer gran salto hacia la automatización al integrar láseres y electrónica para reducir el error humano, pero seguíamos dependiendo de "ver" físicamente un punto desde otro. La verdadera liberación llegó con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y, más tarde, con el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), que permitieron obtener coordenadas exactas eliminando las barreras de la visibilidad directa en el suelo.

Sin embargo, como hemos visto a lo largo de este libro, el GPS convencional tenía un enemigo invisible: la atmósfera terrestre. Las señales satelitales se distorsionan al viajar por la ionosfera, introduciendo errores de varios metros que son inaceptables para el diseño de infraestructuras críticas. Es aquí donde el GPS diferencial y la tecnología RTK (Cinemática en Tiempo Real) marcaron el presente de nuestra disciplina. Al utilizar estaciones de referencia terrestres para corregir las señales espaciales en milisegundos, hemos alcanzado una frontera de precisión centimétrica que ha permitido la tecnificación de la ingeniería.

Nuestra investigación en las provincias de Guayas y Los Ríos puso a prueba este presente tecnológico en uno de los escenarios más exigentes del mundo: las plantaciones

bananeras. En sitios como la Finca Isabel María y Agrícola del Pacífico, nos enfrentamos a la densidad vegetal, la humedad extrema y la vasta extensión del territorio. El duelo entre la solidez del GPS diferencial y la agilidad de los drones con módulo RTK reveló que hemos alcanzado una paridad técnica asombrosa, con una desviación estándar en la precisión de las áreas medidas de apenas el 0.096%. Pero también nos mostró que la eficiencia es el nuevo nombre del juego: mientras el método tradicional demandaba semanas de esfuerzo humano, los ojos aéreos de drones como el Mavic 3M lograron comprimir esos tiempos entre un cincuenta y un sesenta y seis por ciento.

Este es el umbral donde nos encontramos hoy. Pero, ¿qué sigue? El futuro de la topografía no se limita a volar drones más rápidos o receptores más precisos; se trata de la llegada del "mapeo inteligente". Estamos transitando de la captura de puntos aislados a la gestión masiva de información geoespacial. El topógrafo del mañana no será solo un medidor de linderos, sino un gestor de "gemelos digitales" del territorio. La aerofotogrametría ya nos permite generar ortofotos y modelos digitales del terreno (MDT) de una resolución tal que podemos ver cada detalle de una cuenca hidrográfica o de una zona urbana en expansión. Sin embargo, la integración de sensores multispectrales y escáneres láser (LiDAR) en plataformas aéreas autónomas promete permitirnos "ver" a través de la vegetación más densa, eliminando uno de los últimos grandes obstáculos de nuestra ciencia.

Esta nueva era exige un marco legal y ético igual de avanzado. En Ecuador, normativas de la Dirección General de Aviación Civil (DGAC) y las resoluciones del Instituto Geográfico Militar (IGM) ya están trazando las reglas para que este cielo tecnológico sea seguro y productivo. El nuevo rol del profesional en este "nuevo horizonte" es ser un guardián de la precisión y un estratega de los datos, capaz de navegar entre las leyes de la física y los reglamentos del espacio aéreo.

En la segunda parte de este capítulo final, profundizaremos en cómo estas tecnologías emergentes, sumadas a la inteligencia artificial y al procesamiento en la nube, están creando un ecosistema de mapeo que no solo describe el mundo, sino que ayuda a predecirlo. Analizaremos por qué la capacitación continua y la inversión en conocimiento son las únicas herramientas que permitirán que el Ecuador no solo mida su tierra, sino que la gobierne con inteligencia y sostenibilidad.

El camino hacia este nuevo horizonte no se construye únicamente con hardware de vanguardia o señales satelitales; se cimenta en la capacidad de procesar e interpretar la inmensa cantidad de información que estas herramientas generan. La topografía moderna ha dejado de ser una disciplina de captura de datos aislados para convertirse en el epicentro de la gestión inteligente del territorio. En este escenario, el procesamiento de datos fotogramétricos mediante software especializado como Agisoft Metashape o RTKlib no es solo un paso técnico,

sino un proceso de "alquimia digital" que transforma miles de imágenes georreferenciadas en modelos tridimensionales vivos. Estos modelos permiten a los ingenieros y planificadores simular escenarios, predecir el comportamiento de escorrentías de agua en plantaciones bananeras o evaluar el impacto de nuevas infraestructuras antes de que se mueva la primera palada de tierra.

La investigación realizada en las provincias de Guayas y Los Ríos ha dejado una lección clara: la innovación debe ser estratégica. Al comparar metodologías, descubrimos que mientras el dron con módulo RTK es el aliado indiscutible para conquistar áreas extensas y terrenos complejos —reduciendo el tiempo de ejecución hasta en un sesenta y seis por ciento—, el GPS diferencial permanece como el pilar de la eficiencia económica para proyectos de menor escala o en zonas donde la vegetación exige una verificación física punto por punto. Este equilibrio es el que define el "mapeo inteligente": saber elegir la herramienta adecuada no solo por su sofisticación, sino por su capacidad para optimizar los recursos humanos y económicos del país.

Hacia el futuro, el desafío para el Ecuador radica en la actualización constante y la capacitación del talento humano. Las recomendaciones de este estudio subrayan que no basta con adquirir drones o receptores de última generación; es imperativo fomentar una cultura de investigación que permita estar al tanto de innovaciones como el uso de sensores multiespectrales para el

monitoreo de la salud de los cultivos o la integración de sistemas de inteligencia artificial en la clasificación de nubes de puntos. La formación continua asegura que los profesionales no solo operen máquinas, sino que garanticen la precisión y la validez jurídica de cada medición, cumpliendo siempre con los estándares del Instituto Geográfico Militar (IGM) y la Dirección General de Aviación Civil (DGAC).

