Lidar Espacial para el Monitoreo de la Estructura y Biomasa de la Vegetación Usando GEDI

Sesión 1: Introducción al Lidar de Forma de Onda Completa

Savannah Cooley, Ph.D., Centro de Investigación NASA Ames, Instituto de Investigación Ambiental del Área de la Bahía de San Francisco
Naiara Pinto, Ph.D., Laboratorio de Propulsión a Chorro de la NASA, Caltech

22 de octubre de 2025

Acerca de ARSET

Acerca de ARSET*

- **ARSET ofrece capacitaciónes sin costo sobre satélites, sensores, métodos y herramientas de teledetección.**

- Las capacitaciones se enfocan en el uso de datos satelitales para apoyar una variedad de aplicaciones y estan personalizadas para participantes con diferentes niveles de experiencia.

AGRICULTURA

CLIMA Y RESILIENCIA

DESASTRES

CONSERVACIÓN ECOLÓGICA

SALUD Y CALIDAD DEL AIRE

RECURSOS HÍDRICOS

INCENDIOS FORESTALES

*Siglas de **A**pplied **R**emote **SE**nsing **T**raining Program (Programa de Capacitación de Teledetección Aplicada en inglés)

EARTH SCIENCE APPLIED SCIENCES

CAPACITY BUILDING

Acerca de las Capacitaciones de ARSET

- En línea o presenciales
- En vivo y dirigidas por un instructor, o asincrónicas y a ritmo autodidacta
- Sin ningún costo
- Opciones bilingües y multilingües
- Solo usan software y datos de fuente abierta
- Diseñadas para diferentes niveles de experiencia
- Visite la página de ARSET para más información.

Lidar Espacial para el Monitoreo de la Estructura y Biomasa de la Vegetación Usando GEDI

Descripción General

¿Qué Está Pasando Bajo el Dosel?

Descripción: Bosque Primario Santarem AmeriFlux BR-Sa1

Fuente: DOE, Lawrence Berkeley National Laboratory

Descripción: El sensor de la NASA Global Ecosystems Dynamics Investigation (conocido como GEDI) a bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS) es el primer Lidar espacial optimizado para medir la estructura de los ecosistemas.

Fuente: NASA

Objetivos de Aprendizaje para esta Capacitación

Al final de esta capacitación, los participantes podrán:

- Identificar los principios físicos fundamentales de la teledetección de LiDAR, incluyendo sus usos y limitaciones para aplicaciones terrestres.
- Acceder y extraer datos de LiDAR de forma de onda completa de repositorios públicos de la NASA para visualizar la estructura de la vegetación.
- Identificar los productos clave de GEDI, incluyendo elevación, altura del dosel, métricas de la estructura de la vegetación y biomasa, en diferentes niveles de procesamiento y resoluciones espaciales.
- Acceder y visualizar datos de GEDI relacionados con la elevación, altura, estructura de la vegetación y biomasa para áreas específicas de interés, utilizando herramientas de acceso abierto.
- Utilizar los productos estándar de biomasa de GEDI, tanto a escala de huella como a escala de 1 km, para mapear recursos forestales.
- Acceder a la API de código abierto OBIWAN para generar estimaciones de cambios en la biomasa en áreas de interés.
- Identificar cómo OBIWAN se puede utilizar para crear escenarios de referencia para proyectos de contabilidad de carbono forestal.

Prerrequisitos

- ARSET - Fundamentos de la Percepción Remota (Teledetección)

Capacitaciones sugeridas

- Para obtener información sobre LiDAR y conceptos básicos para acceder a los datos de GEDI e ICESat:
  - ARSET - El Uso de la Fluorescencia Inducida por el Sol y LIDAR para Evaluar los Cambios y la Vulnerabilidad de la Vegetación
- Para la interpretación de imágenes de LiDAR espaciales históricas y actuales, incluso el Cloud-Aerosol LiDAR with Orthogonal Polarization (CALIOP), el Cloud-Aerosol Transport System (CATS), el satélite Ice, Cloud, and Elevation Satellite, versión 2 (ICESat-2), y el Earth Cloud Aerosol Radiation Experiment (EarthCARE):
  - ARSET - LiDAR Profiling Satellite Observations for Air Quality Applications
- Para familiarizarse con el altímetro láser aerotransportado LVIS:
  - ARSET - Biodiversity Applications for Airborne Imaging Systems
- Tutoriales de acceso a LPDAAC y datos de GEDI

Esquema de la Capacitación

Sesión 1

Introducción al Lidar de Forma de Onda Completa

23 de octubre de 2025

2:00-4:00 p.m. EDT(1800-2100 UTC)

Sesión 2

Introducción a la Misión GEDI y sus Productos Derivados

30 de octubre de 2025

2:00-4:00 p.m. EDT(1800-2100 UTC)

Sesión 3

Estimación de Cambios en la Biomasa con GEDI y la Interfaz OBIWAN API

6 de noviembre de 2025

2:00-4:00 p.m. EDT(1800-2100 UTC)

Tarea

Abre el 6 de noviembre – **Fecha de entrega: 20 de noviembre** – Publicada en la Página Web de la Capacitación

Se otorgará un certificado de finalización de curso a quienes asistan a las tres sesiones en vivo y completen la tarea dentro del plazo estipulado.

Lidar Espacial para el Monitoreo de la Estructura y Biomasa de la Vegetación Usando GEDI

Sesión 1: Introducción al Lidar de Forma de Onda Completa

Sesión 1 – Instructores

Savannah Cooley

Científica investigadora

BAER/Centro de Investigación NASA Ames

Naiara Pinto

Científica investigadora

Laboratorio de Propulsión a Chorro de la NASA

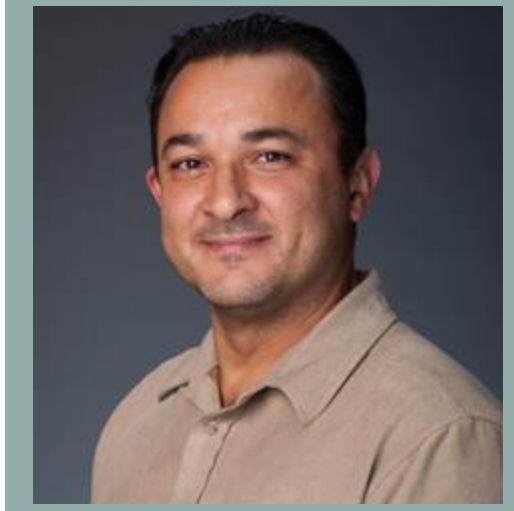
Equipo de Conservación Ecológica de ARSET

Sativa Cruz

Científica Aplicada
BAER/Centro de Investigación NASA Ames

Juan Torres-Perez

Científico Investigador
Centro de Investigación NASA Ames



Justin Fain

Científico Investigador
BAER/Centro de Investigación NASA Ames

Savannah Cooley

Científica Investigadora
BAER/Centro de Investigación NASA Ames

Objetivos de Aprendizaje de la Sesión 1

Al final de esta sesión, los participantes podrán:

- Identificar los principios físicos fundamentales de la teledetección de LiDAR
- Identificar los diferentes tipos de sensores de LiDAR
- Evaluar los usos y limitaciones de los datos de LiDAR de forma de onda completa para aplicaciones en ecosistemas terrestres
- Acceder a repositorios públicos de la NASA para extraer datos de LiDAR de forma de onda completa y visualizar la estructura de la vegetación

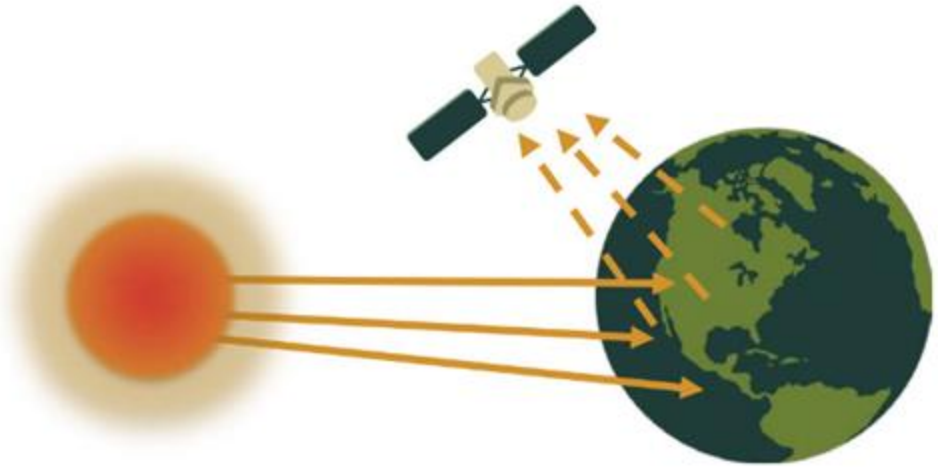
Cómo Hacer Preguntas

- Por favor escriba sus preguntas en la casilla denominada “Questions” y las responderemos al final de esta sesion.
- Puede escribir sus preguntas durante la sesion. Intentaremos responder todas las preguntas durante la sesión de preguntas y respuestas.
- Las preguntas que no podamos las responderemos en el documento de preguntas y respuestas, el cual será publicado en la página de esta capacitación en un par de dias.

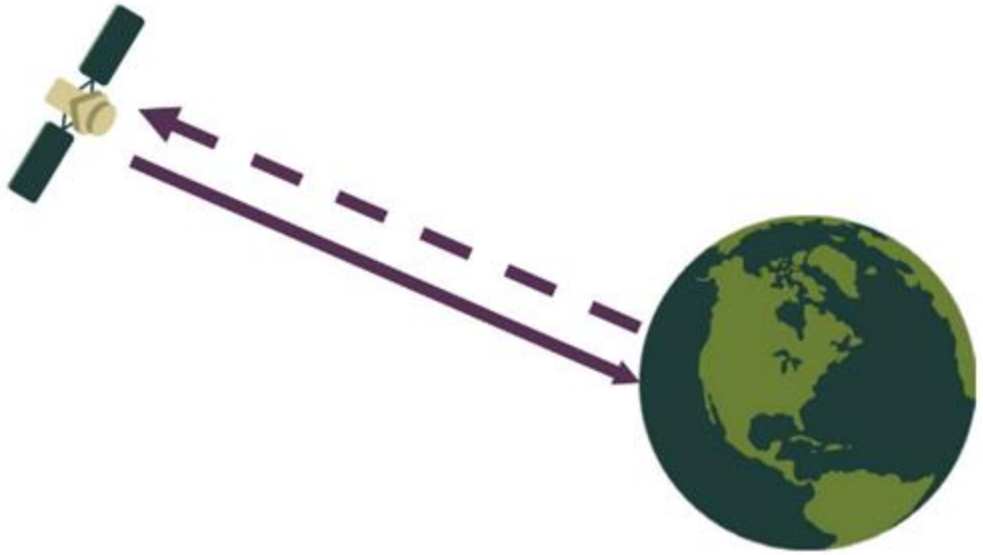
Sección 1: Fundamentos de la Teledetección de Lidar

