



# Transformación de los métodos de inventario forestal desde técnicas tradicionales hasta herramientas tecnológicas

## *Transformation of forest inventory methods from traditional techniques to technological tools*

Sarango-Ordóñez, Jhandry Patricio <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Estatal Amazónica, Ecuador, Puyo; <https://orcid.org/0009-0001-4305-6579>, [j.p.sarangoo@uea.edu.ec](mailto:j.p.sarangoo@uea.edu.ec)

\* Autor Correspondencia



<https://doi.org/10.70881/hnj/v2/n1/31>

**Cita:** Sarango-Ordóñez, J. P. (2024). Transformación de los métodos de inventario forestal desde técnicas tradicionales hasta herramientas tecnológicas. *Horizon Nexus Journal*, 2(1), 19-30. <https://doi.org/10.70881/hnj/v2/n1/31>.

**Recibido:** 11/11/2023  
**Revisado:** 20/11/2023  
**Aceptado:** 26/11/2023  
**Publicado:** 31/01/2024



**Copyright:** © 2024 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)**.

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

**Resumen:** El presente artículo revisa la evolución de los métodos de inventario forestal, desde enfoques tradicionales hasta la integración de tecnologías avanzadas como LiDAR y drones. El objetivo es analizar cómo estos avances han mejorado la precisión y eficiencia en la gestión de los recursos forestales. La metodología consistió en una búsqueda de artículos científicos publicados entre 2019 y 2024 en la base de datos Scopus, seleccionando 117 documentos relevantes. Los resultados muestran que las tecnologías emergentes han permitido superar las limitaciones de los métodos tradicionales, especialmente en áreas de difícil acceso, pero enfrentan barreras económicas y de capacitación. A pesar de los altos costos iniciales, los beneficios a largo plazo, como la mejora en la precisión de los datos sobre biomasa y carbono, justifican su adopción. La discusión resalta que la implementación de estas tecnologías depende de políticas públicas que promuevan su uso, así como de la cooperación internacional para superar las limitaciones técnicas y financieras. En conclusión, el futuro de los inventarios forestales dependerá de la integración coherente de métodos tradicionales y tecnológicos, respaldada por inversiones en formación y tecnología, para asegurar la sostenibilidad de los bosques.

**Palabras clave:** inventario forestal, LiDAR, drones, gestión forestal, teledetección.

**Abstract:** This article reviews the evolution of forest inventory methods, from traditional approaches to the integration of advanced technologies such as LiDAR and drones. The objective is to analyze how these advances have improved accuracy and efficiency in forest resource management. The methodology consisted of a search of scientific articles published between 2019 and 2024 in the Scopus database, selecting 117 relevant papers. The results show that emerging technologies have allowed overcoming the limitations of traditional methods, especially in areas of difficult access, but face economic and training barriers. Despite high initial costs, long-term benefits, such as improved accuracy of biomass and carbon data, justify their adoption. The discussion highlights that the implementation of these technologies depends on public policies that promote their use, as well as international cooperation to overcome technical and financial constraints. In conclusion, the future of forest inventories will depend on the coherent integration of traditional and technological methods, supported by investments in training and technology, to ensure forest sustainability.

**Keywords:** forest inventory, LiDAR, drones, forest management, remote sensing.

## 1. Introducción

La evolución de los métodos de inventario forestal refleja un cambio significativo en la forma en que los recursos forestales son monitoreados y gestionados. Los inventarios forestales tradicionales se basaban en mediciones manuales y observación directa, lo que, aunque efectivo en pequeñas áreas, presentaba limitaciones cuando se aplicaba a grandes extensiones. Estas técnicas, aunque aún son útiles en determinados contextos, enfrentan desafíos considerables en términos de precisión y eficiencia. La creciente presión sobre los ecosistemas forestales debido a la deforestación, el cambio climático y la pérdida de biodiversidad ha puesto de manifiesto la necesidad de métodos más eficientes y precisos para la evaluación de los recursos forestales (Mieles-Giler et al., 2024).

Uno de los principales problemas que enfrenta el inventario forestal es la dificultad de obtener datos precisos a gran escala con métodos tradicionales. Estas técnicas requieren una gran cantidad de mano de obra y tiempo, lo que se traduce en altos costos operativos, especialmente en áreas de difícil acceso. Además, los inventarios forestales tradicionales tienden a subestimar o sobreestimar la biomasa y otros indicadores clave debido a las limitaciones inherentes a la metodología de muestreo (Secforestales.org, 2019). En este contexto, la necesidad de contar con datos más exactos y detallados se ha vuelto crucial para la gestión sostenible de los bosques, lo que ha impulsado la adopción de tecnologías más avanzadas.

