

TRÓPICOS

MAGAZINE OF THE SMITHSONIAN TROPICAL RESEARCH INSTITUTE / REVISTA DEL INSTITUTO SMITHSONIAN DE INVESTIGACIONES TROPICALES

THINK LIKE A FOREST PIENSA COMO UN BOSQUE



ForestGEO
GLOBAL EARTH OBSERVATORY NETWORK



Smithsonian Tropical Research Institute

Volume 2: Issue 2 | stri.si.edu

Volumen 2: Edición 2



Photo by | Foto por: **Christian Ziegler**



“Determining whether nature is ‘stable’ or ‘unstable’ depends entirely on where the observer stands, on what time scale is chosen...”

“Determinar si la naturaleza es ‘estable’ o ‘inestable’ depende completamente de donde el observador esté parado y en la escala de tiempo seleccionada...”

*~ Donald Worster, **Nature’s Economy** (1994)*



PATTERNS OUT OF RANDOMNESS **ENCONTRANDO PATRONES AL AZAR**

How do you study a forest when you can't see it for the trees? In the tropics, an area little bigger than a soccer field can contain 4,000 trunks ranging from the thickness of a thumb to the cross-sectional area of a minibus. Some trees go from seed to sprout to decay in 30 years, while others take a century to reach their place in the canopy and spend centuries more capturing and storing carbon as they expand their trunks and roots. Many species are so rare that a snapshot study of a small slice of forest may not even reveal their presence.

Even in temperate forests, which generally contain fewer species than the tropics, it's not easy to answer questions like: what happens after a wildfire rips through the ecosystem, what happens after an insect outbreak turns the green mountains grey? Factors like climate change and land use change also impact forests. How do we measure what's happening?

Choose a forest field site of some 50 hectares. Map, measure and identify every tree in this area greater than a thumb-width in diameter, a census of life and death repeated every five years. Suddenly, a confusion of variables resolves into data points that can be compared against each other. By studying the data, patterns of forest dynamics emerge.

The Center for Tropical Forest Science – Forest Global Earth Observatory operates long-term, large-scale forest plots in 65 locations spread across 26 countries. ForestGEO's scientists study these plots according to the same, standardized protocols. They track in real time the health of the planet's lungs and the cradle of its biodiversity. In this issue of *Trópicos*, we learn more about their work.

¿Cómo podemos estudiar un bosque cuando los árboles impiden la vista? En los trópicos, un área poco más grande que un campo de fútbol puede abarcar 4,000 troncos que van desde el grosor de un dedo pulgar hasta el de un minibus. Algunos árboles se desarrollan de semilla a plántula y eventualmente mueren en un periodo de 30 años, mientras que a otros les toma un siglo para establecerse en el dosel, y pasan más siglos capturando y almacenando carbono a medida que expanden sus troncos y raíces. Muchas especies son tan raras que una muestra instantánea de una pequeña porción de bosque puede no revelar su presencia.

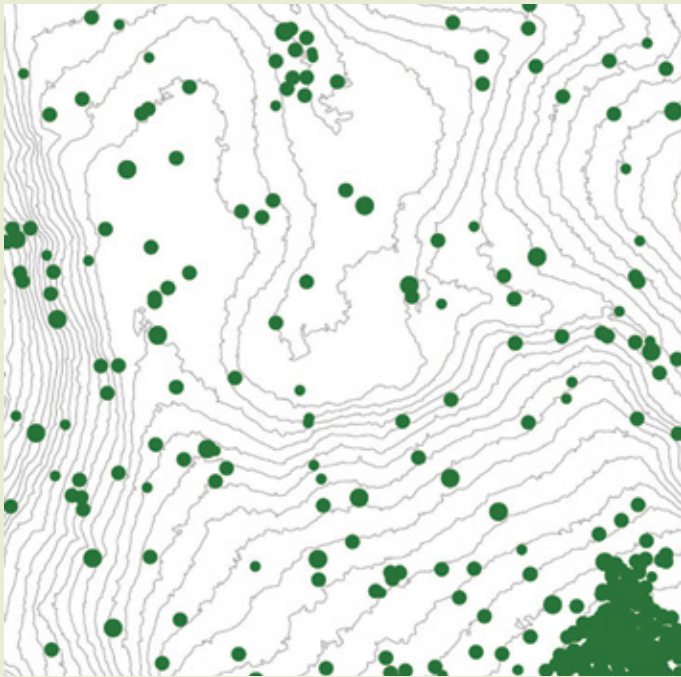
Incluso en los bosques templados, generalmente con menos especies arbóreas, no es fácil responder a interrogantes como: ¿qué sucede después de que un incendio forestal destruye un ecosistema? ¿Qué sucede después que un brote de insectos acaba con el verdor de las montañas? Factores como el cambio climático o cambios en el uso de suelo también afectan a los bosques: ¿cómo medimos lo que está sucediendo?

