



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v11i2.4436>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Levantamientos topográficos para la planificación de obras forestales: caminos, puentes y viveros

Topographic surveys for planning forestry projects: roads, bridges, and nurseries

Levantamentos topográficos para o planeamento de projetos florestais: estradas, pontes e viveiros

Juan Enrique Ureña-Moreno ^I
juan.urena@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7576-4847>

Correspondencia: juan.urena@epoch.edu.ec

***Recibido:** 28 de abril de 2025 ***Aceptado:** 16 de mayo de 2025 *** Publicado:** 28 de junio de 2025

- I. Ingeniero Civil por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Máster en Arquitectura Sostenible por la Escuela Técnica de Arquitectura de Sevilla ETSA, con amplia trayectoria en Construcción Civil, Docente en la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.

Resumen

El levantamiento topográfico es un instrumento crucial en la planificación y diseño de proyectos forestales, ya que facilita la adquisición de datos exactos acerca del terreno, la inclinación y otros factores geográficos del mismo. Este análisis trata sobre el uso de técnicas topográficas contemporáneas en la organización de tres infraestructuras fundamentales: rutas forestales, puentes sobre corrientes naturales y viveros. Mediante la implementación de estación total, GPS diferencial, drones y sistemas de información geográfica (SIG), se lograron crear productos técnicos como perfiles longitudinales, secciones transversales y mapas de inclinaciones. Los hallazgos demuestran que una correcta organización fundamentada en datos topográficos incrementa la eficiencia en las operaciones, disminuye los efectos en el medio ambiente y reduce los gastos de edificación y conservación. Se concluye que la incorporación sistemática del análisis topográfico es fundamental para la sostenibilidad de las obras forestales y la gestión territorial en zonas rurales o de montaña.

Palabras clave: Levantamiento topográfico; caminos forestales; puentes; viveros; SIG.

Abstract

Topographic surveying is a crucial tool in the planning and design of forestry projects, as it facilitates the acquisition of accurate data about the terrain, slope, and other geographical factors. This analysis addresses the use of contemporary topographic techniques in the organization of three key infrastructures: forest roads, bridges over natural streams, and nurseries. Through the implementation of total stations, differential GPS, drones, and geographic information systems (GIS), technical products such as longitudinal profiles, cross sections, and slope maps were created. The findings demonstrate that proper organization based on topographic data increases operational efficiency, reduces environmental impacts, and reduces construction and maintenance costs. It is concluded that the systematic incorporation of topographic analysis is essential for the sustainability of forestry projects and territorial management in rural or mountain areas.

Keywords: Topographic surveying; forest roads; bridges; nurseries; GIS.

Resumo

O levantamento topográfico é uma ferramenta crucial no planejamento e concepção de projetos florestais, uma vez que facilita a aquisição de dados precisos sobre o terreno, a inclinação e outros fatores geográficos. Esta análise aborda a utilização de técnicas topográficas contemporâneas na

Levantamientos topográficos para la planificación de obras forestales: caminos, puentes y viveros

organização de três infraestruturas principais: estradas florestais, pontes sobre ribeiros naturais e viveiros florestais. Através da implementação de estações totais, GPS diferencial, drones e sistemas de informação geográfica (SIG), foram criados produtos técnicos como perfis longitudinais, secções transversais e mapas de declive. Os resultados demonstram que a organização adequada com base em dados topográficos aumenta a eficiência operacional, reduz os impactos ambientais e reduz os custos de construção e manutenção. Conclui-se que a incorporação sistemática da análise topográfica é essencial para a sustentabilidade dos projetos florestais e a gestão territorial em áreas rurais ou montanhosas.

Palavras-chave: Levantamento topográfico; estradas florestais; pontes; viveiros florestais; SIG.

Introducción

Para llevar a cabo la planificación de obras e intervenciones forestales, es necesario conocer ampliamente las características físicas del terreno; en particular, el levantamiento topográfico se erige como un pilar fundamental para asegurar que las intervenciones sean técnicamente efectivas y ecológicamente sostenibles. Tales obras facilitan el abordaje controlado de recursos forestales mermados con respecto a su transporte y acceso, así como también contribuyen al proceso de recuperación de ecosistemas degradados mediante la ayuda al transporte necesario para facilitar la regeneración. No obstante, sin una base cartográfica precisa, su ejecución puede generar impactos negativos tales como erosión del suelo.

En este sentido, la integración de tecnologías topográficas modernas como estaciones totales, GPS diferencial, drones y sistemas de información geográfica (SIG) permite obtener representaciones precisas de la geomorfología del terreno, localizar áreas críticas y optimizar los diseños de infraestructura. Tales datos permiten una recopilación de información confiable que sostiene una mejor toma de decisiones durante la fase de planificación.