La introducción de nuevas tecnologías, como el escaneo láser terrestre (TLS) y la teledetección, ha revolucionado el campo del inventario forestal. Estas herramientas permiten la recolección de datos a gran escala, con un alto grado de precisión y en un tiempo mucho menor en comparación con las técnicas tradicionales (Astudillo-Martínez et al., 2023). El uso del LiDAR, por ejemplo, ha permitido mapear estructuras forestales en tres dimensiones, facilitando la medición de variables como la altura de los árboles, el volumen de biomasa y la densidad de cobertura forestal, que son difíciles de obtener con métodos convencionales (Chicaiza-Ortiz et al., 2023). Sin embargo, la implementación de estas tecnologías no está exenta de retos. La inversión inicial en equipos y la formación especializada son barreras importantes, especialmente en países en desarrollo. Además, la integración de estos datos tecnológicos con los sistemas tradicionales de gestión forestal sigue siendo un desafío.

A pesar de las dificultades, la evolución hacia tecnologías avanzadas en el inventario forestal está justificada por la urgencia de gestionar de manera más eficiente los recursos forestales, que desempeñan un papel crucial en la mitigación del cambio climático y la conservación de la biodiversidad. Los métodos tradicionales, si bien útiles, ya no pueden satisfacer las crecientes demandas de precisión y cobertura geográfica necesarias para el monitoreo y manejo de los bosques a gran escala (Mieles-Giler et al., 2024). La adopción de tecnologías emergentes, como el TLS y la teledetección, ofrece la oportunidad de obtener datos más detallados y fiables, lo que es esencial para la toma de decisiones informadas en la gestión forestal. Este enfoque combinado de técnicas tradicionales y tecnológicas permite una mayor eficiencia en términos de tiempo y costo, y asegura una mejor precisión en la recopilación de datos (Loor-Macías et al., 2024).

El objetivo principal de esta revisión es analizar la evolución de los métodos de inventario forestal, destacando las ventajas y limitaciones tanto de las técnicas

tradicionales como de las innovaciones tecnológicas. A través de este análisis, se espera proporcionar una visión clara de las tendencias actuales en la gestión de los recursos forestales, identificando las mejores prácticas para la integración de estos métodos en diferentes contextos geográficos y económicos. Al revisar la literatura científica disponible, se pretende también explorar cómo estas herramientas pueden utilizarse para mejorar la sostenibilidad de los recursos forestales y apoyar los esfuerzos globales de conservación.

La viabilidad de adoptar estas nuevas tecnologías en el contexto del inventario forestal ha sido demostrada en diversos estudios que destacan su capacidad para mejorar tanto la precisión como la eficiencia de la recolección de datos. En particular, la teledetección por satélite y el uso del LiDAR han mostrado ser herramientas cruciales para la cartografía forestal y la evaluación de la biomasa en grandes extensiones de terreno (Chicaiza-Ortiz et al., 2023). Sin embargo, el éxito de su implementación depende de factores como la disponibilidad de recursos financieros y técnicos, así como la formación adecuada de los profesionales forestales. Por lo tanto, es necesario que las políticas públicas apoyen la adopción de estas tecnologías a través de la inversión en infraestructura y capacitación.

En síntesis, el campo del inventario forestal ha experimentado una transformación importante gracias a la integración de nuevas tecnologías que han mejorado significativamente la eficiencia y precisión de la recolección de datos. Si bien persisten desafíos, especialmente en lo que respecta a la inversión inicial y la capacitación técnica, el potencial de estas herramientas para mejorar la gestión de los recursos forestales es innegable. A medida que los métodos tradicionales y tecnológicos continúan evolucionando, será fundamental garantizar que las innovaciones se integren de manera coherente en los sistemas existentes para maximizar su impacto en la conservación de los bosques y la sostenibilidad a largo plazo.

## 2. Materiales y Métodos

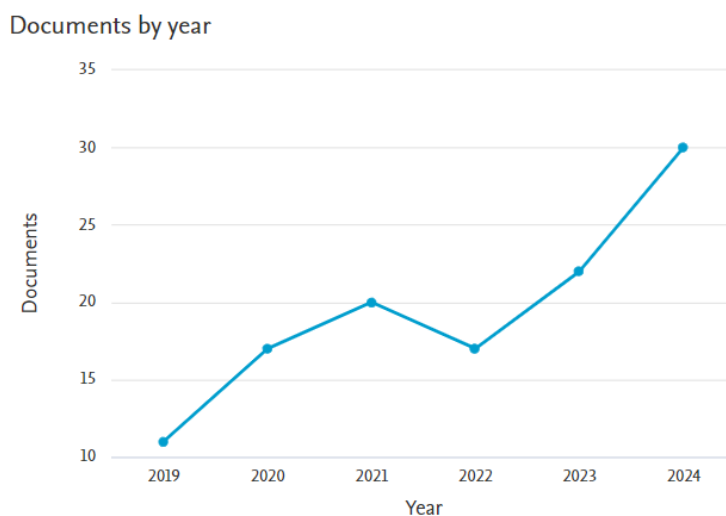
Para la realización de este estudio, se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de artículos en la base de datos Scopus, utilizando las palabras clave "evolution", "forest" y "inventory". La búsqueda se limitó a los documentos publicados entre los años 2019 y 2024. Este rango de años fue seleccionado para asegurar que el análisis se centrara en los desarrollos más recientes en la evolución de los métodos de inventario forestal, reflejando así las tendencias actuales y las tecnologías emergentes en el campo.