Podemos escoger una parcela forestal de 50 hectáreas. En un censo de la vida y la muerte de los árboles que se repite cada cinco años, se mapea, se mide e identifica cada árbol en esta área con un diámetro de más de un pulgar. De repente, una confusión de variables se resuelve en puntos de datos que podemos comparar entre sí. Al estudiar los datos, surgen los patrones de dinámicas forestales.

El Centro de Ciencias Forestales del Trópico-Observatorios Globales de Bosques (ForestGEO) del Instituto Smithsonian opera en parcelas forestales a gran escala y a largo plazo en 65 sitios distribuidos en 26 países. Los científicos de ForestGEO estudian estas parcelas utilizando un protocolo estandarizado. Monitorean en tiempo real la salud de los pulmones del planeta y la cuna de su biodiversidad. En esta edición de *Trópicos*, aprenderemos más sobre su trabajo.



CONTENTS CONTENIDO



Gustavia superba trees in a section of Panama's 50-hectare plot. | Una sección del mapa de árboles de *Gustavia superba* en la parcela de 50 hectáreas en Panamá.



TEAM EQUIPO

Linette Dutari

Associate Director for Communications
Directora Asociada de Comunicaciones

Beth King

Communications manager
Gerente de comunicaciones
Editing | Edición

Geetha Iyer

Edition writer and editor
Editora de la edición
Writing, editing | Redacción, edición

Paulette Guardia

Edition designer
Diseñadora de la edición
Design | Diseño

Lina González

Design supervisor
Supervisora de diseño
Art direction | Dirección de arte

Jorge Alemán

Graphic design specialist
Especialista en diseño gráfico
Design, concept | Diseño,
concept

Sean Mattson

Reporter
Periodista
Photography, interviews |
Fotografía, entrevistas

Sonia Tejada

Media relations
Relaciones con medios
Translations | Traducciones

Ana Endara

Videographer
Videógrafa
Filming, video editing |
Filmación, edición de video

TRÓPICOS

MAGAZINE OF THE SMITHSONIAN TROPICAL RESEARCH INSTITUTE
REVISTA DEL INSTITUTO SMITHSONIAN DE INVESTIGACIONES TROPICALES

6 PLOTTING HISTORY

The globe-trotting roots of a bold idea for forest research
HISTORIA DE LAS PARCELAS
Las raíces de una idea audaz que dio la vuelta al mundo

14 VIDEOS

A chorus of scientists explains "a simple idea"
VÍDEOS
Un coro de científicos explica "una idea simple"

20 OLD-WORLD WONDERS

The everwet forests of Southeast Asia
MARAVILLAS DEL VIEJO MUNDO
Los bosques eternamente húmedos del sudeste asiático

26 NEW SPECIES, ANCIENT ROOTS

In Cameroon, newfound remnants of an Ice Age
NUEVAS ESPECIES, RAÍCES ANTIGUAS
Restos de una era glacial en Camerún

34 GOING NORTH

Lessons for the tropics from temperate forests
HACIA EL NORTE
Lecciones de los bosques templados para los trópicos

42 SKY EYES, FIELD BOOTS

High and low-tech forest science combined
CON LA MIRADA EN EL CIELO, Y BOTAS DE CAMPO
La ciencia forestal de alta y baja tecnología

48 THE FUTURE OF FORESTS

A focus on collaborative research
EL FUTURO DE LOS BOSQUES
Un enfoque en investigación colaborativa

52 MOSAIC

Camera traps catch critters in action
MOSAICO
Las cámaras-trampa capturan a las criaturas en acción

54 REWIND

When ForestGEO was science fiction
REBOBINA
Cuando ForestGEO era ciencia ficción

58 UPWELLINGS

ForestGEO in STRI News
AFLORAMIENTOS
ForestGEO en STRI News

From Panama
De Panamá

Big Plots Big Data

The history of a global forest observatory

Photos by | Fotos por: Sean Mattson, STRI

Grandes parcelas, grandes datos

La historia de una red forestal global

ONE RADICAL IDEA

The 1982 to 1983 El Niño was a historic event. Extreme warming triggered disastrous rains and flooding in Peru and severe drought in Indonesia. In the aftermath of one of the worst dry seasons ever recorded on Barro Colorado Island (BCI) in Panama, scientists from the Smithsonian Tropical Research Institute (STRI) observed a spike in tree deaths five times higher than normal¹. How the forest would recover was an open question.