Un símbolo tangible de este compromiso con el futuro es la materialización de la red geodésica propia en el campus de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte (ULVR). La instalación de monumentos permanentes y placas georreferenciadas de hormigón no es solo un logro técnico; es un legado para las futuras generaciones de estudiantes. Este laboratorio a cielo abierto permite que el aprendizaje de la topografía de alta precisión deje de ser una teoría en los libros para convertirse en una práctica real, donde se enseña que la exactitud y la paciencia — como los treinta y cinco minutos necesarios para capturar un punto estático perfecto— son la base de una ingeniería responsable.

Estamos presenciando el nacimiento de una topografía que no solo mide el mundo, sino que lo comprende. En el nuevo horizonte que se abre ante nosotros, el mapeo inteligente será la herramienta que permitirá al Ecuador gestionar sus recursos naturales con sostenibilidad, diseñar ciudades más seguras y potenciar su motor agrícola con una precisión que los antiguos agrimensores del Nilo

jamás habrían imaginado. Al cerrar estas páginas, queda la certeza de que el territorio ya no es un misterio por resolver, sino un recurso vital que, gracias a la unión entre la ciencia milenaria y la tecnología digital, podemos cartografiar con la claridad y la esperanza que exige nuestro futuro.

Bibliografía

1. Alcaraz, D. P. (2015). Levantamiento mediante GPS. Universidad Politécnica de Cartagena.
2. Blanco Suárez, M. A. (2022). Vuelo en área montañosa con vehículo aéreo no tripulado equipado con GNSS L1: análisis de la precisión fotogramétrica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
3. Cevallos. (2021). Evaluación de costos, rapidez y precisión en el levantamiento topográfico realizado con dron en la carreta Pilloco Marca distrito de Cayran 2019.
4. Claudio Antonio Ramirez Soto. Importancia de los levantamientos topográficos. (2022) .
5. Darum-sl. (s.f.). Técnicas de levantamiento topográfico: métodos tradicionales vs. tecnología moderna.
6. DGAC. (2020). Sistemas de imágenes altamente integrado.
7. DJI. (2024). Mavic 3M - Specifications.
8. DJI Enterprise. (s.f.). DJI Enterprise.
9. DJI Mavic 3M. (s.f.). Sistemas de imágenes altamente integrado.
10. Egvuser. (2024). Aerofotogrametría.
11. El Vuelo del Dron. (s.f.). El Vuelo del Dron.
12. EMLYD. (s.f.). RTK Introduction.
13. GeoGest. (2021). Conceptos fundamentales en topografía.
14. GeoPortal IGM. (s.f.). Geodesia- Ecuador.
15. Geoteknik S.A.C. (s.f.). Receptor GPS Diferencial.

16. Gerhard (2005). PPP-RTK: posicionamiento preciso de puntos mediante representación en espacio de estados en redes RTK.
17. Global Mediterránea Geomática. (2020). Levantamiento topográfico con GPS
18. GPS (s.f.). Fundamentos del sistema GPS.
19. Guandique (2015). Fundamentos básicos de fotogrametría.
20. IberoOptics. (s.f.). Fundamentos básicos de fotogrametría. Ingeoexpert. (2021). Topografía.
21. Instituto Geográfico Militar. (2020). Registro Oficial.
22. Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). Teoría de la Geodesia.
23. Jiménez Granizo, M. J., & Yamasqui Sarmiento, J. D. (2022). Evaluación y valoración de levantamientos topográficos mediante aerofotogrametría y métodos tradicionales.
24. Latitud-19. (s.f.). Levantamiento geodésico.
25. Ley de Geoinformación del Ecuador. (2005) .
26. McCormac, J. (2003). Topografía.
27. Mettatec. (s.f.). Comparación entre los sistemas de corrección.
28. Normativa de la Dirección General de Aviación Civil. (2022) .
29. Pérez, J., & Ana, G. (2019). Definición de Geodesia.
30. Políticas Nacionales de Información Geoespacial (CONAGE). (2010) .
31. Rodenas Chivichón, S. (2023). Análisis comparativo de los métodos fotogramétricos.
32. Silva Velarde, E. O. (2024). Generación de ortofotografía y modelo digital de elevación con puntos de control RTK.
33. Toposervis. (s.f.). Topografía en proyectos de obra civil.
34. UpdateStar. (s.f.). Equipos de Topografía.
35. Utm30. (s.f.). Equipos de Topografía.
36. Villner. (2022). Tipos de levantamientos topográficos.
37. Wingtra AG. (s.f.). Aplicaciones cartográficas.

38. Zevallos, E. O. (2021). Evaluación de costos, rapidez y precisión en el levantamiento topográfico realizado con dron.

Datos de Autores

Yandri Roberto Martínez Sánchez

Ingeniero Civil Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil

María Eloisa Parra Salcedo

Ingeniera Civil, Máster en Estructuras de la Universidad de Granada

Personal Técnico de la Universidad de Granada

Karla Denisse Salazar Bustamante

Ingeniera Civil, Universidad de Especialidades Espíritu Santo

Magister en Gestión de Proyectos de la construcción, Universidad de Especialidades Espíritu Santo

Docente, Universidad Católica de Cuenca

Paul Eduardo Suarez Ramos

Ingeniero Civil, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Magister en Ingeniería Vial, Universidad Técnica Particular de Loja

Consultor Privado

Verónica Mercedes Serrano Sánchez

Ingeniera en Contabilidad y Auditoría CPA Universidad Técnica de Machala, Master Universitario en Dirección y Gestión Financiera Universidad Internacional de la Rioja
Contadora, Analista Financiero