### Proceso de búsqueda y selección de documentos

La búsqueda inicial arrojó un total de 117 documentos. Estos artículos fueron filtrados para garantizar su relevancia en el contexto del tema en estudio, excluyendo aquellos que no abordaban directamente los métodos de inventario forestal o que no presentaban innovaciones en la evolución de estas técnicas. Todos los documentos seleccionados se ajustaron a los criterios establecidos en cuanto a su pertinencia y al rigor científico, lo que permitió la consolidación de una muestra representativa del conocimiento actual.

**Figura 1:**

*Tendencia de publicaciones sobre la evolución de los métodos de inventario forestal (2019-2024)*



*Nota: La gráfica muestra el aumento progresivo en la cantidad de documentos relacionados con la evolución de los inventarios forestales, de acuerdo con los resultados obtenidos en Scopus. La tendencia ascendente indica un creciente interés en el desarrollo de nuevas metodologías y tecnologías para el monitoreo de los recursos forestales.*

**Análisis de los resultados**

Para evaluar la evolución en el número de publicaciones sobre el tema a lo largo de los años, se utilizaron las herramientas de análisis proporcionadas por Scopus, entre las cuales destaca el indicador "Documents by year". Este análisis permitió identificar una tendencia de crecimiento en el número de publicaciones, como se muestra en la gráfica correspondiente. Los resultados obtenidos evidencian un aumento significativo en la cantidad de investigaciones publicadas, con un incremento marcado a partir del año 2021. Este patrón de crecimiento sugiere un interés creciente en la temática de los inventarios forestales y la adopción de nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia y precisión de estos procesos.

**3. Resultados****3.1. Evolución de los métodos tradicionales en el inventario forestal**

La evolución de los métodos tradicionales en el inventario forestal ha sido impulsada por la necesidad de mejorar la precisión y eficiencia en la medición de los recursos forestales. Tradicionalmente, los inventarios forestales se han basado en el muestreo de campo y la medición manual, donde los técnicos seleccionan parcelas específicas del bosque para recopilar datos sobre el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura de los árboles y otros indicadores relevantes. Estas técnicas han sido ampliamente utilizadas en todo el mundo y, aunque han demostrado ser efectivas en ciertos

contextos, presentan limitaciones considerables cuando se aplican en superficies forestales extensas o en áreas de difícil acceso (Mieles-Giler et al., 2024).

El muestreo aleatorio simple ha sido uno de los métodos predominantes en el inventario forestal, ya que permite seleccionar parcelas de manera aleatoria, garantizando una representación estadísticamente válida del bosque. Esta técnica se complementa frecuentemente con la medición manual de variables como el DAP y la altura utilizando herramientas como cintas métricas e hipsómetros. Sin embargo, la precisión de estos métodos depende en gran medida de la habilidad del personal de campo y de la homogeneidad del bosque en cuestión (Colibri, 2008). Los métodos clásicos también han incluido el muestreo sistemático, que organiza las parcelas de manera equidistante dentro del área de estudio, lo que facilita el proceso de medición, pero puede no capturar la variabilidad del bosque de manera adecuada (Cámpora & Terra, 2008).

A pesar de su extensa aplicación, las técnicas tradicionales enfrentan limitaciones significativas en términos de precisión y eficiencia. En grandes superficies forestales, estos métodos suelen ser ineficientes y costosos, debido al tiempo y la mano de obra requeridos para completar las mediciones. Además, las condiciones del terreno y la accesibilidad pueden hacer que sea difícil cubrir toda el área de estudio, lo que introduce un sesgo en los resultados. Asimismo, el error humano durante la recolección de datos manuales puede llevar a estimaciones inexactas, lo que afecta la toma de decisiones basada en los inventarios forestales (Cámpora & Terra, 2008). Este es un aspecto crucial en la gestión sostenible de los bosques, donde la precisión en la evaluación de variables como la biomasa y la estructura forestal es fundamental para el diseño de políticas de conservación y manejo (Mieles-Giler et al., 2024).