A few years earlier, ecologists Stephen Hubbell and Robin Foster set up a radical experiment on the island. They started to keep the same kind of actuarial records that insurance companies keep about people's lives. But rather than people, they would census every single tree over a thumb-width in diameter within a tropical forest plot of 50 hectares, recording each tree's location, measuring its girth and identifying it to species. They would repeat the census every five years to track how the forest changed over time.

UNA IDEA RADICAL

El evento de El Niño de 1982 al 1983 fue un acontecimiento histórico. El calentamiento extremo provocó lluvias desastrosas e inundaciones en Perú y sequía severa en Indonesia. Después de una de las peores temporadas secas registradas en Isla Barro Colorado (BCI) en Panamá, los científicos del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI) observaron un aumento cinco veces más alto de lo normal en las muertes de árboles¹. La forma en cómo el bosque se recuperaría era una interrogante abierta.

Unos años antes, los ecólogos Stephen Hubbell y Robin Foster establecieron un experimento radical en la isla. Empezaron a mantener los mismos tipos de registros actuariales que las compañías de seguros mantienen sobre la vida de las personas. Pero en lugar de personas, ellos censarían cada árbol que tuviera el diámetro más de un pulgar dentro de un bosque tropical de 50 hectáreas, registrando la ubicación de cada árbol, midiendo su circunferencia e identificándolo por especies. Repetirían el censo cada cinco años para observar cómo el bosque cambiaría con el tiempo.



In 2015, research technician Rolando Perez checks a tree ID tag as part of the eighth consecutive census of the 50-hectare plot on BCI, Panama. En el 2015, el técnico de investigación Rolando Pérez revisa la etiqueta de identificación de un árbol como parte del octavo censo consecutivo de la parcela de 50 hectáreas en BCI, Panamá.

Their task was monumental but necessary—tropical forests are famous for having many more tree species than temperate forests and the majority of these species are quite rare. To understand the forest’s vital statistics—tree survival, growth, reproduction and mortality—scientists would need to study a large number of individuals. A more typical experimental plot of just one hectare might contain 500 trees representing 250 different species.

“So for each species you’d have just a small handful of individuals, and most specimens would be represented by just one or two individuals,” says STRI senior staff scientist Joseph Wright.

Wright was a Smithsonian post-doctoral fellow on BCI when the 50-hectare plot was established, and learned from Foster how to identify species in the massive plot. By 1982, they had counted 240,000 individuals representing 303 species.

The next 25 years of census-taking would provide valuable insights into how each of these trees performed in response to a host of interacting variables—from large-scale events like El Niños to the local impacts of a species-specific plant pest outbreak. The forest would change but, with a “palette” of hundreds of species to choose from, it would show at least some ability to rebound from a disastrous climatic event.

Su tarea era monumental pero necesaria: los bosques tropicales son famosos por tener muchas más especies arbóreas que los bosques templados y la mayoría de estas especies son poco comunes. Para comprender las estadísticas vitales del bosque, la supervivencia de los árboles, el crecimiento, la reproducción y la mortalidad, los científicos tendrían que estudiar a un gran número de individuos. Una parcela experimental típica de una hectárea puede contener 500 árboles que representan 250 especies distintas.

“Para cada especie sólo se tenía un puñado de individuos, y la mayoría de los especímenes eran individuales o dobles”, comenta Joseph Wright, científico de STRI.

Wright era un becario de post doctorado en Isla Barro Colorado cuando la parcela de 50 hectareas fue establecida, y aprendió de Foster cómo identificar especies en la gran parcela. En 1982, habían contado 240,000 individuos que representaban 303 especies.