Sensores Activos vs. Pasivos

Sensores Pasivos

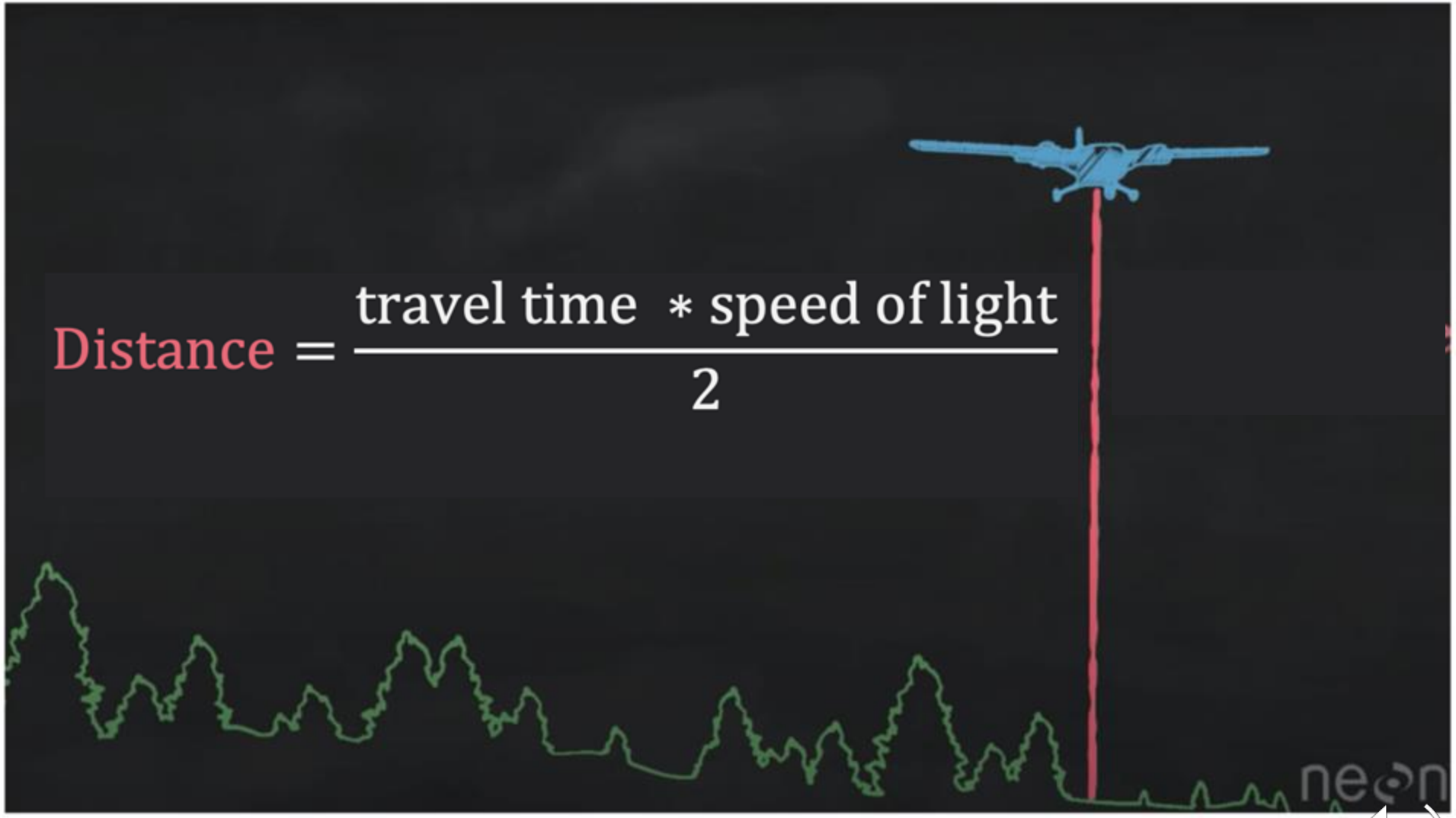


Sensores Activos



Principio de Medición de Distancia

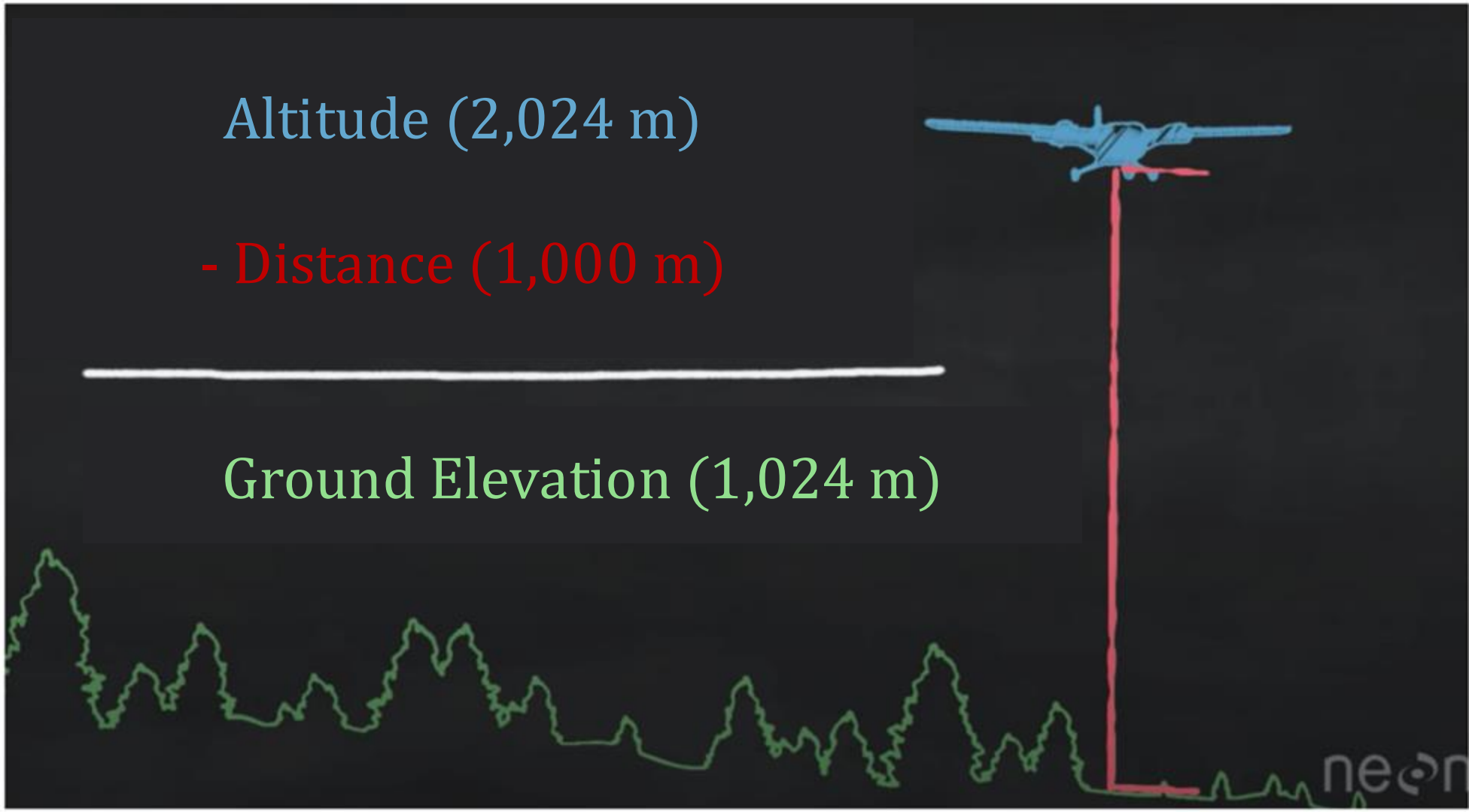
El Lidar funciona según el principio de **altimetría láser**– midiendo el tiempo que tarda un pulso láser en viajar desde el sensor hasta un objetivo y viceversa.



Fuente: NEON

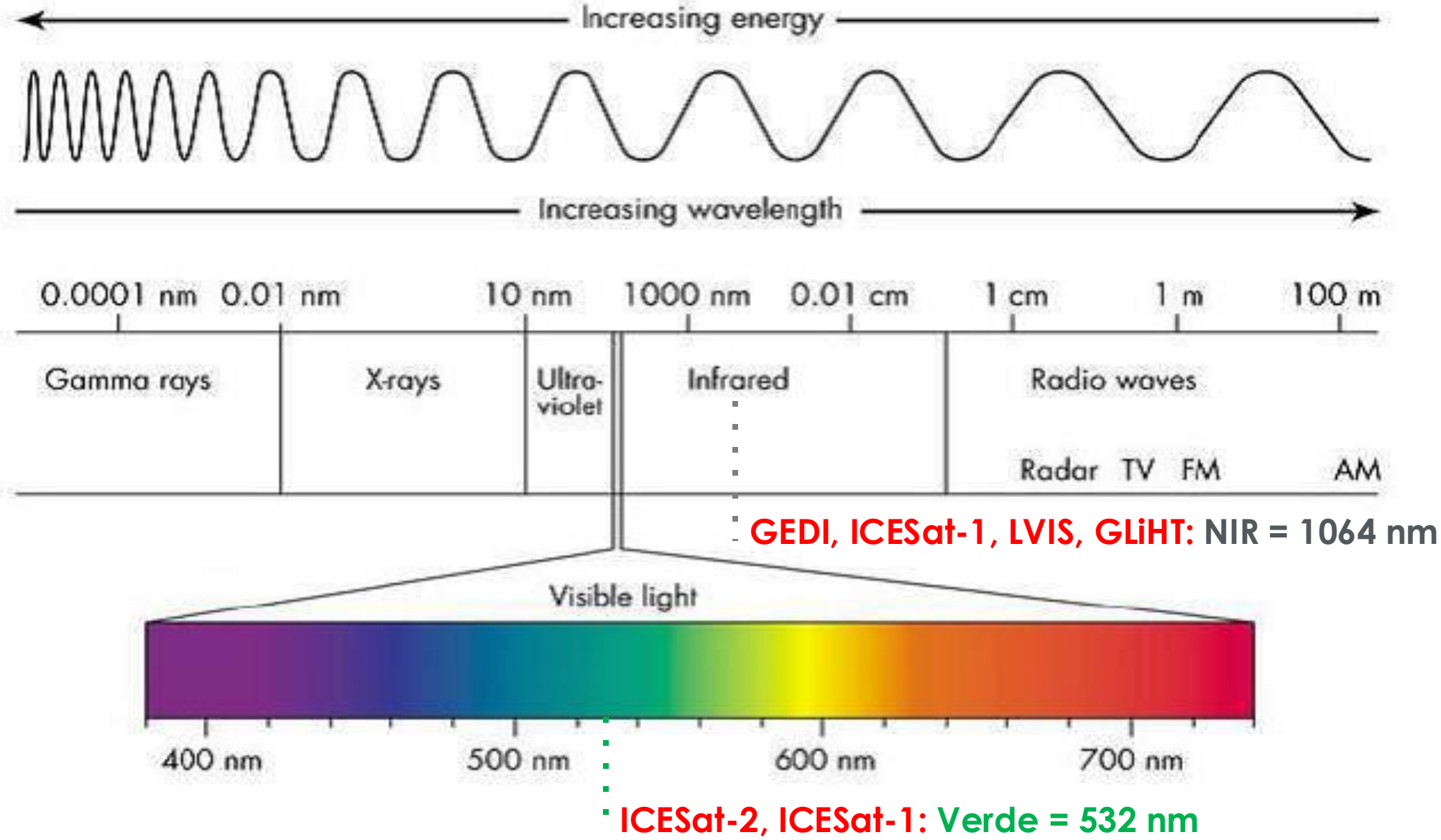
Parámetros Biofísicos Clave

- Elevación y topografía
- Altura del dosel
- Estructura vertical de la vegetación