En cuanto a la comparación entre los métodos tradicionales y las tecnologías emergentes, es evidente que los primeros requieren más tiempo y recursos. Un inventario forestal tradicional puede tardar semanas o incluso meses en completarse, dependiendo del tamaño del área y la densidad del bosque. Esto contrasta con tecnologías como el LiDAR y la teledetección por satélite, que permiten recopilar datos sobre extensas áreas en cuestión de días o incluso horas. Además, estas tecnologías reducen significativamente la intervención humana, lo que disminuye los errores asociados con la recolección manual de datos y mejora la precisión de las mediciones (Cámpora & Terra, 2008). Si bien el costo inicial de implementar tecnologías avanzadas puede ser elevado, los beneficios a largo plazo, tanto en términos de precisión como de eficiencia operativa, justifican su adopción. Los métodos tradicionales, por otro lado, pueden seguir siendo útiles en áreas pequeñas o en situaciones donde la infraestructura tecnológica no esté disponible, pero su aplicabilidad en bosques de gran escala es cada vez más limitada (Cámpora & Terra, 2008; Colibri, 2008).

### **3.2. Incorporación de nuevas tecnologías en los inventarios forestales**

La incorporación de tecnologías avanzadas en los inventarios forestales ha generado un cambio de paradigma en la forma en que se recopilan, procesan y analizan los datos relacionados con los ecosistemas boscosos. Las herramientas como LiDAR, drones y la teledetección por satélite han permitido obtener mediciones más precisas, rápidas y detalladas que los métodos tradicionales, lo que ha sido clave para la planificación y gestión sostenible de los recursos forestales.

El LiDAR, una tecnología basada en el uso de láseres para medir distancias, es ampliamente utilizada en la silvicultura moderna. Su capacidad para penetrar en el dosel de los bosques y generar nubes de puntos tridimensionales permite obtener datos detallados sobre la altura de los árboles, la densidad del dosel y la topografía del terreno, lo que mejora significativamente la precisión en la estimación de biomasa y carbono almacenado en los bosques (Fang & Guo, 2016). Estas capacidades son esenciales para la gestión del carbono y la mitigación del cambio climático, ya que los bosques juegan un papel clave en la captura de carbono atmosférico. La tecnología LiDAR ha sido especialmente útil en áreas densamente vegetadas, donde los métodos tradicionales basados en observaciones directas tienden a ser inexactos (Morgenroth, 2020).

Por su parte, los drones o vehículos aéreos no tripulados (UAVs, por sus siglas en inglés) han revolucionado el campo de la teledetección forestal debido a su capacidad para capturar datos a alta resolución y su flexibilidad para operar en áreas de difícil acceso. Equipados con cámaras de alta resolución o sensores LiDAR, los drones pueden generar mapas tridimensionales del terreno y del dosel forestal con un nivel de detalle comparable a los sistemas LiDAR aéreos tradicionales, pero a una fracción del costo (Guo et al., 2021). Un estudio reciente demostró que los drones con sensores LiDAR de bajo costo, como el DJI Livox, pueden ofrecer resultados comparables a los sistemas más avanzados, como el RIEGL VUX-1 UAV, para la medición de la altura de los árboles y la densidad del dosel, lo que los convierte en una herramienta prometedora para los inventarios forestales en áreas de mediana o alta densidad forestal (Guo et al., 2021). Además, los drones tienen la ventaja de ser altamente portátiles, lo que facilita su despliegue en regiones remotas o en terrenos montañosos donde las tecnologías basadas en satélites o vuelos tripulados pueden ser menos efectivas.

La teledetección por satélite complementa estas tecnologías al proporcionar una visión de gran escala que permite monitorear el cambio en la cobertura forestal y la salud de los bosques a nivel global. Los satélites, equipados con sensores ópticos y de radar, pueden proporcionar datos consistentes y en tiempo casi real sobre la deforestación, la degradación forestal y el crecimiento del bosque (Fang & Guo, 2016). A través de la integración de estos datos con inventarios terrestres y mediciones de LiDAR, es posible generar mapas precisos de la biomasa forestal sobre grandes áreas, lo que es crucial para la toma de decisiones informadas en la gestión de los recursos forestales. Sin embargo, la resolución espacial de los satélites puede ser limitada en comparación con los sistemas LiDAR o drones, lo que hace que su uso sea más adecuado para análisis a nivel macro y estudios de tendencia a largo plazo (Morgenroth, 2020).