Los próximos 25 años de censo mostrarían una valiosa visión de cómo cada uno de estos árboles se desarrolla en respuesta a una serie de variables que interactúan—desde eventos a gran escala como El Niño, hasta los impactos locales de un brote específico de plagas de las plantas. El bosque

The strength of the project lies in data gathered the same way at each site

La fuerza del proyecto radica en datos recopilados de la misma manera en cada sitio

FROM MORE TREES TO MORE PLOTS

The 50-hectare plot revolutionized how scientists studied forests. It was 50 times larger than most other tropical forest plots but also included trees much smaller than the size that most scientists normally measured.

“Increasing the number of trees that we measured by several orders of magnitude made it possible to learn much more about the forest because we could do new types of analyses,” says Wright.

Other scientists took notice of the Panama plot. In 1985, a colleague of Hubbell and Foster, Peter Ashton, decided to set up the same experiment in a Malaysian forest. More sites in South and Southeast Asia followed. In 1990, the Center for Tropical Forest Science (CTFS) was established at STRI to coordinate a pan-tropical research network using the same methods to study and compare tropical forests around the world.

The ever-wet forest plot in Pasoh, Malaysia, is located inside a protected research forest—land outside the reserve has been converted to oil palm plantations. The ever-wet plot in Palanan, the Philippines, faces seasonal typhoon activity. Across the globe, Puerto Rico’s Luquillo plot stands in the Caribbean hurricane belt. In Mudumalai, India, botanists contended with elephants that destroyed their plot markers. And at the height of the civil war in the Democratic Republic of Congo, botanist Corneille Ewango hid vital data from the Ituri plot in the trees to protect them from looters.

Despite vast differences in geography, environment, biology and human impacts on these forests, the strength of the CTFS program lay in data gathered in the same way at each site. Liza Comita, Yale assistant professor and STRI research associate, says this is a simple but powerful idea.

cambiaría pero, con una variedad de cientos de especies para elegir, mostraría al menos alguna capacidad de recuperación de un desastroso evento climático.

DE MÁS ÁRBOLES A MÁS PARCELAS

La parcela de 50 hectáreas revolucionó la forma en que los científicos estudiaban los bosques. Era 50 veces más grande que muchas otras parcelas forestales tropicales, pero también incluía árboles mucho más pequeños de los que los científicos normalmente miden.

“Aumentar el número de árboles que medimos en varias órdenes de magnitud hizo posible aprender mucho más sobre el bosque porque nos permitió hacer nuevos tipos de análisis”, comenta Wright.

Otros científicos tomaron nota de la parcela de Panamá. En 1985, un colega de Hubbell y Foster, Peter Ashton, decidió establecer el mismo experimento en un bosque en Malasia. Le siguieron más sitios en el sur y el sudeste de Asia. En 1990, el Centro de Ciencias Forestales del Trópico (CTFS) fue establecido en STRI para coordinar una red de investigación pan-tropical utilizando los mismos métodos para estudiar y comparar los bosques tropicales alrededor del mundo.

La parcela siempre-húmeda en Pasoh, Malasia, está localizada dentro de una reserva protegida para la investigación—el área fuera de la reserva ha sido convertida en fincas de aceite de palma. La parcela siempre-húmeda en Palanan, Filipinas, se enfrenta a la actividad estacional de los tifones. En el otro lado del mundo, la parcela de Luquillo en Puerto Rico se encuentra en el cinturón de huracanes del Caribe. En Mudumalai, India, los botánicos lidiaron con los elefantes que destruían los marcadores de la parcela. Y en el apogeo de la guerra civil en la República Democrática del Congo, el botánico Corneille Ewango escondió en los árboles datos vitales de la parcela de Ituri para protegerlos de los saqueadores.

A pesar de las grandes diferencias geográficas, ambientales, biológicas y de los impactos humanos en estos bosques, la fuerza del programa CTFS radica en los datos recopilados consistentemente en cada sitio. Liza Comita, profesora asistente de Yale y asociada de investigación de STRI, comenta que esta es una idea simple pero poderosa.

“If you measure trees the same way at every site, then you are better able to compare across sites,” she explains. Comita studies the early life stages of trees in the plot network, extending an initiative started by Wright to document seeds and seedling growth, thereby getting a handle on the lifecycle of trees from seed germination to the death of rainforest giants. Other scientists took the CTFS protocol to higher latitudes—adding long-term, large scale forest plots in England, the United States and other temperate sites.