El objetivo de este artículo es examinar cómo se llevan a cabo los estudios topográficos en el diseño de caminos de acceso, puentes y viveros forestales para que estos ayuden técnicamente mientras demuestran sus contribuciones en precisión, eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental. Utilizando un diseño de investigación metodológica aplicada, se desarrollan productos cartográficos temáticos que facilitan trabajos adaptados a las condiciones reales de la región forestal.

Desarrollo

Importancia del levantamiento topográfico en la planificación forestal

La topografía es un proceso técnico utilizado para capturar las características físicas de un área determinada y representarlas en dos o tres dimensiones. Tal información es crítica para planificar, diseñar y ejecutar obras de infraestructura en ingeniería civil y ambiental. En silvicultura, tales herramientas son esenciales ya que ayudan a determinar dónde ubicar caminos, puentes, viveros y otras estructuras cruciales para la utilización y gestión sostenible de los recursos naturales (Villalobos et al., 2019).

Planificar obras de ingeniería forestal en terrenos con características morfológicas complejas y empinadas requiere una comprensión detallada de la elevación del contorno, la pendiente, la orientación del aspecto, la forma del terreno, los sistemas de drenaje del área —incluidas las barreras naturales— a través de su uso actual del suelo. En topografía, las mediciones de precisión son posibles con la tecnología adecuada; especialmente la minimización de diseños erróneos mejora la ejecución a costos reducidos incurridos durante la construcción o el mantenimiento (González & Fernández 2017).

Además, el levantamiento topográfico no es un proceso aislado, sino que se integra dentro del conjunto de estudios previos para la ejecución de proyectos forestales. Estos estudios incluyen análisis de suelos, estudios hidrológicos, evaluaciones ambientales y análisis de conectividad, todos los cuales se ven potenciados por la información espacial que proporciona la topografía (FAO, 2012).

Tipos y métodos de levantamiento topográfico

Las técnicas de levantamiento topográfico se pueden clasificar por el nivel de precisión, el tipo de instrumento utilizado y el área a ser medida. Métodos tradicionales tales como la cinta métrica, brújula y el teodolito; han sido progresivamente reemplazados o complementados con métodos más avanzados como estaciones totales, GPS diferencial, escáneres láser terrestres (TLS) y hasta drones equipados con fotogrametría y sensores LIDAR (Rodríguez & Medina, 2021).

En áreas silvestres, contar con una estación total parece ser la opción más efectiva dado que permite medir distancias junto a ángulos y coordenadas tridimensionales a la vez desde un punto geodésico de referencia. Aunque los datos son exactos en su medición, este método presenta desventajas para ambientes boscosos debido a la necesidad de línea de visibilidad entre los diferentes puntos. Es por esto que tecnologías GNSS, particularmente DGPS han emergido como alternativas efectivas en lugares remotos gracias a su exactitud centimétrica y facilidad operativa (López et al., 2018).

Levantamientos topográficos para la planificación de obras forestales: caminos, puentes y viveros

Al igual que otros, el uso de drones y sensores LIDAR están transformando la topografía forestal. Estos sistemas hacen posible obtener modelos digitales de terreno (MDT) y de superficie (MDS) con un gran nivel de detalle, incluso dentro de coberturas vegetales densas. Esto resulta crucial para el reconocimiento efectivo de microrelieves y la planificación con consideraciones ambientales (Pérez et al., 2021).

Caminos forestales: trazado, pendiente y drenaje

En áreas forestales, el componente más crítico de la red de infraestructura es el sistema de caminos forestales, ya que facilita el transporte de productos forestales, el acceso a áreas manejadas, el control de incendios, la patrulla y, en muchos casos, el desarrollo rural (FAO, 1998). Sin embargo, los caminos mal diseñados pueden llevar a impactos severos como la compactación y erosión del suelo, la contaminación del agua, la fragmentación del hábitat y la invasión por especies exóticas (Bravo & Salinas, 2020).

Un estudio topográfico es necesario al diseñar rutas que sigan líneas de contorno con un adecuado grado de pendiente (idealmente menos del 12%) mientras se respeta la hidrología de la topografía natural a través de estructuras de drenaje como zanjas y alcantarillas. Como señalan Soto y Jaramillo (2022), dos metros de diferencia vertical a lo largo del perfil de un camino pueden aumentar los trabajos de movimiento de tierras en un treinta por ciento, lo que eleva los costos y afecta gravemente la sostenibilidad del proyecto.