A pesar de los avances significativos en el uso de estas tecnologías, la adopción global enfrenta desafíos económicos y técnicos. Uno de los principales obstáculos es el costo inicial elevado de los equipos, especialmente en el caso del LiDAR, que sigue siendo prohibitivo para muchas instituciones o regiones en desarrollo. Aunque los precios de los drones y sensores han disminuido, la inversión en capacitación técnica para manejar estos sistemas y procesar los datos sigue siendo un desafío (Loor-Macías et al., 2024). Además, las limitaciones técnicas, como la autonomía de vuelo de los drones, las condiciones meteorológicas adversas y las dificultades para obtener imágenes satelitales en áreas con cobertura de nubes densa, pueden restringir la efectividad de estas herramientas en algunos contextos.

Sin embargo, la tendencia a la miniaturización de sensores, la mejora de la autonomía de los drones y la reducción de costos de procesamiento están abriendo nuevas oportunidades para la adopción de estas tecnologías en todo el mundo. Países con vastas áreas forestales y recursos limitados, como algunas naciones en desarrollo, podrían beneficiarse enormemente de la adopción gradual de estos sistemas para mejorar sus capacidades de monitoreo y gestión forestal (Morgenroth, 2020). De hecho, a medida que la tecnología continúa avanzando y los costos disminuyen, es probable que el uso de drones y LiDAR se expanda rápidamente, permitiendo una gestión forestal más precisa y sostenible a nivel global.

### **3.3. Tendencias actuales en la integración de métodos tradicionales y tecnológicos**

La integración de métodos tradicionales y tecnologías avanzadas en los inventarios forestales ha emergido como una solución eficaz para optimizar la precisión y eficiencia en la gestión forestal. Estos enfoques híbridos combinan las mediciones manuales de campo, como el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura de los árboles, con herramientas tecnológicas avanzadas como el LiDAR, el Radar de Apertura Sintética (SAR) y los satélites multispectrales.

Uno de los beneficios clave de esta integración es la capacidad de los sensores remotos para captar datos a gran escala y con alta resolución, lo que permite extrapolar la información de parcelas pequeñas a grandes extensiones de terreno. Esto es particularmente útil en áreas de difícil acceso, donde los métodos tradicionales resultan logísticamente complejos y costosos. Por ejemplo, el uso de LiDAR aéreo y SAR ha demostrado ser eficaz en la estimación precisa de la biomasa en regiones forestales densas, lo que ha permitido obtener datos más precisos sobre la salud y estructura de los ecosistemas (Guo et al., 2021).

Un caso de éxito significativo es el uso de drones equipados con sensores LiDAR en bosques tropicales. Esta combinación ha permitido realizar inventarios rápidos y detallados, detectando la degradación forestal y ayudando a planificar la restauración de ecosistemas degradados. Además, la combinación de datos obtenidos de satélites como Sentinel-2 junto con imágenes de alta resolución y algoritmos de aprendizaje automático ha mejorado las capacidades para mapear la cobertura del dosel forestal, un indicador clave para la conservación y la gestión forestal sostenible (Griess et al., 2022).

En cuanto a los modelos de gestión, la integración de tecnologías avanzadas con las mediciones tradicionales ha dado lugar a sistemas de monitoreo continuo. Estos sistemas permiten a los gestores forestales tomar decisiones más informadas y responder rápidamente a amenazas como la deforestación o los incendios forestales. Este enfoque híbrido no solo reduce los costos de operación a largo plazo, sino que también facilita un monitoreo más preciso en tiempo real (Shafri et al., 2024).

A pesar de las barreras económicas y técnicas, los avances en la miniaturización de sensores y la reducción de costos están haciendo que estas tecnologías sean cada vez más accesibles. Con la creciente disponibilidad de estos enfoques, la adopción de estrategias híbridas seguirá expandiéndose, promoviendo una gestión más sostenible y eficiente de los recursos forestales a nivel global.

### 3.4. Desafíos y oportunidades para el futuro de los inventarios forestales

Los desafíos y oportunidades para el futuro de los inventarios forestales están profundamente ligados a la necesidad de integrar tecnologías emergentes, superar barreras económicas y técnicas, y contar con un respaldo sólido de políticas públicas. Estos factores determinan la capacidad de los países para realizar monitoreos efectivos de sus ecosistemas forestales, los cuales son cruciales para enfrentar problemas globales como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad.