In 2007 to 2008, CTFS evolved into the Smithsonian’s Forest Global Earth Observatory (ForestGEO), a global network of scientists from many different universities and research centers using the same methods to study not only trees, but also soils, weather, insects and vertebrates, flowering, seed production and seedling survival, and carbon stored in living trunks and dead wood. Today, ForestGEO is a pan-institutional initiative led by STRI along with the Smithsonian’s Environmental Research Center (SERC), Conservation Biology Institute (SCBI) and the National Museum of Natural History (NMNH).

EXPONENTIAL FUTURE POTENTIAL

Making use of big data requires international cooperation. ForestGEO coordinates annual workshops bringing together scientists from a surprisingly wide range of disciplines to learn how to manage and analyze large datasets. Comita helps to guide a research subgroup on seed and seedling performance in plots around the world.

“It’s one of the most culturally diverse groups of people you’ve ever sat in a room with, and they’re all coming from different sites with different perspectives on forest dynamics,” she says. “But everybody comes into it having measured their forests in the same way, and that’s extremely powerful as we make comparisons across sites.”

The power of this work is particularly evident in the context of climate change, a phenomenon that influences forests throughout the world.

“Back in 1980, few were focused on global climate change,” says Wright. “People were aware that atmospheric CO₂ was increasing but it just wasn’t on our radar that we were going to see the changes we’re seeing now.”

The past three years have consecutively broken the global heat record in over a century of monitoring.

“Si mides árboles de la misma manera en cada sitio, entonces puedes hacer mejores comparaciones entre los sitios”, explica. Comita estudia los primeros estadios de vida de los árboles en la red de parcelas, extendiéndose en una iniciativa iniciada por Wright para documentar las semillas y el crecimiento de las plántulas, consiguiendo así un control del ciclo de vida de los árboles desde la germinación hasta la muerte de los gigantes de la selva tropical. Otros científicos tomaron el protocolo del CTFS en latitudes más altas, añadiendo parcelas forestales a largo plazo y a gran escala en Inglaterra, Estados Unidos y otros sitios templados.

The power of this work is evident in the context of climate change

El potencial de este trabajo es evidente en el contexto del cambio climático

Entre el 2007 y el 2008, CTFS evolucionó hacia los Observatorios Globales de Bosques Terrestres del Smithsonian (ForestGEO), una red global de científicos de diferentes universidades y centros de investigación que utilizan los mismos métodos para estudiar no sólo los árboles sino también los suelos, el clima, insectos y vertebrados, la producción de semillas y la supervivencia de las plántulas, además del carbono almacenado en troncos vivos y en la madera muerta. En la actualidad, ForestGEO es una iniciativa pan-institucional dirigida por STRI junto con el Centro de Investigación Ambiental del Smithsonian (SERC, por sus siglas en inglés), el Instituto de Biología de la Conservación del Smithsonian (SCBI) y el Museo Nacional de Historia Natural (NMNH) de los EE.UU.

POTENCIAL EXPONENCIAL A FUTURO

Hacer uso de grandes datos requiere cooperación internacional. ForestGEO coordina talleres anuales que reúnen a científicos de una sorprendente y amplia gama de disciplinas para aprender a manejar y analizar grandes conjuntos de datos. Comita ayuda a guiar a un subgrupo de investigadores que se dedican a estudiar semillas y plántulas en parcelas alrededor del mundo.



STRI associate scientist Matteo Detto (foreground) demonstrates micro-climate data collection at the BCI forest plot to the 2015 attendees of a ForestGEO research workshop. El científico asociado de STRI Matteo Detto (en primer plano) demuestra la recopilación de datos sobre el microclima en la parcela forestal BCI a los asistentes de un taller de investigación ForestGEO celebrado en el 2015.

In the past half century alone, global surface temperatures rose more than twice as fast as average. The frequency and severity of extreme events—like drought or rainfall or storms—is predicted to rise as well².

The 2015 to 2016 El Niño coincided with the eighth census of the BCI plot. Since the impacts of the '82-'83 El Niño, data collected from the BCI censuses can be put in context of an international network of large forest plots, with over 6 million trees found across some 26 countries, “from near the Arctic Circle to the Equator,” says Wright. “Against the background of knowing the history of all these trees, how they’ve grown, who’s survived, who’s failed and died—the value of this work is going to increase exponentially.”