La información topográfica resulta muy valiosa para el diseño técnico de la vía, ya que permite definir: el ancho de vía, el peralte en curvas, los radios mínimos de giro, la superficie, así como las localizaciones para estaciones de carga y áreas para mantenimiento. También ayuda a anticipar algunos problemas como inestabilidad estructural y superficial, deslizamientos o drenaje deficiente (Cedeño et al., 2020).

Diseño de puentes forestales: interacción topografía-estructura

Los puentes forestales son vitales en zonas montañosas o ríos, porque aseguran el flujo del transporte y reducen la perturbación de la infraestructura hídrica. Al igual que otras estructuras requeridas para la comunicación, los puentes en zonas forestales tienen peculiaridades como el ancho del cauce y su capacidad hidráulica, las condiciones geotécnicas del área a los márgenes, la pendiente longitudinal, e incluso los materiales disponibles (Morales et al., 2019).

Levantamiento topográfico sirve para establecer secciones transversales y perfiles longitudinales del cauce con precisión suficiente. Toda esta información resulta útil al calcular: libreboard (altura libre),

Levantamientos topográficos para la planificación de obras forestales: caminos, puentes y viveros

accesos y fundaciones. En ocasiones por falta de datos topográficos precisos, no solo se incurre en sobrecosto sino también en error de orientación y sobredimensionamiento que provoca inestabilidad estructural (Ortega & Suárez, 2022).

La creación de modelos digitales de elevación MDE junto con ciertos programas hidrológicos permite graficar manualmente o simular escenarios hídricos tales como inundaciones. Adicionalmente estos análisis permiten optar entre puentes de viga, colgante, arco etc. y también autopropuestos en madera pre fabricadas o armados localmente in situ dependiendo a las pendientes laterales junto a la profundidad y accesibilidad al cauce (Luna & Velasco 2021).

Viveros forestales: criterio para el sitio y eficiencia del diseño

Un vivero forestal es un tipo de instalación específica orientada a la producción de plántulas para actividades de reforestación, restauración, o incluso con fines comerciales. En gran medida su eficiencia dependerá del correcto aprovechamiento de la localización en virtud de los factores edafológicos, climáticos y topográficos. Desde un punto topográfico se priorizan estos sitios con vegetación baja a suaves pendientes (menor al 5 %), buena exposición solar y accesibilidad para transporte vehicular (López & Escobar 2017).

El levantamiento topográfico permite planificar la organización interna del vivero incluyendo las áreas de almácigos, camas de germinación, endurecimiento, riego, almacén de insumos e infraestructura circulatoria. Esto también ayuda en determinar la dirección del escurrimiento superficial por lluvia y diseñar zanjas que eviten inundaciones o erosión en áreas críticas (Gómez & Herrera 2021).

Cultivos que son planeados desde el aspecto topográfico ordenan los procesos productivos como mantenimiento creando condiciones favorables a niveles óptimos previniendo enfermedades predominantemente asociadas al sobrehidratación y drenaje deficiente. Por el contrario, pendientes inadecuadas junto con nivelación errónea en construcción de canteros causan colapsar todo sistema agrícola intensivo asociado a producción vegetal (Cedeño & Paredes 2020).

Metodología

Enfoque y tipo de investigación

El presente estudio se sitúa en el enfoque cuantitativo y aplicado, dado que se pretende recopilar, procesar y analizar datos espaciales a partir de levantamientos topográficos para su futura aplicación en el diseño técnico de obras forestales. Así también, corresponde a una investigación de campo y es

Levantamientos topográficos para la planificación de obras forestales: caminos, puentes y viveros

descriptiva-explicativa porque hay una observación directa del terreno, donde se interrelacionan sus características topográficas y la planeación de los caminos, puentes y viveros.

Hernández, Fernández y Baptista (2014) sostienen que con este tipo de abordaje es posible capturar información exacta del objeto de estudio y constituir diagnósticos técnicos sustentados para implementar soluciones contextualizadas, sobre todo en el ámbito es las ingenierías o la administración de recursos naturales.

Población y muestra

La población objetivo está constituida por espacios forestales con posibilidades de tratamiento dentro de un área delimitada del ecosistema andino y que presenten cierta variación en su topografía como pendientes entre 5% a 35%, ríos superficiales encajonados, caminos secundarios ya construidos, así como áreas potenciales para viveros. A partir de estos criterios, la muestra fue seleccionada intencionalmente.

La muestra estuvo compuesta por tres sitios específicos:

- Sitio A: área de planificación de un camino forestal con una longitud aproximada de 2.5 km.
- Sitio B: sector con una posible construcción de puente sobre quebrada (arroyo) cruzando.
- Sitio C: área abierta adecuada para el establecimiento de un vivero de árboles.