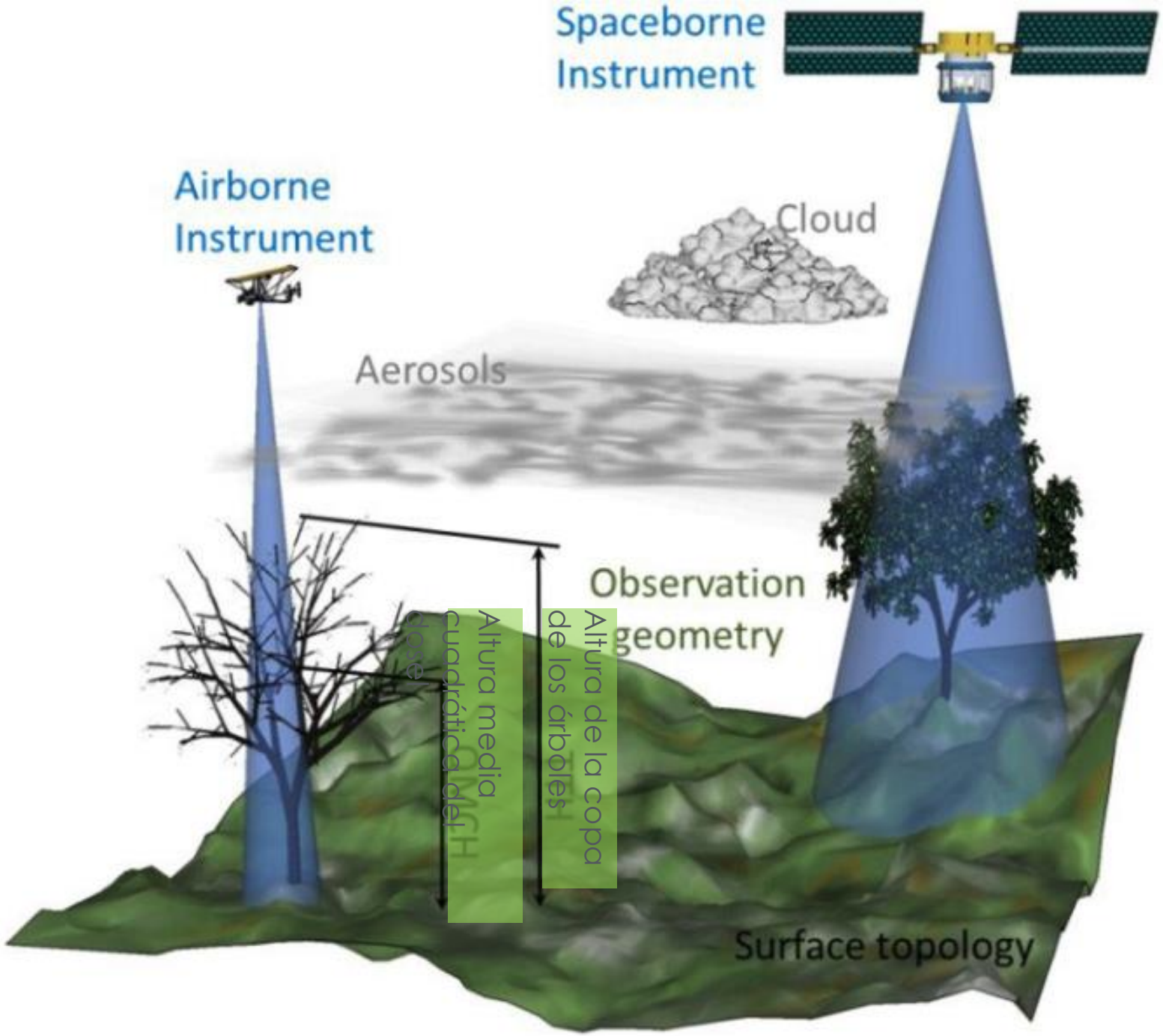
Fuente: NEON

El Lidar para Aplicaciones Terrestres Funciona en Longitudes de Onda Verdes o Infrarrojas Cercanas (NIR)



Plataformas de Lidar

- Lidar terrestre
  Lidar aerotransportado/UAV*
  Lidar espacial



*UAV= siglas en inglés de "unmanned aerial vehicle", vehículo aéreo no tripulado

Fuente: Shang y Chazette, 2015

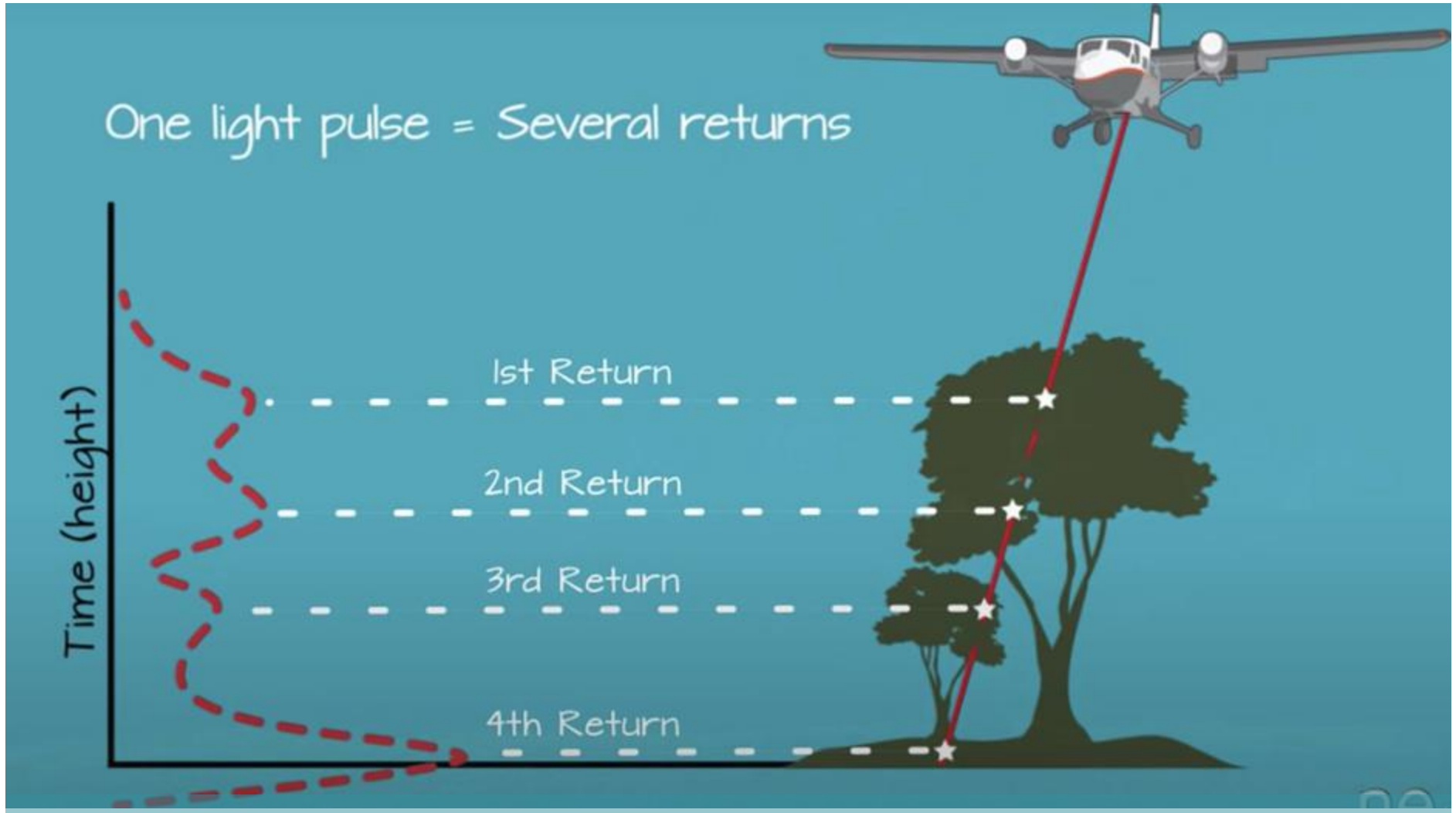
Tipos de Mediciones de LiDAR

- **Lidar de retorno discreto**: Registra pulsos de retorno individuales cuando el láser encuentra superficies reflectantes. Por lo general, registra de 1 a 5 retornos por pulso y son comunes en aplicaciones aéreas.
  - Ejemplo: NEON AOP, NASA GLiHT

- **Lidar de conteo de fotón único**: detecta fotones individuales en lugar de pulsos completos. Si bien proporcionan menos energía por medición, estos sistemas pueden operar desde altitudes mucho más altas y ofrecen capacidades únicas para estudios de la capa de hielo y la vegetación.
  - Ejemplo: NASA ICESat-2

- **Lidar de forma de onda completa**: captura el perfil de energía completo ("forma de onda") del pulso láser devuelto. Esto proporciona información más detallada sobre la distribución vertical de las superficies reflectantes y es particularmente valioso para los estudios de la vegetación. Toda la forma de onda se puede analizar para extraer múltiples métricas que describen la estructura del dosel.
  - Ejemplo: ICESat/GLAS, LVIS, GEDI