New technologies expand the scientists’ ability to understand forests as well: drones and satellites for remote-sensing studies, mass spectral analyzers to look at plant chemical defenses, and the latest genetic tools to study microbes, fungi and more.

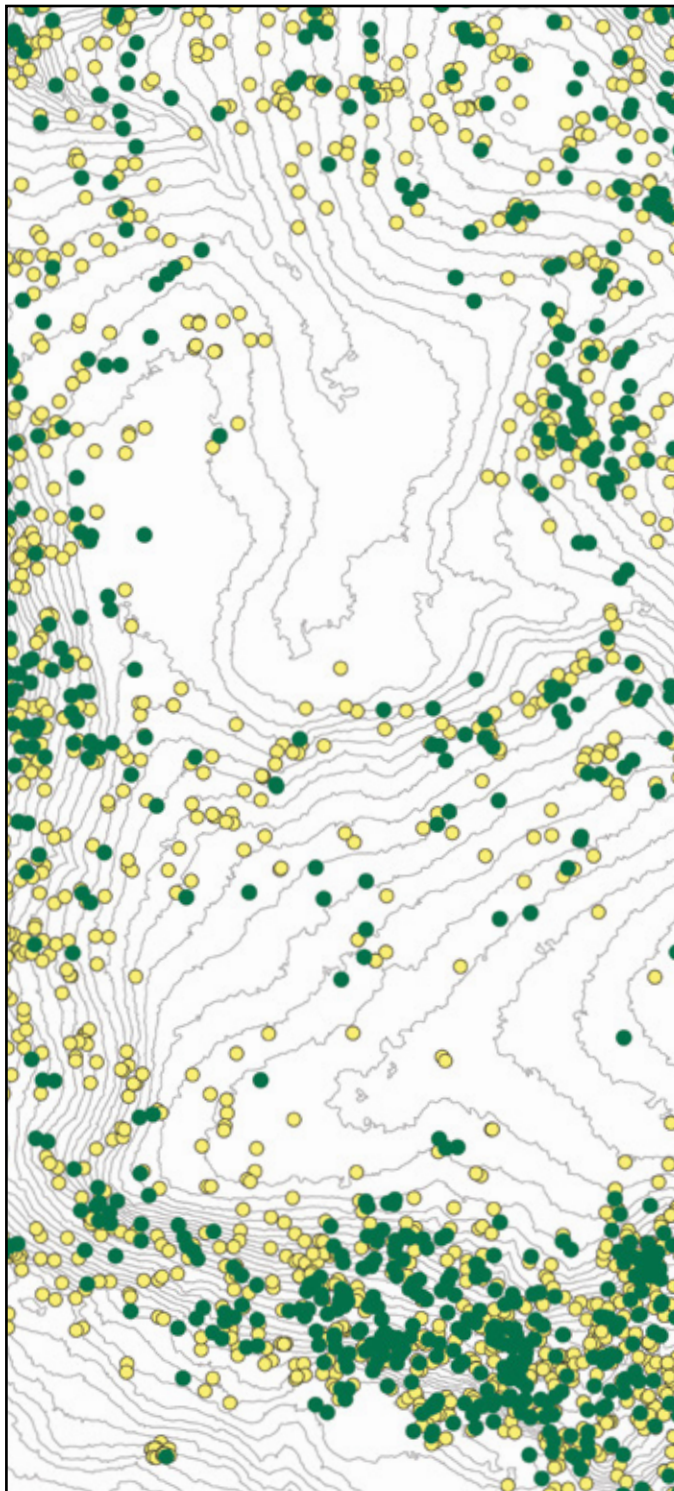
A 2017 special issue of the *Journal of Ecology*³ highlights three separate studies in ForestGEO plots that take advantage of rapid and large-scale

“Es uno de los grupos de personas culturalmente más diversos con los que alguna vez te hayas sentado en una habitación, y todos provienen de distintos sitios, con diferentes perspectivas sobre la dinámica del bosque”, comenta. “Pero todos entran partiendo del hecho de haber medido sus bosques de la misma manera, y eso es extremadamente poderoso cuando hacemos comparaciones entre sitios”.

El potencial de este trabajo es particularmente evidente en el contexto de cambio climático, un fenómeno que influye en los bosques de todo el mundo.

“En 1980, muy pocos se enfocaban en el cambio climático global”, comenta Wright. “La gente era consciente de que el CO₂ atmosférico estaba aumentando, pero simplemente no estaba en nuestro radar que íbamos a ver los cambios que ahora vemos”.