Uno de los principales desafíos radica en la capacitación de profesionales y la inversión en tecnologías avanzadas. Las herramientas como LiDAR, los drones y los sistemas de teledetección por satélite han demostrado ser transformadoras para los inventarios forestales, ya que permiten obtener datos con una precisión y rapidez que los métodos tradicionales no pueden igualar (Forestry.com, 2022). Sin embargo, muchos países, especialmente en vías de desarrollo, carecen de personal capacitado para manejar estas tecnologías y analizar la vasta cantidad de datos generados. De acuerdo con la FAO (2021), la falta de capacidades técnicas y de recursos financieros limita significativamente la implementación de inventarios forestales eficientes. Además, las altas inversiones iniciales que estas tecnologías requieren, tanto en términos de equipos como de infraestructura, constituyen otro obstáculo considerable. En muchos casos, los países con grandes áreas forestales no tienen el acceso económico a estas soluciones avanzadas (FAO, 2021).

A pesar de estas barreras, las tecnologías emergentes ofrecen oportunidades sin precedentes para mejorar la conservación y la gestión de los bosques. La posibilidad de actualizar los inventarios forestales en tiempo real mediante drones y satélites permite una vigilancia continua y precisa de los cambios en los ecosistemas, lo cual es esencial para responder de manera oportuna a la deforestación y la degradación forestal. Estas tecnologías también permiten generar mapas detallados de la biomasa, lo que es crucial para medir los niveles de carbono almacenados en los bosques, un aspecto clave en la lucha contra el cambio climático (Shafri et al., 2024). Además, la combinación de tecnologías de aprendizaje automático con datos de teledetección está abriendo nuevas vías para predecir y gestionar riesgos, como incendios forestales y plagas, lo que facilita una planificación más sostenible (Forestry.com, 2022).

El apoyo de las políticas públicas es esencial para superar las barreras mencionadas y aprovechar al máximo estas oportunidades tecnológicas. Los gobiernos deben promover subsidios y programas de financiamiento que faciliten la adopción de nuevas tecnologías por parte de las agencias forestales, especialmente en países en desarrollo. Las alianzas internacionales también juegan un papel crucial en este sentido, ya que permiten compartir conocimientos, infraestructuras y recursos técnicos. Según la FAO (2021), el fortalecimiento de las capacidades nacionales mediante la formación de redes internacionales de cooperación técnica y científica es fundamental para implementar tecnologías avanzadas en el monitoreo forestal y mejorar la toma de decisiones basada en datos.

En síntesis, el futuro de los inventarios forestales está marcado por importantes desafíos técnicos y financieros, pero también por enormes oportunidades tecnológicas que podrían transformar la manera en que se gestionan los bosques. La clave para enfrentar estos retos está en la capacitación continua de los profesionales, el acceso a

tecnologías avanzadas y el desarrollo de políticas públicas que promuevan la implementación de métodos innovadores en la gestión forestal. Solo mediante este enfoque integral será posible asegurar la conservación de los ecosistemas forestales en un contexto de cambio climático y crecientes presiones sobre los recursos naturales.

#### 4. Discusión

La evolución de los métodos de inventario forestal y la incorporación de tecnologías emergentes han generado un panorama donde los desafíos y las oportunidades coexisten de manera compleja. En primer lugar, las tecnologías como LiDAR, drones y teledetección han ofrecido una mayor precisión y eficiencia en la recolección de datos forestales, mejorando notablemente la capacidad para gestionar de manera sostenible los recursos naturales. Sin embargo, estos avances tecnológicos requieren de una considerable inversión inicial y una capacitación especializada, lo que limita su adopción, especialmente en países con economías en desarrollo (FAO, 2021). La falta de profesionales capacitados y el alto costo de los equipos son barreras que impiden que estas innovaciones se implementen a gran escala, lo que genera un acceso desigual a las herramientas de monitoreo forestal.

Uno de los aspectos más importantes que emerge en esta discusión es la capacidad de las tecnologías avanzadas para superar las limitaciones de los métodos tradicionales. Las herramientas como los drones, cuando están equipadas con sensores LiDAR, permiten realizar inventarios detallados en menos tiempo y con menos intervención humana, lo que no solo mejora la precisión, sino que también reduce los errores humanos que suelen ocurrir en las mediciones manuales (Forestry.com, 2022). Además, la combinación de datos de teledetección con los recolectados en campo ha demostrado mejorar la precisión en la estimación de la biomasa forestal, lo cual es crucial para evaluar el potencial de captura de carbono y su contribución a la mitigación del cambio climático (Guo et al., 2021).

A pesar de los claros beneficios que estas tecnologías aportan, la adopción generalizada aún enfrenta varios obstáculos financieros y técnicos. El costo de los equipos avanzados, como el LiDAR aerotransportado, sigue siendo elevado, y la capacitación de personal para el manejo y análisis de estos datos representa una carga adicional. En este sentido, las políticas públicas tienen un papel esencial para impulsar la adopción de estas tecnologías, promoviendo la creación de programas de financiamiento y subsidios que faciliten su adquisición y capacitación en su uso (FAO, 2021). Además, la cooperación internacional puede ser una estrategia clave para superar estas barreras, permitiendo el intercambio de conocimientos y recursos entre países que enfrentan desafíos similares en la gestión forestal (Shafri et al., 2024).