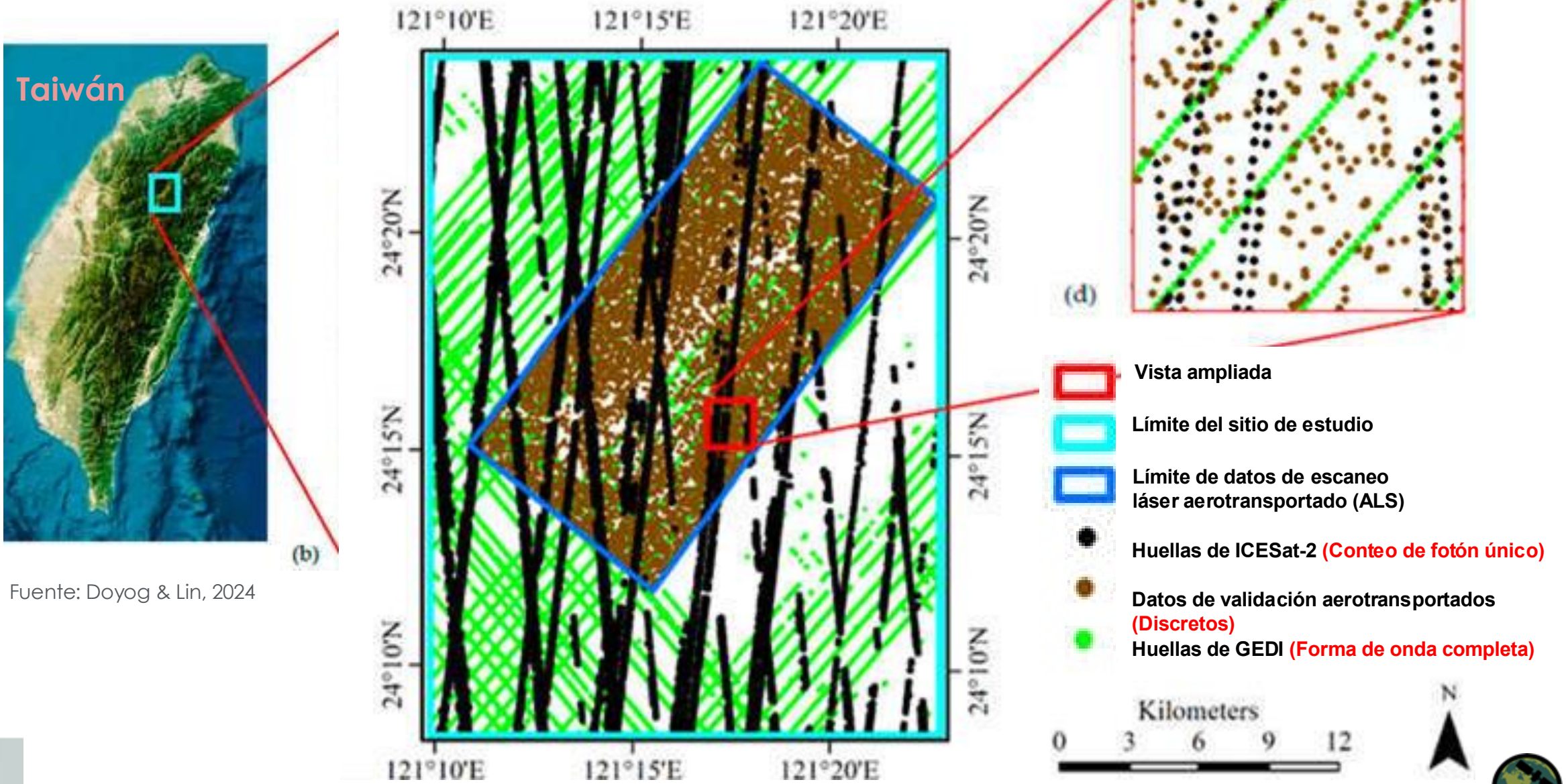
Lidar Discreto



Energía Devuelta

Fuente: NEON

Patrones de Muestreo Espacial de Lidar de Forma de Onda Discreta Versus Lidar de Forma de Onda Completa



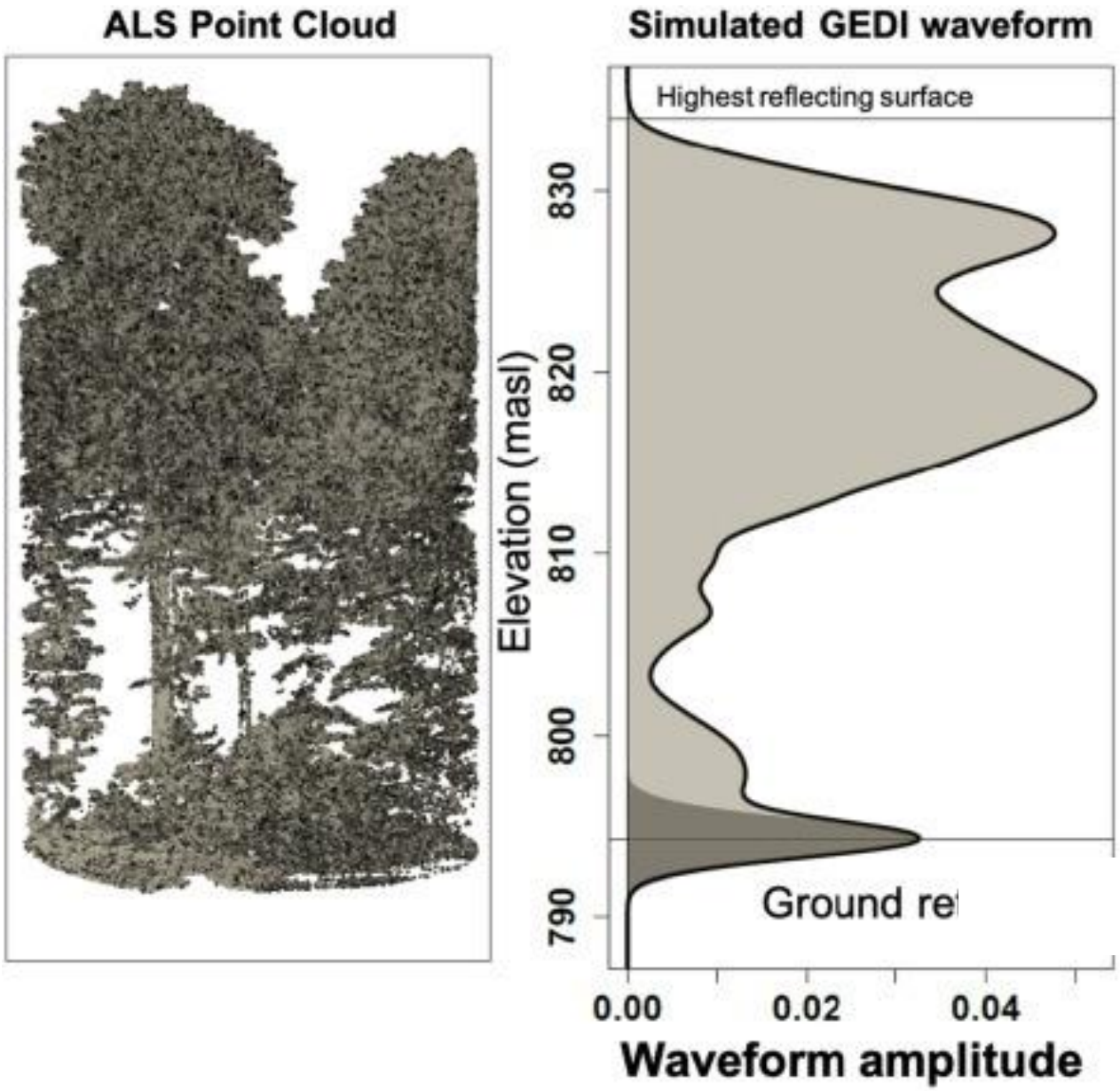
Fuente: Doyog & Lin, 2024

Lidar de Forma de Onda Completa

El Lidar de forma de onda completa captura el **perfil entero** de la energía láser devuelta.

Esto da como resultado una **forma de onda** continua que representa la distribución vertical de todas las superficies que encontró el pulso láser.

Fuente: Duncanson et al., 2021

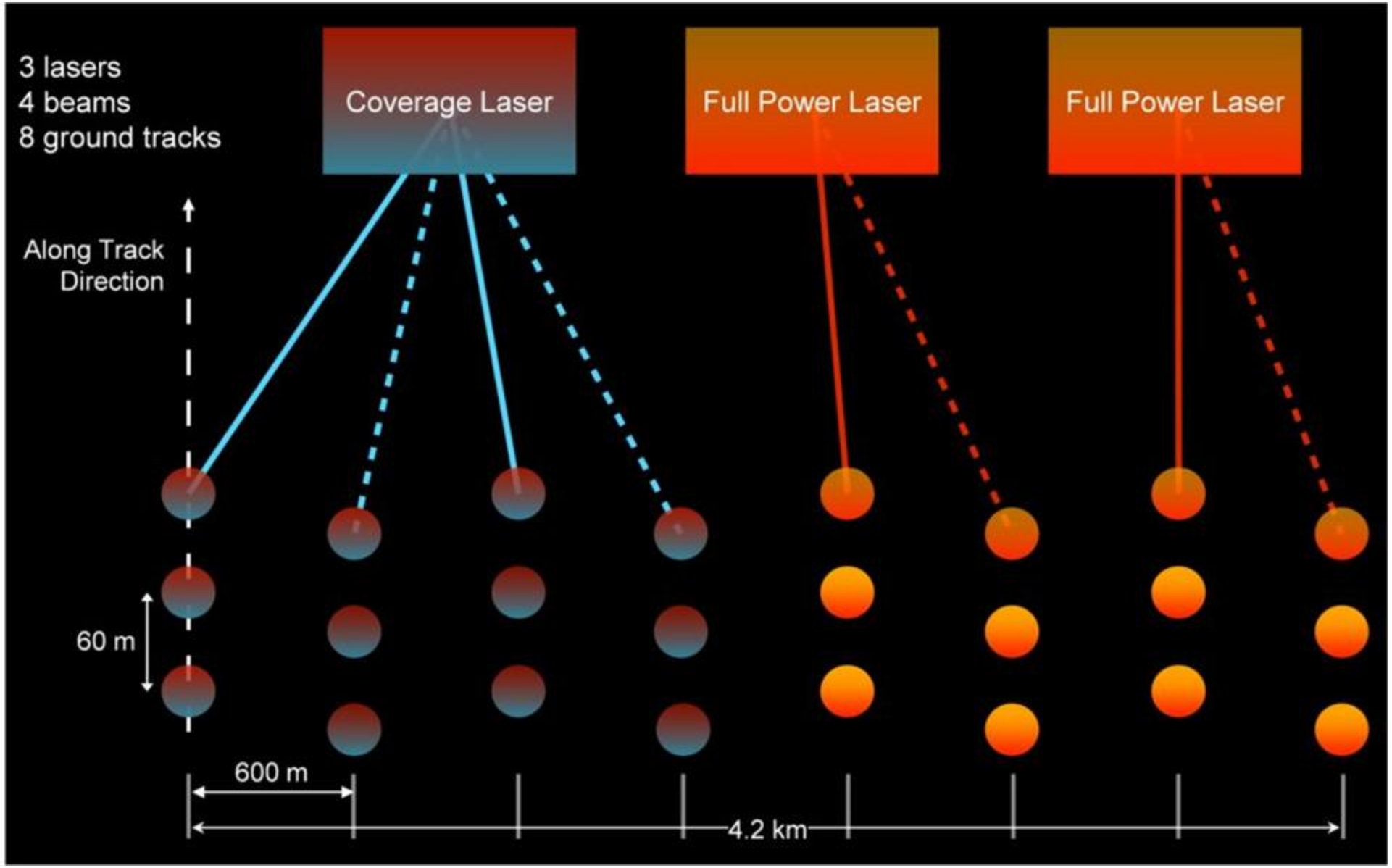


Sección 2: Lidar de Forma de Onda Completa de la Misión GEDI

Descripción General de la Misión GEDI

Fuente: Misión GEDI

Descripción General del Sistema Láser y el Muestreo de GEDI



Fuente:

Misión GEDI

Datos de GEDI (Nivel 1 - Nivel 4)

Nivel	Nombre ATBD	Datos	Resolución
L1A-2A	Transmitir y recibir Interpretación de formas de onda y generación de productos L1A y L2A	1A: Formas de onda sin procesar 2A: Métricas de elevación del suelo, altura de la parte superior del dosel, altura relativa (RH)	Diámetro de 25 m (~82 ft)
L1B	Geolocalización de forma de onda para productos L1 y L2	Formas de onda geolocalizadas	Diámetro de 25 m (~82 ft)
L2B	Métricas de cobertura del dosel, de huella y perfil vertical	Fracción de la cubierta del dosel(CCF), Perfil CCF, Índice de área foliar(LAI), Perfil LAI	Diámetro de 25 m (~82 ft)
L3	Métricas de nivel 2 cuadriculadas	Incluyen la media, la mediana y la desviación estándar para la altura del dosel, la elevación de la superficie y otras características biofísicas.	Cuadrícula de 1 km (~0.6 mi)
L4A	Densidad de biomasa sobre el suelo	Nivel de huella sobre la biomasa aérea	Cuadrícula de 25 m (~82 ft)
L4B	Producto de biomasa cuadriculado	Densidad de biomasa sobre el suelo cuadriculada(AGBD)	Cuadrícula de 1 km (~0.6 mi)