Los últimos tres años consecutivos han roto el récord mundial de calor en más de un siglo de monitoreo. En el último medio siglo, las temperaturas de la superficie mundial aumentaron más del doble que la media. Se prevé que la



The scattered dots on this map of BCI's 50-hectare plot show the locations of a drought-sensitive tree, *Poulsonia armata*. The underlying tight contour lines show steep elevation changes. This species prefers growing on slopes, which tend to be more humid even in Panama's dry season. Green dots represent trees that were alive in 1990 that remain alive as of the 2015 census. Yellow dots represent trees that were alive during the 1990 census but have since died.

Los puntos dispersos en este mapa de la parcela de 50 hectáreas en BCI muestran la ubicación de un árbol sensible a la sequía, la *Poulsonia armata*. Las líneas de contorno cerradas subyacentes muestran cambios pronunciados de elevación. Esta especie prefiere crecer en pendientes, que tienden a ser más húmedas incluso en la estación seca de Panamá. Los puntos verdes representan árboles que estaban vivos en 1990 y que permanecen vivos luego del censo del 2015. Los puntos amarillos representan árboles que estaban vivos durante el censo de 1990, pero que ahora han muerto.

frecuencia y la gravedad de los fenómenos extremos—como la sequía o las lluvias o las tormentas—también aumenten².

El Niño del 2015 al 2016 coincidió con el octavo censo de la parcela BCI. Después de los impactos del fenómeno El Niño de 1982 a 1983, los datos obtenidos de los censos de BCI pueden ser puestos en el contexto de una red internacional de grandes parcelas forestales, con más de 6 millones de árboles encontrados en casi 26 países, “desde cerca del Círculo Polar Ártico hasta el Ecuador”, comenta Wright. “Con el trasfondo de conocer la historia de todos estos árboles, cómo han crecido, cuál ha sobrevivido, cuál falló y murió—el valor de este trabajo va a aumentar exponencialmente”.

Las nuevas tecnologías también amplían la capacidad de los científicos para comprender los bosques: drones y satélites para estudios de teledetección, analizadores espectrales de masa para examinar las defensas químicas de las plantas y las últimas herramientas genéticas para estudiar microbios, hongos y más.

Una edición especial del 2017 del *Journal of Ecology*³ destaca tres estudios separados en parcelas de ForestGEO que aprovechan los analizadores de secuencias de genes rápidos a gran escala para comparar cómo de decenas a cientos de especies en una comunidad forestal se desempeñan a nivel molecular. Esta profunda inmersión en las raíces genéticas de la diversidad y supervivencia de plantas habría sido imposible hace apenas una década. Ahora, esta ayuda a los investigadores a entender los genes relacionados con la fotosíntesis en China⁴, las comunidades de hongos del suelo en Panamá⁵ y los genes de defensa de plantas en Estados Unidos⁶.

gene sequence analyzers to compare how tens to hundreds of species in a forest community perform at a molecular level. This deep dive into the genetic roots of plant diversity and survival would have been impossible just a decade ago. Now, it helps researchers understand genes related to photosynthesis in China⁴, soil fungal communities in Panama⁵ and plant defense genes in the United States⁶.

THE WHOLE IS BIGGER THAN THE SUM

Their sheer size and diversity gives the world's forests the capacity for resilience under pressure. But forests are also intricate, delicate constructs of interacting living and nonliving components, under onslaught from the compounded impacts of destructive forces: hunting, logging, agricultural and urban development, natural fire suppression, invasive species introductions and climate change.

A 2014 research review⁷ led by STRI and SCBI scientist Kristina Anderson-Teixeira noted that studying forests “requir[es] a holistic understanding” of numerous interacting organisms and abiotic processes like nutrient and water cycling. “The broad suite of measurements made at CTFS-ForestGEO sites makes it possible to understand the complex ways in which global change is impacting forest dynamics.” The data are adding up, telling stories of the vitality and vulnerability of forests in the years to come.

EL TODO ES MÁS GRANDE QUE LA SUMA

Su gran tamaño y diversidad dan a los bosques del mundo la capacidad de resiliencia bajo presión. Pero los bosques son también intrincadas y delicadas creaciones de componentes vivientes y no vivientes que interactúan bajo el impacto de las fuerzas destructivas: la caza, la extracción maderera, el desarrollo agrícola y urbano, la represión de incendios naturales, la introducción de especies invasoras y el cambio climático.