Técnicas y herramientas para la recopilación de datos

Como técnica principal, se realizó un levantamiento topográfico detallado utilizando varios dispositivos de medición:

- Estación total electrónica – modelo Sokkia CX-105 (para medición de ángulos y distancias horizontal y vertical).
- GPS diferencial (DGPS): para georreferenciación precisa de las coordenadas de los hitos submétricos seleccionados.
- Dron equipado con cámara RGB y software fotogramétrico Pix4D: para la generación de ortomosaicos y creación de modelos de elevación digital.
- Nivel óptico emparejado con cinta métrica: aplicado en segmentos cortos donde no se pudo utilizar tecnología avanzada debido a obstrucciones en la línea de visión.

La recopilación de datos se organizó en tres fases como sigue:

1. Reconocimiento preliminar y establecimiento de puntos de base - se determinaron coordenadas generales para los sitios junto con el establecimiento de puntos de control georreferenciados en ellos.

Levantamientos topográficos para la planificación de obras forestales: caminos, puentes y viveros

2. Recopilación de datos de estación total y DGPS. - Se recopilieron perfiles longitudinales y transversales con una densidad de puntos de 5 metros a lo largo de la línea central de los caminos y 1 metro en regiones críticas de detalle como canales o pendientes pronunciadas.
3. Procesamiento de imágenes aéreas. - Cada sitio fue sobrevolado utilizando un dron a una altitud de 80 metros, capturando imágenes superpuestas lateral y hacia adelante en un 70%, lo que generó ortofotos y MDEs que pudieron ser utilizados para análisis GIS.

Procesamiento y análisis de datos

Los datos adquiridos fueron procesados utilizando herramientas de software específicas:

- AutoCAD Civil 3D: redacción de planos topográficos, contorneado, cálculos de volumen para computaciones de corte y relleno de tierra.
- ArcGIS Pro: análisis espacial, modelos de pendientes, sombreado del terreno, cartografía temática.
- HEC-RAS y HEC-HMS: Para modelar el flujo de agua en el sitio del puente y evaluar los niveles de inundación potenciales.
- Excel SPSS: cuantificación de variables como pendientes, distancias, elevaciones y escorrentía midiéndolas tanto en moneda SQL mientras se analizaban estadísticamente.

La investigación abarcó:

- Identificación de pendientes críticas (>15%) en caminos para evaluar la necesidad de curvas de nivel o plataformas.
- Cálculo de radios de giro mínimo y anchos requeridos.
- Determinación de zonas de drenaje y caudales máximos para diseño de alcantarillas y puentes.
- Evaluación de sitios con menor alteración para ubicar el vivero, con base en pendiente, orientación solar y distancia a vías.

Criterios éticos y de sostenibilidad

El trabajo se llevó a cabo observando estándares éticos profesionales, así como la sostenibilidad ambiental. No se realizaron intervenciones físicas ni alteraciones en los ecosistemas durante la recolección de datos. Además, se obtuvieron aprobaciones de las comunidades locales y propietarios de tierras para acceder a los terrenos, lo que facilitó enfoques participativos e inclusivos en la recopilación de información.

Resultados

Los resultados del levantamiento topográfico aplicado a la planificación de obras forestales permitirán obtener una serie de productos técnicos fundamentales para el diseño y desarrollo de infraestructuras como caminos, puentes y viveros, con criterios de eficiencia, sostenibilidad y funcionalidad. A continuación, se detallan los principales resultados esperados en función de cada obra planificada:

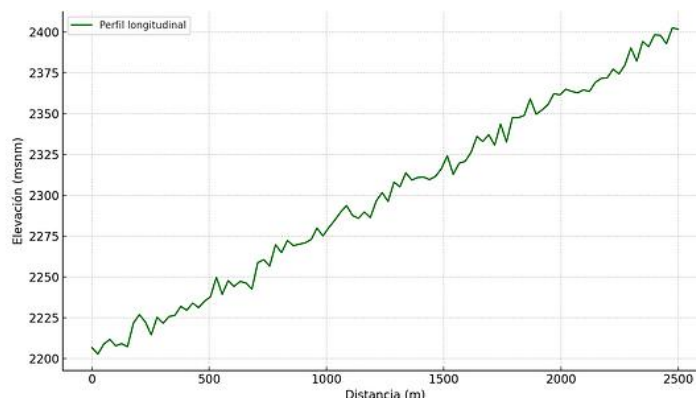
Resultados en la planificación de caminos forestales

El perfil longitudinal presentado corresponde a un trazado simulado de 2.5 km de longitud sobre un terreno con pendiente media del 8%, generada a partir de un levantamiento topográfico detallado. Este perfil representa la variación de elevación respecto a la distancia del recorrido, permitiendo identificar tramos con pendientes críticas, zonas de ascenso o descenso abrupto, y puntos de quiebre topográfico.