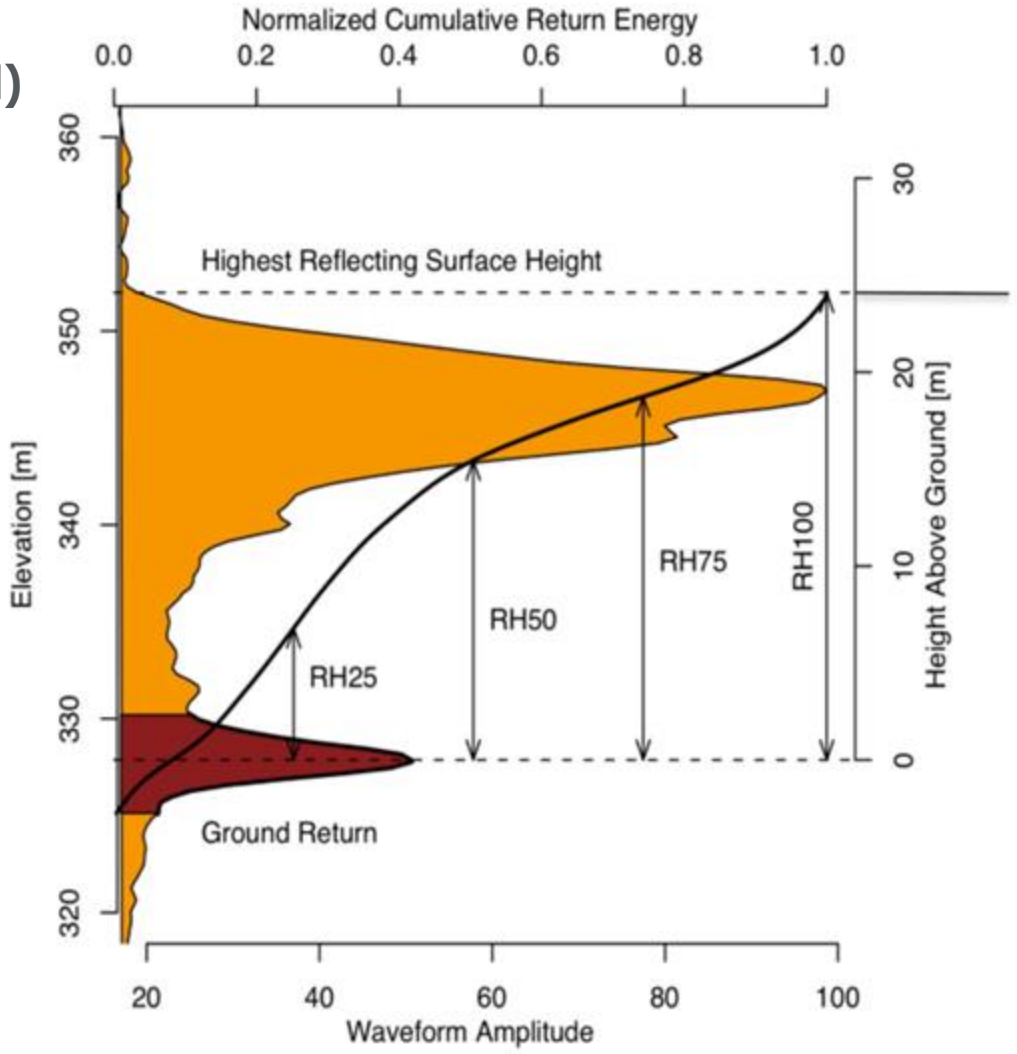
Capacitación de la Sesión 1:

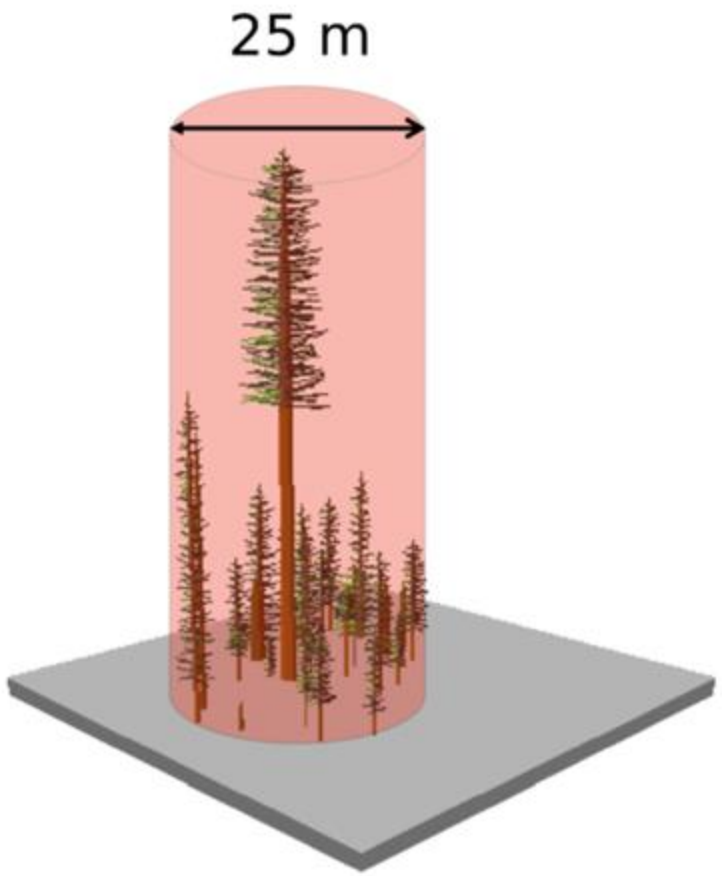
Nivel 1B & Nivel 2A

Para obtener más detalles sobre las metodologías matemáticas y de modelación, acceda a los documentos de base teórica de algoritmos de GEDI (ATBDs).

¿Qué Información Podemos Obtener de una Forma de Onda?

Métricas de altura relativa (RH)
Cuantifican la estructura vertical de la vegetación calculando la altura a la que se alcanza un porcentaje específico (cuantil) de la energía láser total devuelta al sensor, en relación con la superficie del suelo.



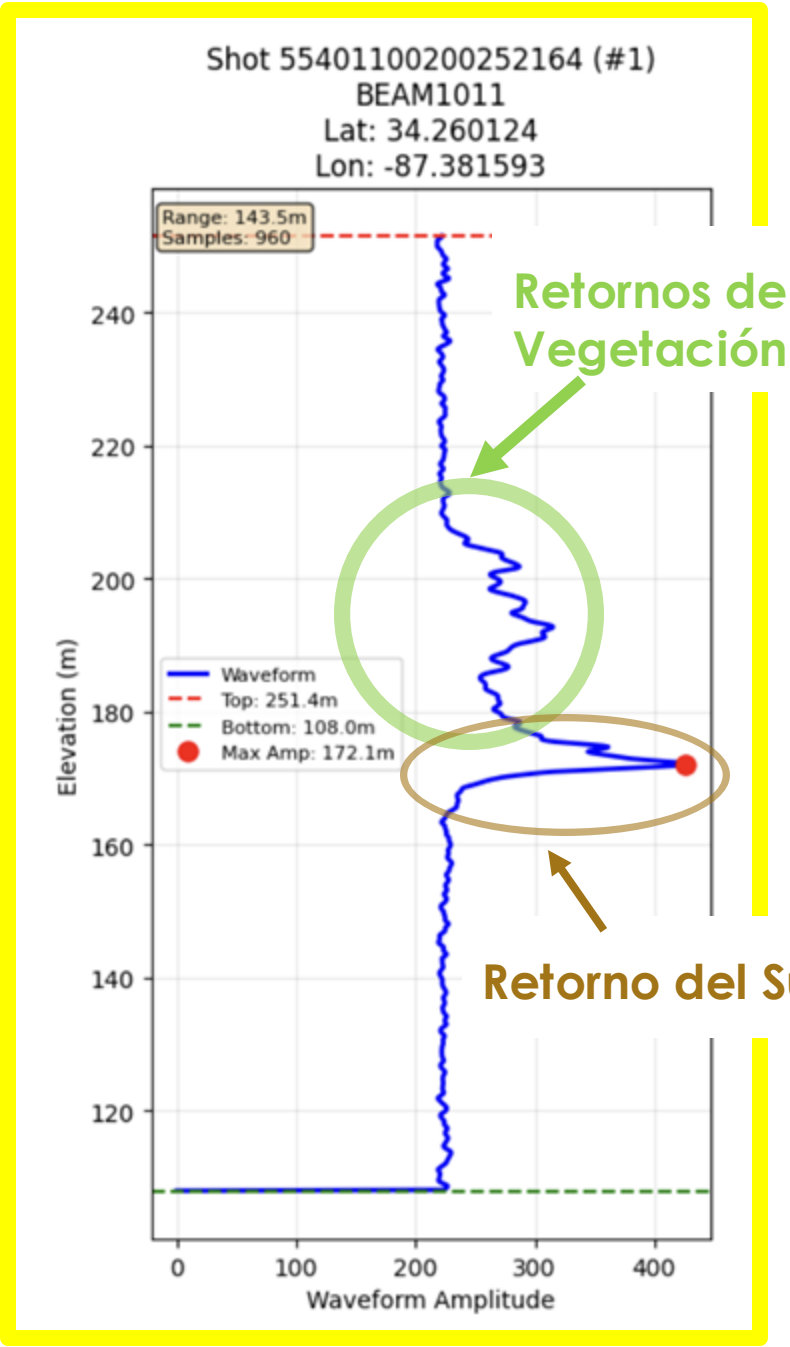


Fuente: GEDI mission

Forma de Onda de GEDI – Ejemplo 1

Fuerte retorno por encima del suelo

Bosque Nacional Bankhead, Alabama, EE.UU.



Forma de Onda de GEDI – Ejemplo 2

Retorno más débil por encima del suelo, fuerte retorno desde el suelo

Bosque Nacional Bankhead, Alabama, EE.UU.