Por otro lado, las oportunidades que ofrecen estas tecnologías emergentes no se limitan solo a la mejora en la recolección de datos. También abren la puerta a un manejo forestal más adaptativo y basado en datos en tiempo real, permitiendo respuestas más rápidas a problemas como la deforestación y los incendios forestales. Los avances en inteligencia artificial y aprendizaje automático ya están comenzando a utilizarse para predecir fenómenos como el comportamiento de los incendios forestales, lo que puede mejorar significativamente las estrategias de prevención y mitigación (Forestry.com,

2022). Además, el monitoreo continuo mediante satélites y drones ofrece un nivel de detalle que permite detectar cambios sutiles en los ecosistemas forestales antes de que estos se conviertan en problemas graves.

En conclusión, la evolución de los inventarios forestales mediante la integración de tecnologías emergentes ofrece un futuro prometedor para la gestión sostenible de los bosques. Sin embargo, para que estas tecnologías se adopten a nivel global, es necesario abordar los desafíos relacionados con la capacitación y los costos. El papel de las políticas públicas será clave para crear un entorno favorable que permita aprovechar al máximo estas innovaciones. Asimismo, la colaboración internacional y el intercambio de conocimientos contribuirán a que estas tecnologías estén al alcance de más países, especialmente aquellos que dependen críticamente de sus recursos forestales para su desarrollo sostenible.

## 5. Conclusiones

La evolución de los métodos de inventario forestal hacia la integración de tecnologías emergentes ha abierto nuevas posibilidades para la gestión forestal sostenible, mejorando la precisión y la eficiencia en la recolección de datos. Sin embargo, el uso de herramientas como LiDAR, drones y sistemas de teledetección también ha traído consigo desafíos significativos, particularmente en cuanto a los costos iniciales de implementación y la necesidad de capacitación especializada. La falta de personal capacitado y los elevados costos de los equipos siguen siendo obstáculos importantes para su adopción generalizada, especialmente en regiones con recursos limitados.

A pesar de estas barreras, las tecnologías emergentes presentan una oportunidad única para mejorar la conservación de los ecosistemas forestales. La capacidad de realizar inventarios más precisos y de monitorear continuamente los cambios en la biomasa y la cobertura forestal es crucial para la toma de decisiones informadas en la planificación de políticas ambientales y en la lucha contra el cambio climático. La implementación de políticas públicas que apoyen la adopción de estas tecnologías será esencial para maximizar su impacto, promoviendo la inversión en capacitación y la creación de incentivos económicos.

El futuro de los inventarios forestales dependerá de la capacidad de los países para superar los desafíos económicos y técnicos mediante la cooperación internacional y el respaldo de políticas públicas robustas. Estas estrategias permitirán que las innovaciones tecnológicas se integren de manera efectiva con los métodos tradicionales, garantizando una gestión más sostenible y eficiente de los recursos forestales a largo plazo.

## Referencias Bibliográficas

- Astudillo-Martínez, W. J., Andrade-Bravo, A. G., García-Valdez, J.-D., & Almenabaguerrero, Y. F. (2023). Un Análisis Científico del Ruido Ambiental y Laboral en Sectores Urbanos. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.50>