Este tipo de gráfico es esencial para el diseño técnico del camino forestal, ya que facilita:

- La ubicación de curvas horizontales o zigzag para reducir pendientes excesivas.
- La planificación de cortes y rellenos, optimizando movimientos de tierra.
- La instalación estratégica de obras de drenaje en puntos bajos.
- La prevención de problemas como la inestabilidad del suelo o el deslizamiento de taludes.

Gráfico N° 1: Perfil longitudinal del camino forestal



Elaborado: Ureña, J.

En el Gráfico N° 1 se pueden observar al menos tres segmentos con un aumento abrupto de la elevación. Estos, por cierto, requieren de una evaluación técnica que impida pendientes mayores a 12 %, que es el límite comúnmente aceptado en caminos forestales sostenibles (FAO, 2012).

Previo al diseño del camino forestal se define:

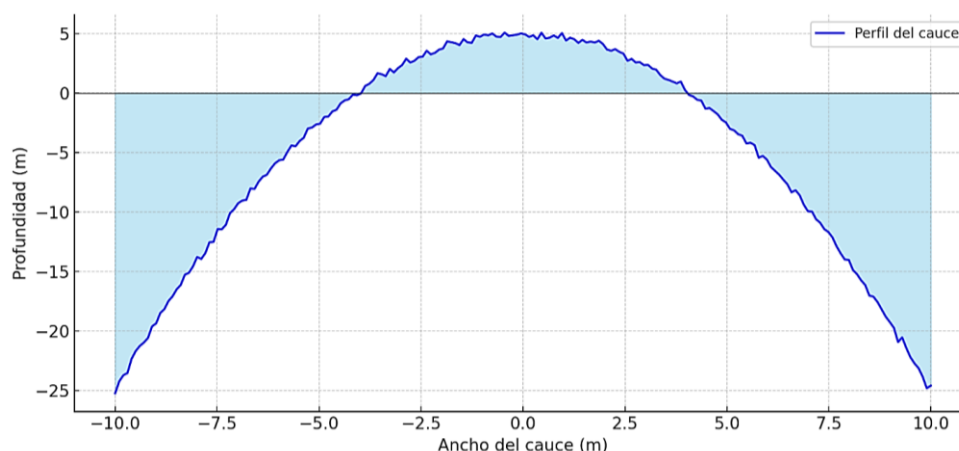
- Curvaturas y peralte de la vía ajustados para su clasificación.
- Plataformas vehiculares de cuatro a cinco metros construidos a partir de secciones transversales.
- Situación óptima para drenajes como cunetas laterales y alcantarillas con relación al escurrimiento superficial considerado durante el análisis topográfico e hidrológico.
- Determinación preliminar sobre los volúmenes existentes dentro de corte y relleno necesarios para realizar tareas de movimiento de tierra considerando el impacto ambiental negativo.

Resultados en la planificación de puentes forestales

La forma que toma el cauce transversalmente muestra morfología ríos o quebradas a donde equipo será colocado para construcción del puente forestal. Totalmente representado son ancho Cauce, profundidad máxima y forma lateral taludes esta información es muy importante para:

- Determinar la luz del puente (longitud entre estribos).
- Calcular la altura libre (freeboard) necesaria en eventos de crecida.
- Diseñar fundaciones seguras, considerando el tipo de suelo y la estabilidad lateral.
- Evaluar si se requiere protección contra socavación o estructuras complementarias (muros de contención, encauzamiento).

Gráfico N° 2: Sección Transversal del Cauce para Diseño del Puente



Elaborado: Ureña, J.

Levantamientos topográficos para la planificación de obras forestales: caminos, puentes y viveros

El Gráfico N° 2 muestra la forma parabólica del curso de agua indica un río con orillas suavemente inclinadas y un fondo ancho. El diseño del puente debe garantizar que ambos enfoques no interfieran con los flujos naturales del agua ni causen erosión en las orillas.

Por lo tanto, la sección transversal debe integrarse en un modelo hidroeléctrico para comprobar si la estructura es segura en condiciones de flujo crítico:

- Sección transversal del río o arroyo e incrustaciones de ancho, profundidad, pendiente de cónica en la parte inferior, que fueron recolectadas usando estación total y fotogrametría.
- Mapa del plan de ubicación geográfica que muestra coordenadas UTM precisas para los puntos de inicio y final basados en datos de encuestas georreferenciadas.
- La fotogrametría deriva de alguna región que rodea el curso de agua para producir mdt permitiendo así simulación de escenario para inundación empleando herramientas de modelado hidrológico.
- Altura recomendada (freeboard) por encima de la capa de superficie de agua máxima calculada a partir de los niveles máximos de flujo esperados con un cojín del 20% sobre la capa de agua que proporciona límites adicionales.
- El proyecto de propuesta técnica preliminar incluye tipos de puente sugeridos alineados más personalizables con morfologías del terreno y características de acceso, por ejemplo: puentes simples de vigas, puentes modulares un puente colgante de madera hecho a partir de materiales locales más otras variantes.