Forma de Onda de GEDI – Ejemplo 3

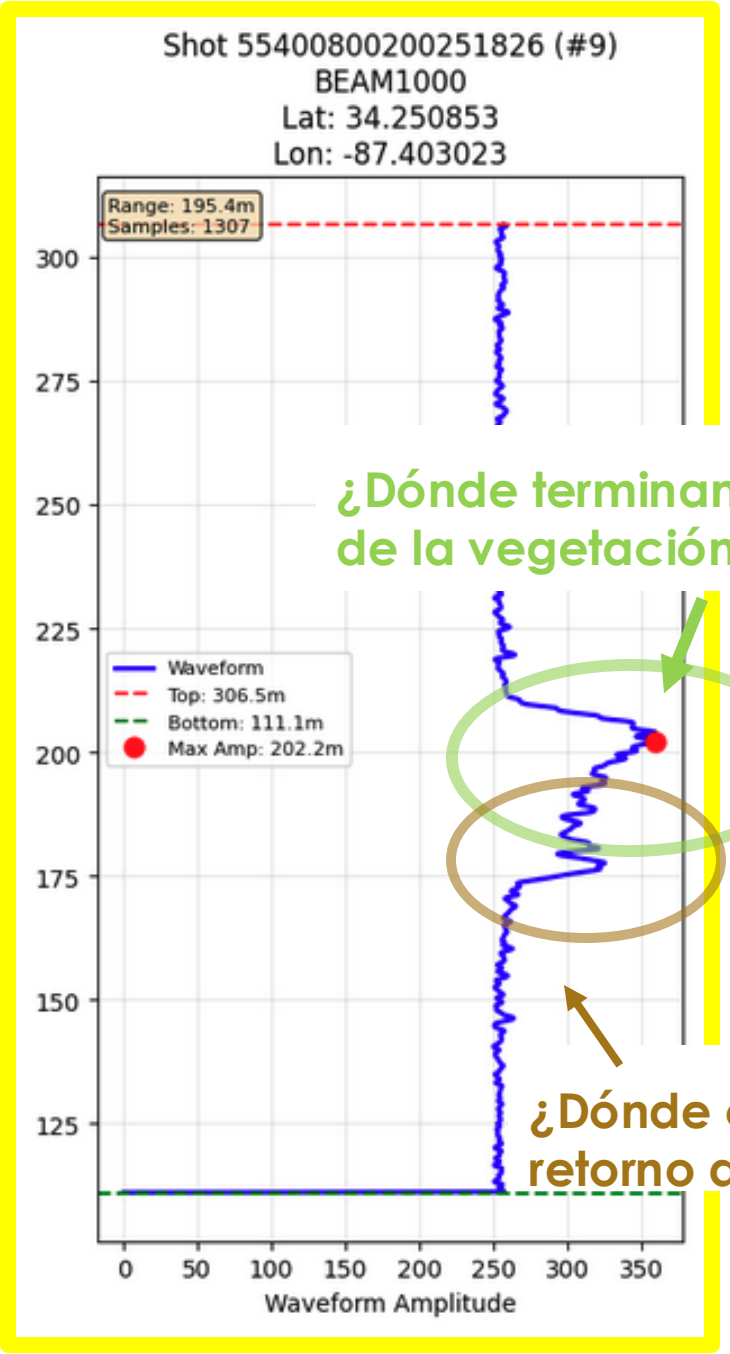
Sin retorno por encima el suelo, solo retorno desde el suelo

Bosque Nacional Bankhead, Alabama, EE.UU.

Forma de Onda de GEDI – Ejemplo 4

No está claro si el retorno proviene del suelo o de la vegetacion

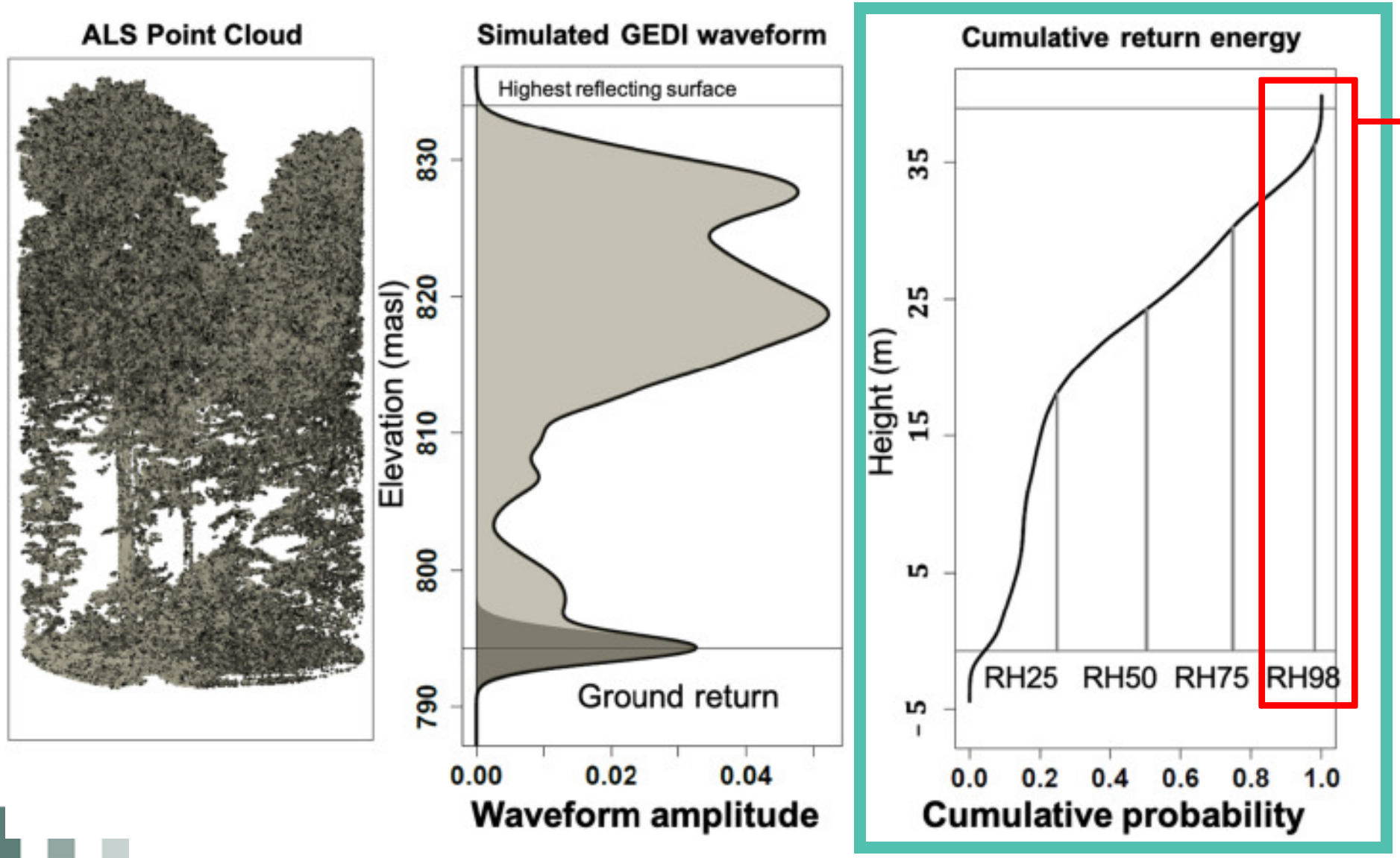
Bosque Nacional Bankhead, Alabama, EE.UU.



¿Dónde terminan los retornos de la vegetación aérea?

¿Dónde comienza el retorno del suelo?

Métricas de Altura Relativa (RH)

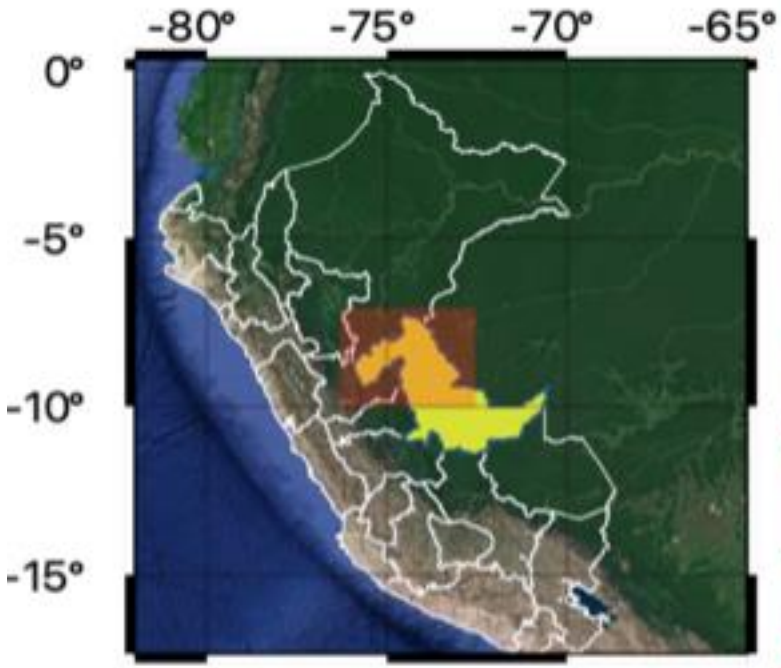


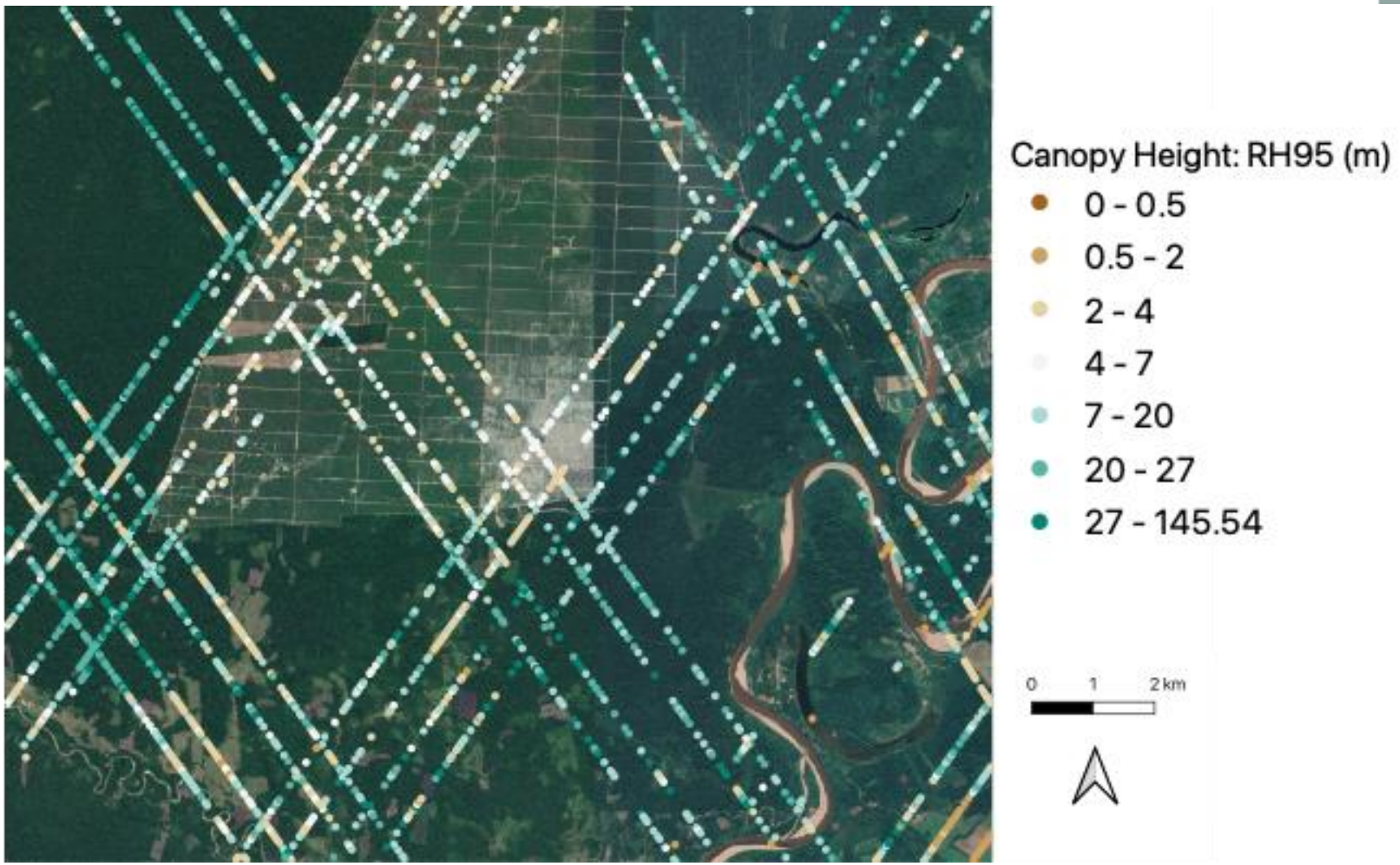
Altura del dosel
(RH95-100)

Resumen: Las métricas de RH cuantifican la estructura vertical de la vegetación calculando la altura a la que se alcanza un porcentaje específico (cuantil) de la energía láser total devuelta al sensor, en relación con la superficie del suelo.