- Burgos-Macias, T. J., & Gaibor-Fernández, R. R. (2023). *Dinámica poblacional de Spodoptera frugiperda, Diatraea saccharalis y Dalbulus maidis en el cultivo de maíz (Zea mays L.) durante la época seca en cinco localidades del cantón Mocache*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.62>
- Caicedo-Aldaz, J. C., & Herrera-Sánchez, D. J. (2022). El Rol de la Agroecología en el Desarrollo Rural Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 1(2), 1-16. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n2/24>
- Cámpora, J., & Terra, M. (2008). *Comparación de tres métodos de muestreo en inventario forestal*. Tesis de grado, Universidad de la República, Facultad de Agronomía. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/32644>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023). *Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.25>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023). Prácticas de laboratorio y cuestionario sobre biotecnología ambiental. In *Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias* (pp. 92–117). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.18>
- Colibri. (2008). *Comparación de tres métodos de muestreo en inventario forestal*. Universidad de la República. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/32644>
- Fang, J., & Guo, Q. (2016). Mapping global forest aboveground biomass with spaceborne LiDAR, optical imagery, and forest inventory data. *Remote Sensing*, 8(7), 565. <https://doi.org/10.3390/rs8070565>
- FAO. (2021). *Mind the gap: Addressing national forest inventory capacity needs to support climate action*. FAO eLearning Academy. Recuperado de <https://elearning.fao.org>
- Forestry.com. (2022). *The Role of Technology in Modern Forest Management*. Recuperado de <https://forestry.com>
- González-Marcillo, R. L., Guamán-Rivera, S. A., Guerrero-Pincay, A. E., & Ortiz-Naveda, N. R. (2023). *Pastos Tropicales de la Amazonia Ecuatoriana Tomo I: Avances científicos sobre sistemas silvopastoriles como estrategia de reconversión de la ganadería*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.46>
- Griess, V. C., Sadeghi, S. M. M., & Borz, S. A. (2022). Modeling Forest Canopy Cover: A Synergistic Use of Sentinel-2, Aerial Photogrammetry Data, and Machine Learning. *Remote Sensing*, 14(6), 1453. <https://doi.org/10.3390/rs14061453>
- Guamán-Rivera, S. A. (2022). Desarrollo de Políticas Agrarias y su Influencia en los Pequeños Agricultores Ecuatorianos. *Revista Científica Zambos*, 1(3), 15-28. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n3/30>
- Guamán-Rivera, S. A. (2023). Aplicación de Tecnologías en la Agricultura de Precisión mediante Evidencia de Fuentes Científicas. *Horizon Nexus Journal*, 1(2), 1-13. <https://doi.org/10.70881/hnj/v1/n2/14>
- Guamán-Rivera, S. A., & Flores-Mancheno, C. I. (2023). Seguridad Alimentaria y Producción Agrícola Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 2(1), 1-20. <https://doi.org/10.69484/rcz/v2/n1/35>
- Guo, Q., Zhang, J., & Guo, L. (2021). Development and performance evaluation of a very low-cost UAV-LiDAR system for forestry applications. *Remote Sensing*, 13(1), 77. <https://doi.org/10.3390/rs13010077>

- Herrera-Feijoo, R. J. (2024). Principales amenazas e iniciativas de conservación de la biodiversidad en Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 33–56. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/85>
- Herrera-Feijoo, R. J., Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., & Andrade, J. C. (2023). Análisis bibliométrico como una herramienta en la biotecnología ambiental. In *Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias* (pp. 72–91). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.17>
- Loor-Macías, M. G., Mendoza-Cevallos, M. G., Alcívar-Catagua, M. A., Álvarez-Gutiérrez, Y. de las M., Lino-García, M. J., Cañarte-Baque, S. J., Gras-Rodríguez, R., Quimis-Gómez, A. J., & Fienco-Bacuso, A. R. (2024). Regulaciones Ambientales y de Seguridad Laboral en Ecuador. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.93>
- Macías-Véliz, J. N., & Chicharro-López, F. I. (2023). *Procesos de producción de tilapias (Oreochromis niloticus) con aplicación informática*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.64>
- Mieles-Giler, J. W., Guerrero-Calero, J. M., Moran-González, M. R., & Zapata-Velasco, M. L. (2024). Evaluación de la degradación ambiental en hábitats Naturales. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(3), 65–88. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n3/121>
- Mieles-Giler, J. W., Guerrero-Calero, J. M., Moran-González, M. R., & Zapata-Velasco, M. L. (2024). Evaluación de la degradación ambiental en hábitats Naturales. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(3), 65–88. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n3/121>
- Montero-de-la-Cueva, J. V., & Caicedo-Aldaz, J. C. (2023). Prácticas Innovadoras para una Alimentación Sostenible en la Producción Porcina. *Horizon Nexus Journal*, 1(1), 50-62. <https://doi.org/10.70881/hnj/v1/n1/12>
- Morgenroth, J. (2020). Applications of LiDAR and photogrammetry for forest inventory and management. *Forests*, 11(5), 594. <https://doi.org/10.3390/f11050594>
- Rojas, F. E., & Saavedra-Mera, K. A. . (2022). Diversificación de Cultivos y su Impacto Económico en las Fincas Ecuatorianas. *Revista Científica Zambos*, 1(1), 51-68. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n1/21>
- Ruiz-Sanchez, C. I., Herrera-Feijoo, R. J., Guamán-Rivera, S. A., & Fernández-Vélez, C. V. (2023). Enfoque innovador en el diseño de revestimientos para cunetas: material compuesto de polímeros reciclados. In *Sinergia Científica: Integrando las Ciencias desde una Perspectiva Multidisciplinaria* (pp. 49–66). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.22>
- Shafri, H. Z. M., et al. (2024). Improving Forest Above-Ground Biomass Estimation by Integrating Individual Machine Learning Models. *Forests*, 15(6), 975. <https://doi.org/10.3390/f15060975>

## CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.