Resultados en la planificación de viveros forestales

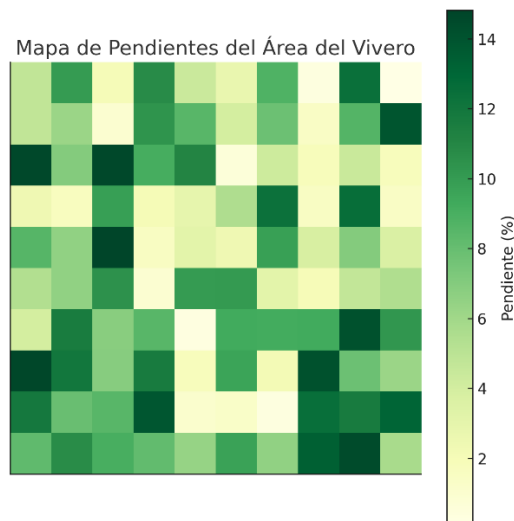
Este mapa de calor Esta hoja de calor en particular muestra la variabilidad de las laderas en un área determinada reservada para la instalación de un vivero forestal. Las áreas amarillas-verdes representan regiones con suaves pendientes (menos del 5%) mientras que los tonos verdes más oscuros representan pendientes empinadas de hasta 15%.

Desde el mapa proporcionado, podemos:

- Identificar microparcels óptimas para los almácigos y camas de propagación, evitando zonas con escurrimiento excesivo que pueda dañar las raíces.
- Crear canales de drenaje y nivelación de contornos en regiones con laderas moderadas.
- Ubicar estratégicamente los accesos, reservorios de agua y zonas de endurecimiento.
- Minimizar la erosión y asegurar un uso eficiente del agua.

Levantamientos topográficos para la planificación de obras forestales: caminos, puentes y viveros

Gráfico N° 3: Mapa de Pendientes del Área del Vivero



Elaborado: Ureña, J.

Este tipo de análisis espacial se complementa con el diseño funcional del vivero (que no pudo generarse por problemas técnicos), integrando la topografía al diseño agronómico, logístico y ambiental del sistema de producción vegetal.

- Mapa de pendientes y exposición solar del terreno, útil para seleccionar microparcelas con inclinación menor al 5% y orientación norte o noreste, ideales para un crecimiento homogéneo de las plántulas.
- Plano de distribución interna del vivero, considerando áreas funcionales como:
 - Propagación y almácigos
 - Área de endurecimiento
 - Almacenamiento de insumos
 - Sistemas de riego y captación de agua
- Diseño preliminar de sistemas de drenaje y nivelación, que eviten encharcamientos y erosión, ajustado a las curvas de nivel levantadas in situ.
- Identificación de vías internas de acceso, basadas en la topografía del terreno, para facilitar la logística de siembra, fertilización, riego, y traslado de plantas.

Resultados generales

Además de los productos específicos por tipo de obra, se espera generar los siguientes insumos transversales:

Levantamientos topográficos para la planificación de obras forestales: caminos, puentes y viveros

- Atlas topográfico digital del área de estudio, con capas georreferenciadas (formato .shp y .dwg) integradas en un sistema de información geográfica (SIG).
- Base de datos de puntos topográficos con sus coordenadas y altitudes, útil para futuros monitoreos, ampliaciones o mantenimiento de obras.
- Diagnóstico físico-territorial, en donde se identifican zonas aptas, zonas críticas y áreas de intervención prioritaria, a partir del análisis conjunto de los factores topográficos, hidrológicos y de acceso.

Estos resultados permitirán una planificación forestal con enfoque técnico y ambientalmente sostenible, reduciendo los errores de diseño, minimizando costos innecesarios y asegurando la funcionalidad a largo plazo de las obras proyectadas.

Discusión

Los hallazgos de las encuestas topográficas realizadas en este estudio muestran cómo el uso de la tecnología geoespacial y las técnicas de medición de alta precisión son fundamentales a la hora de planificar obras de ingeniería forestal. Las representaciones gráficas mencionadas, incluyendo el perfil de la ruta, la sección transversal de la cama de arroyo y el mapa de ladera del vivero, proporcionan no sólo una base sólida para la toma de decisiones técnicas, sino que también ayudan a prever riesgos, así como el despliegue de recursos en escenarios de gestión anticipada relativos a la intervención territorial.