Fuente: Duncanson et al., 2021

Mapeo de la Altura del Dosel: RH95



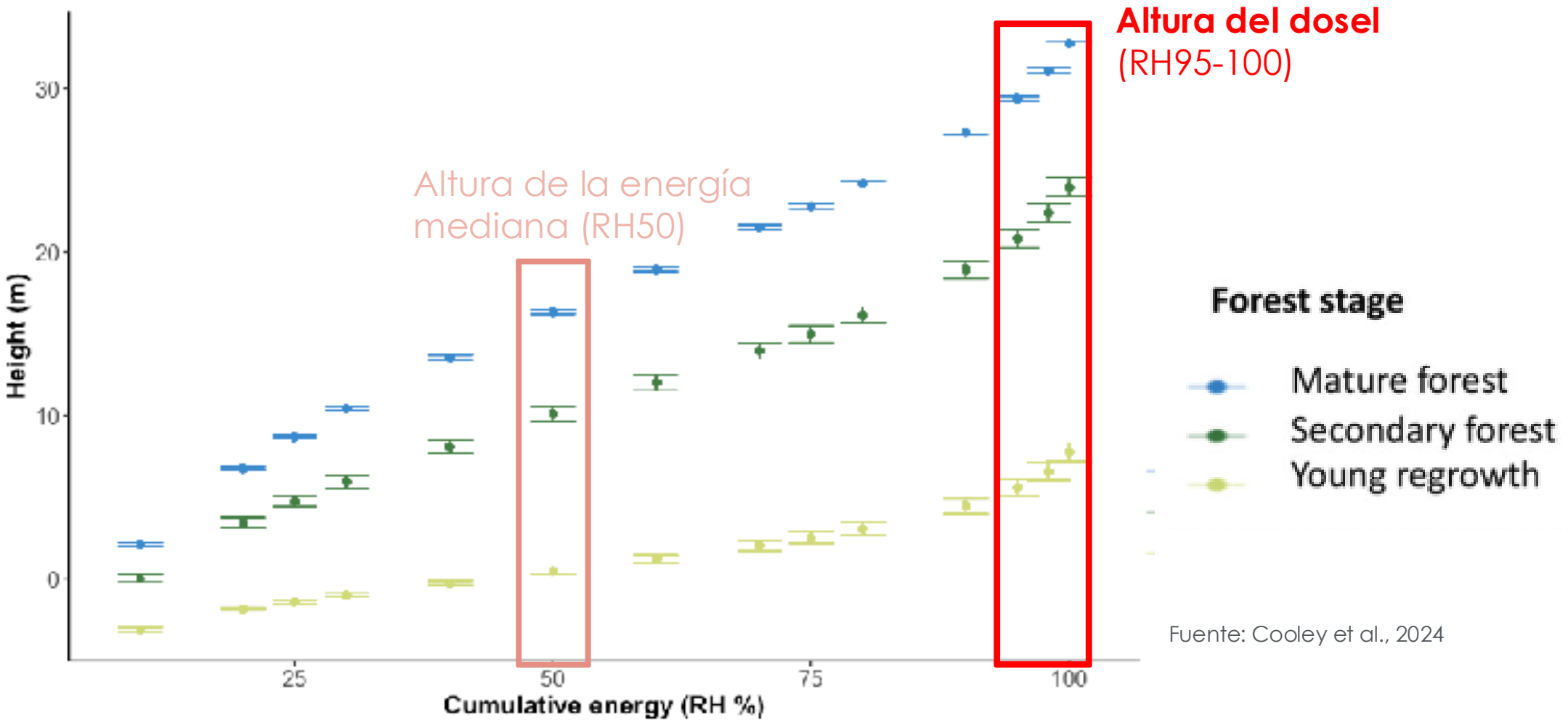


Fuente: Cooley et al., 2024

Trazado de Métricas de Altura Relativa (RH) para Regenerar Clases de Bosque

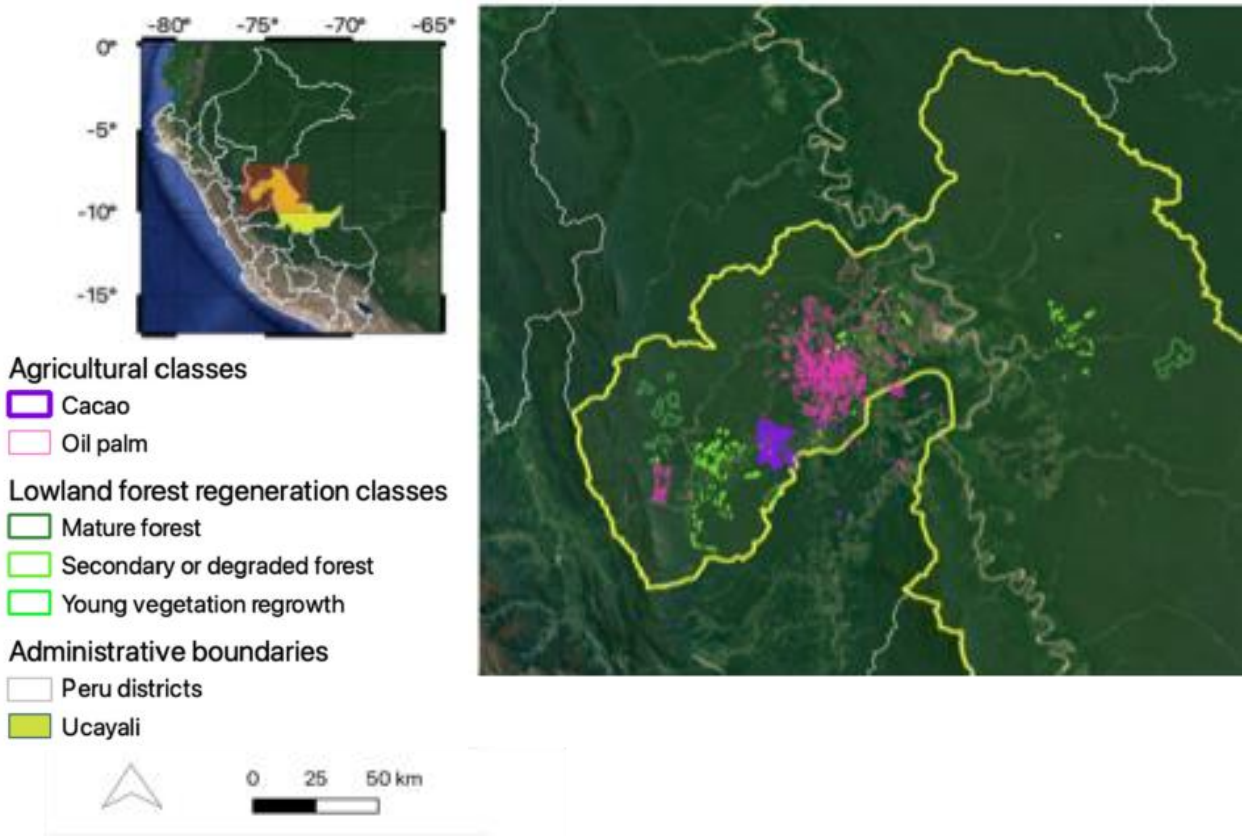
Perfiles de energía acumulada con métricas de RH de GEDI

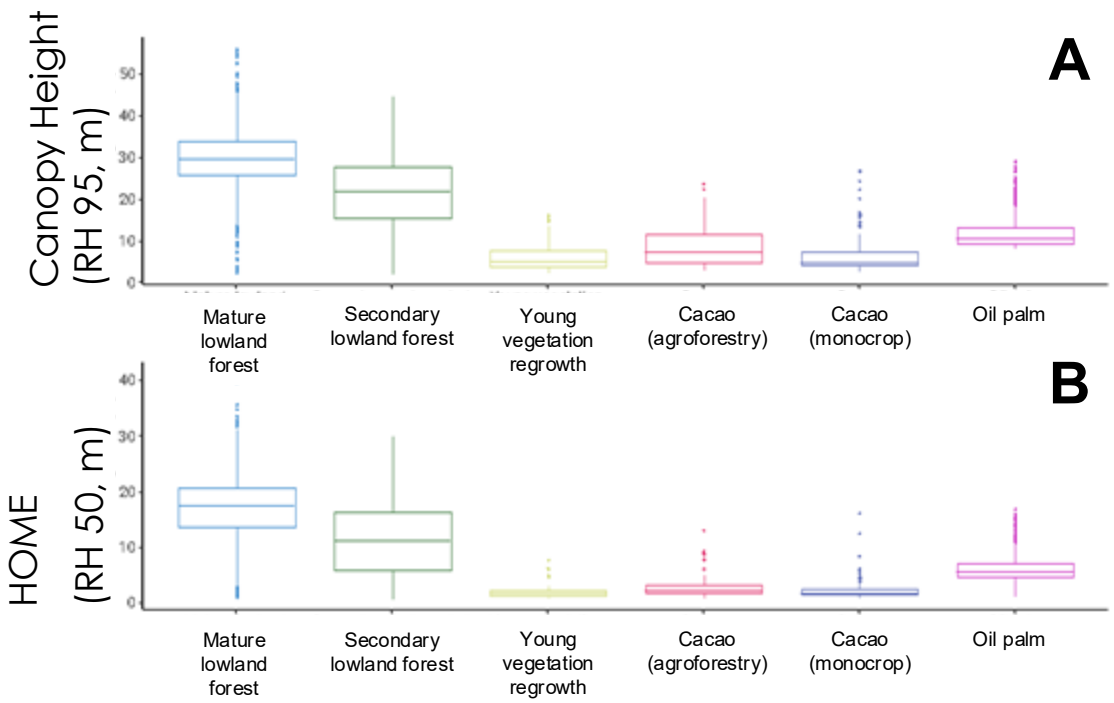
Revela diferencias estructurales entre las clases de bosques en Ucayali, Perú