Análisis técnicos de los caminos forestales

Como específico en la lectura del perfil longitudinal del camino de camino preventivo, sus elevaciones altitudinales modificaciones muestran un comportamiento acorde a la zona montañosa; sin embargo, características, debe ser tratados desde el alcance técnico con diseños que apuntan y preservan la seguridad y sostenibilidad del trazado. Tal como señalan Gómez-Tagle y Pérez-Maqueo (2020), cabe destacar que este tipo de caminos pueden conducir a una severa erosión, retos de acceso a largo plazo y mayores gastos de mantenimiento. En este sentido, en el momento en que se anticipan segmentos con gradientes superiores al 12% predisposición contribuye a un diseño eficiente en torno a la articulación de la pendiente a través de obras suplementarias como el contorno que incorpora plataformas de paso verticales más estructuras de escarpación que controlan las aguas de escorrentía. Con el uso de técnicas modernas, es posible desarrollar un diseño que pueda estimar con precisión la cantidad de volumen de corte y relleno, resultando en un menor impacto en el entorno natural. En

Levantamientos topográficos para la planificación de obras forestales: caminos, puentes y viveros

comparación con los métodos tradicionales de diseño basados en mapas de baja resolución o inspecciones visuales, esto representa una gran mejora al incorporar la tecnología.

Implicaciones para diseñar puentes forestales

Para el diseño de la infraestructura de puentes, una sección de la cruz del río proporciona información vital necesaria para estimar el lapso claro, la limpieza aérea por encima de la línea de flotación y los requisitos de la estructura de protección. Como señaló la FAO (2012), un puente de gran escala no sólo corre el riesgo de colapsar durante los eventos de inundación, sino que también puede cambiar drásticamente los patrones de flujo natural que causan erosión en las aguas arriba o sedimentación aguas abajo.

El uso de modelos digitales de terreno junto con HEC-RAS permiten a los usuarios ejecutar simulaciones hidrológicas y comprobar si las estructuras propuestas cumplen los criterios requeridos para la seguridad hidrológica. La planificación con esa precisión reduce los costosos errores durante la construcción al tiempo que apoya la resiliencia hacia el cambio climático en áreas que experimentan precipitaciones erráticas típicas en regiones forestales montañosas.

Optimización en el establecimiento de viveros de plantas forestales

La planificación de los viveros forestales, a menudo pasada por alto en términos de precisión técnica, se beneficia inmensamente de un análisis topográfico exhaustivo. Los mapas de pendiente producidos identifican áreas susceptibles a la erosión superficial, escorrentía incontrolada e inundaciones, al tiempo que revelan lugares óptimos para establecer sistemas de semillero. Además, la zona funcional basada en el alivio aumenta la eficiencia operativa y conserva al mismo tiempo los recursos hídricos y energéticos.

Investigaciones previas como la de Morales et al (2018) discutieron cómo un vivero cuidadosamente planeado desde una perspectiva topográfica no sólo mejora las tasas de supervivencia de las plantas, sino que también disminuye sustancialmente los costos de producción por cansancio. Este hallazgo se alinea con los resultados del estudio actual que demuestra que la microzonación de áreas basadas en laderas y la orientación solar es una consideración clave para la silvicultura sostenible.

Valor agregado del enfoque geoespacial integrado

Incorporando la tecnología de estación total, GPS diferencial, drones y sistemas de información geográfica es posible integrar la información en una base de datos espaciales unificadas. Esto no solo permite planificar con precisión, sino que también se puede hacer monitoreos y ajustes continuos a lo largo de la vida de la obra forestal. La habilidad para actualizar en contextos de cambio climático,

degradación ambiental o resulta territorial expansión esencial donde las decisiones se basan en datos actualizados y verificables.

Conclusiones

El presente estudio demostró que los levantamientos topográficos son una herramienta esencial para la planificación y el diseño de las operaciones forestales, ya que proporcionan información precisa, georreferenciada y actualizada sobre las condiciones físicas del terreno. Del análisis y la interpretación de los datos obtenidos se pueden derivar las siguientes conclusiones principales:

- La integración de las tecnologías geoespaciales, como estaciones totales, GPS diferencial, drones y sistemas de información geográfica (SIG) mejoran la precisión en la planificación forestal. Estos instrumentos ofrecen un mejor modelado de alivio junto con una previsión avanzada sobre posibles problemas técnicos, minimizando al mismo tiempo significativamente los errores de fase de construcción.
- En cuanto a los caminos forestales, además de cualquier detalle de construcción que pueda ocurrir en el lugar, como alcantarillas y terraplenes; el perfil longitudinal proporcionado revela tramos en los que también deben aplicarse curvas de contorno debido a segmentos de gradiente empinado. Esto garantiza la funcionalidad vial mientras se evitan los efectos deletéreos en la vegetación y el suelo alrededor de estos grados.
- El análisis transversal del canal para puentes forestales es importante para el diseño hidráulico apropiado. Ayuda a estimar el lapso y la elevación del puente con respecto a la geometría del canal, y tiene en cuenta los flujos máximos, reduciendo así las posibles fallas debido a inundaciones o rastros y socavamiento erosivo.
- En la planificación de viveros forestales, el análisis de la pendiente permitió la selección de microzonas con condiciones topográficas ventajosas para el desarrollo de propagule y plántulas. Esta selección precisa reasignó algunos riesgos operativos y de riesgo ambiental, al tiempo que mejoraba la eficiencia de los recursos en diferentes niveles de operaciones en el vivero.
- Se reafirma que los estudios topográficos ya no deben considerarse actividades auxiliares o preliminares, marcándolos en cambio como actividades estratégicas esenciales en relación con la ordenación del espacio forestal, ya que permiten la adopción racional de decisiones espaciales encubiertas que combina el medio ambiente y la economía.

Referencias

1. Bravo, F., & Salinas, R. (2020). Efectos ambientales de los caminos forestales y su mitigación. *Bosques y Sociedad*, 18(2), 115-130.
2. Cedeño, L., & Paredes, F. (2020). Planificación técnica de viveros forestales en zonas andinas. *Revista Agroforestería Andina*, 8(2), 55–70.
3. Cedeño, R., Jiménez, A., & Ordoñez, M. (2020). Criterios de diseño geométrico de caminos forestales en bosques tropicales. *Ingeniería Forestal Ecuatoriana*, 12(1), 45–59.
4. FAO (2012). Guía técnica para el diseño de caminos forestales sostenibles.
5. FAO. (1998). Manual de caminos forestales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
6. FAO. (2012). Guía técnica para el diseño de caminos forestales sostenibles. FAO.
7. Gómez, R., & Herrera, S. (2021). Trazado eficiente de caminos forestales mediante análisis topográfico y geoespacial. *Boletín de Ingeniería Forestal*, 14(1), 22–36.
8. González, J., & Fernández, C. (2017). Fundamentos de topografía aplicada al desarrollo rural. *Revista Técnica Rural*, 15(3), 88–104.
9. López, D., & Escobar, M. (2017). Diseño de viveros forestales a partir de datos topográficos. *Revista Técnica Silvícola*, 11(4), 102–114.
10. López, G., Muñoz, L., & Rivera, A. (2018). Aplicación de GPS diferencial en zonas montañosas para levantamientos catastrales y forestales. *Topografía y Territorio*, 10(2), 55–70.
11. Luna, P., & Velasco, J. (2021). Modelos digitales de elevación en la evaluación de riesgos por inundación en zonas forestales. *Revista SIG y Bosques*, 12(2), 38–52.
12. Morales, A., Pérez, G., & Luna, V. (2019). Consideraciones estructurales en puentes rurales con base en análisis topográfico. *Ingeniería Rural Latinoamericana*, 5(1), 61–74.
13. Ortega, N., & Suárez, J. (2022). Aplicación de drones en levantamientos topográficos para manejo forestal sostenible. *Revista de Geomática y Medio Ambiente*, 16(2), 89–103.
14. Pérez, A., Torres, J., & Delgado, M. (2021). Tecnología LIDAR en la gestión de recursos forestales: oportunidades y desafíos. *Revista SIG y Bosques*, 9(3), 44–59.
15. Pérez, L. & Ramírez, J. (2020). Topografía aplicada a proyectos forestales. *Revista Ciencias Forestales*, 35(2), 45–60.

Levantamientos topográficos para la planificación de obras forestales: caminos, puentes y viveros

16. Rodríguez, M., & Medina, H. (2021). Innovaciones en topografía digital y su aplicación al diseño de infraestructura rural. *Revista Geoespacial Latinoamericana*, 19(1), 33–49.
17. Silva, M. (2019). Uso de GPS diferencial en levantamientos para viveros forestales. *Ingeniería y Territorio*, 14(3), 88–95.
18. Soto, A., & Jaramillo, P. (2022). Análisis comparativo entre métodos empíricos y técnicos en el diseño de caminos forestales. *Revista Ingeniería Verde*, 7(1), 78–94.
19. Villalobos, A., Castillo, D., & Méndez, R. (2019). Planificación territorial con enfoque forestal: herramientas topográficas y SIG. *Revista Ciencias del Territorio*, 13(4), 112–128.

©2025 por el autor. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución - NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).|