Fuente: Cooley et al., 2024

Métricas de Altura Relativa (RH) Comparadas en Múltiples Usos del Suelo

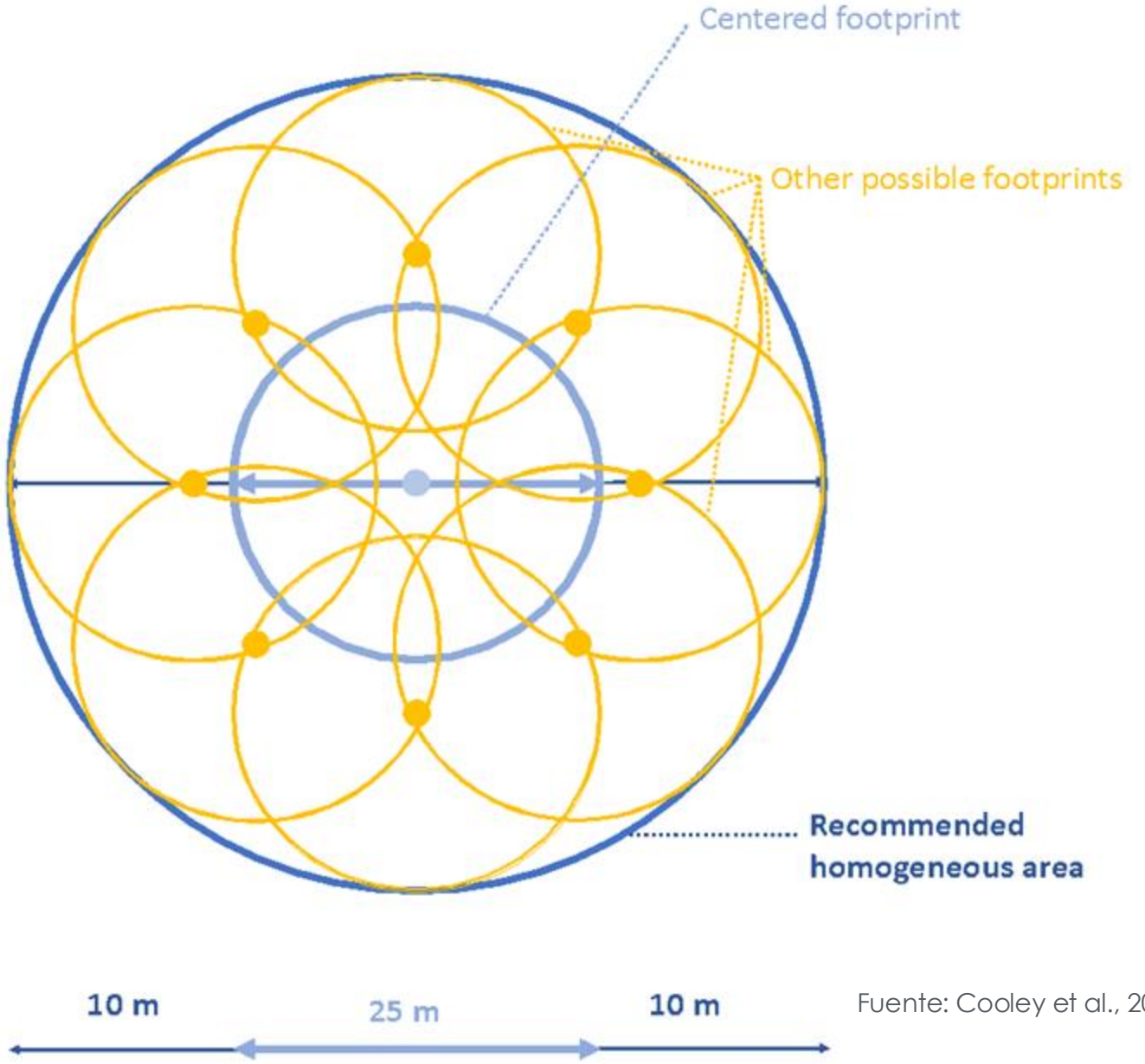




Fuente: Cooley et al., 2024

Limitaciones del Lidar de Forma de Onda Completa Espacial

- Error de geolocalización
- No puede penetrar a través de las nubes
- Limitaciones en penetrar el dosel
- Cobertura espacial basada en el muestreo
- Resolución temporal limitada
- Contaminación de forma de onda inducida por la pendiente



Fuente: Cooley et al., 2024

Primera Ronda de Preguntas y Respuestas(15 min)

Sección 3: Aplicaciones Prácticas de Ecosistemas Forestales con Datos de Forma de Onda Completa de GEDI

Ejercicio 1: Búsqueda Espacial de Archivos de GEDI L1B, Aplicación de Filtros de Control de Calidad y Trazado de Formas de Onda

Objetivo

- Acceder, filtrar y visualizar datos de forma de onda completa de GEDI de Nivel 1B utilizando las API de Earthdata de la NASA. Interpretar las características de la forma de onda para un análisis de la estructura de la vegetación.

Actividades

- Pasos de preparación: 1) Clonar el repositorio de GitHub, 2) Instalar las bibliotecas necesarias, 3) Montar su Google Drive, 4) Autenticarse con las credenciales de inicio de sesión de NASA Earthdata, 5) Buscar gránulos GEDI Nivel 1B con la biblioteca de Python earthaccess, 6) Descargar los datos de GEDI en el entorno en la nube de Google Colab para el área de interés especificada, 7) Aplicar el filtrado de control de calidad mediante campos quality_flag y degrade_flag, 8)Trazar formas de onda sin procesar para múltiples huellas, 9) Identificar e interpretar las señales de retorno desde la tierra frente a los retornos del dosel.

Área de interés (AOI)

- Bosque Nacional Bankhead, Alabama, EE.UU.
- El cuadro delimitador de latitud / longitud predeterminado se puede cambiar a su propia AOI si clona el repositorio de Github y modifica su copia local del código .ipynb de Colab

Periodo de tiempo

- start_date = "2019-04-01"
- end_date = "2025-10-3"

Ejercicio 2: Buscar Datos de GEDI, Trazar Métricas de RH y Relaciones de RH

Objetivo

- Acceder, filtrar y visualizar métricas de altura relativa (RH) de GEDI de Nivel 2A utilizando las API de Earthdata de la NASA y la herramienta Harmony
  Interpretar métricas de RH para el análisis de la estructura de la vegetación

Actividades

Usaremos un cuaderno de Google Colab para:

- Buscar productos de GEDI L2A
- Aplicación de la herramienta Harmony para realizar un subconjunto especial
- Seleccionar formas de onda basadas en métricas de Calidad
- Mostrar resultados para visualizar tendencias espaciales en las métricas de altura y RH del dosel
- Evaluar las diferencias en la estructura entre los sitios forestales maduros y los sitios agrícolas en el Bosque Atlántico en el este de Brasil

Área de interés (AOI)

- Áreas de bosques maduros y áreas agrícolas en el Bosque Atlántico brasileño

- El cuadro delimitador de latitud / longitud predeterminado se puede cambiar a su propia AOI si clona el repositorio de Github y modifica su copia local del código .ipynb de Colab.

Periodo de tiempo

- start_date = "2019-04-01"
- end_date = "2025-10-3"

Sesión 1: Introducción al Lidar de Forma de Onda Completa

Resumen

Resumen

- **Fundamentos del Lidar:** Sensor activo que mide la distancia mediante el tiempo de vuelo de un láser; captura la elevación, la altura del dosel y la estructura de la vegetación en 3D
- **Ventajas de la forma de onda completa:** Registra el perfil energético completo (no solo los picos), revelando la distribución vertical de la vegetación en un espacio de 25 m
- **Misión GEDI:** Lidar espacial basado en la ISS con 8 pistas paralelas que cubren ±51,6° de latitud; genera datos con una huella de 25 m y cuadriculados a 1 km
- **Métricas de altura relativa (RH):** Cuantifican la estructura del dosel: RH95 mide la altura del dosel, RH50 mide las características del sotobosque, las proporciones revelan capas
- **Limitaciones clave:** ±10 m de incertidumbre de geolocalización, no puede penetrar a través de las nubes, muestreo discreto de la pista (no tiene cobertura de pared a pared), revisitas temporales limitadas
- **Habilidades prácticas:** Acceso a datos terrestres autenticados de la NASA, datos GEDI L1B / L2A descargados y filtrados, formas de onda trazadas, estructura de la vegetación interpretada a partir de los patrones en la señal

La Sesión 2

En la Sesión 2, Ud. podrá:

- Describir las fortalezas y limitaciones de la misión GEDI y sus datos.
- Identificar los datos de GEDI y sus características para la elevación, la altura del dosel, la estructura de la vegetación y la biomasa.
- Acceder y visualizar e datos de GEDI – incluyendo la elevación, la altura del dosel, la estructura de la vegetación y la biomasa – para un área de interés utilizando herramientas de acceso abierto.

Recursos

- Cooley, S. S., Pinto, N., Becerra, M., Alvarado, J. W. V., Fahlen, J. C., Rivera, O., Fricker, G. A., Dantas, A. R. D. L. R., Aguilar-Amuchastegui, N., Reygadas, Y., Gan, J., DeFries, R., y Menge, D. N. L. (2024). Combining spaceborne lidar from the Global Ecosystem Dynamics Investigation with local knowledge for monitoring fragmented tropical landscapes: A case study in the forest–agriculture interface of Ucayali, Peru. Ecology and Evolution, 14, e70116. https://doi.org/10.1002/ece3.70116
- Doyog, N. D., y Lin, C. (2024). Generating Wall-to-Wall Canopy Height Information from Discrete Data Provided by Spaceborne LiDAR System. Forests, 15(3), 482.
- Dubayah, R., Blair, J. B., Goetz, S., Fatoyinbo, L., Hansen, M., Healey, S., Hofton, M., Hurtt, G., Kellner, J., Luthcke, S., Armston, J., Tang, H., Duncanson, L., Hancock, S., Jantz, P., Marselis, S., Patterson, P. L., Qi, W., y Silva, C. (2020). The global ecosystem dynamics investigation: High-resolution laser ranging of the Earth's forests and topography. Science of Remote Sensing, 1, 100002.
- Kellner, J. R., Armston, J., y Duncanson, L. (2021). Algorithm theoretical basis document (ATBD) for GEDI level-4A (L4A) footprint level aboveground biomass density. University of Maryland.
- Potapov, P., Li, X., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Hansen, M. C., Kommareddy, A., Pickens, A., Turubanova, S., Tang, H., Silva, C. E., Armston, J., Dubayah, R., Blair, J. B., y Hofton, M. (2021). Mapping global forest canopy height through integration of GEDI and Landsat data. Remote Sensing of Environment, 253, 112165.
- Wulder, M. A., White, J. C., Nelson, R. F., Næsset, E., Ørka, H. O., Coops, N. C., Hilker, T., Bater, C. W., y Gobakken, T. (2012). Lidar sampling for large-area forest characterization: A review. Remote Sensing of Environment, 121, 196-209.

Tarea y Certificados

- **Tarea:**
  - Se asignará una tarea
  - Estará disponible a partir del 6 de noviembre de 2025
  - Se podrá acceder desde la página web de la capacitación
  - Las respuestas deberán enviarse a través del Formulario de Google
  - **Fecha de entrega: 20 de noviembre de 2025**

- **Certificado de Finalización de Curso:**
  - Asistir a los tres seminarios web en vivo (la asistencia se registra automáticamente).
  - Completar la tarea antes de la fecha límite establecida.
  - El certificado se enviará por correo electrónico aproximadamente dos meses después de completar el curso.

Datos de Contacto

Instructores:

- Savannah Cooley
  - savannah.cooley@nasa.gov
- Naiara Pinto
  - naiara.printo@jpl.nasa.gov

- Página web de ARSET
- ARSET en YouTube

¡Gracias!

Segunda Ronda de Preguntas y Respuestas (15 min)