Una investigación del 2014⁷ dirigida por la científica Kristina Anderson-Teixeira de STRI y SCBI señaló que el estudio de los bosques “requiere una comprensión holística” de las interacciones de numerosos organismos y procesos abióticos como el ciclo de nutrientes y el agua. “El amplio conjunto de mediciones realizadas en los sitios CTFS-ForestGEO permite comprender las complejas formas en que el cambio global está afectando la dinámica forestal”. Los datos se suman, contando historias de la vitalidad y vulnerabilidad de los bosques en los años por venir.

¹ Leigh, E. G., Jr., Windsor, D. M., Rand, A. S. and Foster, R. B. 1990. The impact of the 'El Niño' drought of 1982–1983 on a Panamanian semideciduous forest. *Elsevier Oceanography Series* 52, 473–486. DOI: 10.1016/S0422-9894(08)70046-1

² Climate Prediction Center, *National Oceanic and Atmospheric Administration*. cpc.noaa.gov

³ Swenson, N. G. and Jones, F. A. 2017. Community transcriptomics, genomics and the problem of species co-occurrence. *Journal of Ecology* 105, 563–568. DOI: 10.1111/1365-2745.12771

⁴ Han, B., Umaña, M. N., Mi, X., Liu, X., Chen, L., Wang, Y., Liang, Y., Wei, W., and Ma, K. 2017. The role of transcriptomes linked with responses to light environment on seedling mortality in a subtropical forest, China. *Journal of Ecology* 105, 592–601. DOI: 10.1111/1365-2745.12760

⁵ Schappe, T., Albornoz, F. E., Turner, B. L., Neat, A., Condit, R., and Jones, F. A. 2017. The role of soil chemistry and plant neighborhoods in structuring fungal communities in three Panamanian rainforests. *Journal of Ecology* 105, 569–579. DOI: 10.1111/1365-2745.12752

⁶ Zambrano, J., Iida, Y., Howe, R., Lin, L., Umaña, M. N., Wolf, A., Worthy, S. J., and Swenson, N. G. 2017. Neighborhood defense gene similarity effects on tree performance: a community transcriptomic approach. *Journal of Ecology* 105, 616–626. DOI: 10.1111/1365-2745.12765

⁷ Anderson-Teixeira, K. J., Davies, S. J., Bennett, A. C., Gonzalez-Akre, E., Muller-Landau, H. C., Wright, S. J., Abu Salim, K., Almeyda Zambrano, A. M., Alonso, A., Baltzer, J. L., Basset, Y., Bourg, N. A., Broadbent, E. N., Brockelman, W. Y., Bunyavejchewin, S., Burslem, D. F. R. P., Butt, N., Cao, M., Cardenas, D., Chuyong, G. B., Clay, K., Cordell, S., Dattaraja, H. S., Deng, X., Detto, M., et al. 2014. CTFS-ForestGEO: a worldwide network monitoring forests in an era of global change. *Global Change Biology*. DOI 10.1111/gcb



WATCH THE VIDEOS

VEA LOS VIDEOS



WHAT DOES A GLOBAL CONVERSATION ON THE FUTURE OF FORESTS LOOK LIKE?

We asked researchers from the ForestGEO network to explain how a simple idea can blossom into a powerful tool to study some of the most complex ecosystems on Earth.

¿CÓMO SERÍA UNA CONVERSACIÓN GLOBAL SOBRE EL FUTURO DE LOS BOSQUES?

Pedimos a los investigadores de la red ForestGEO que explicaran cómo una simple idea puede convertirse en una poderosa herramienta para estudiar algunos de los ecosistemas más complejos de la Tierra.



“A SIMPLE IDEA”

On YouTube’s Smithsonian Tropical Research Institute channel

En el canal de YouTube del “Smithsonian Tropical Research Institute”

ForestGEO

GLOBAL EARTH OBSERVATORY NETWORK

The ForestGEO network is directed by Stuart J. Davies, the Frank H. Levinson Chair in Global Forest Science and a senior staff scientist at the Smithsonian Tropical Research Institute. To address issues such as climate change, rising CO₂ levels, human population growth and dramatic land-use changes, ForestGEO seeks to answer such questions as:

- How do forests store carbon, water and food?
- How will forest storage capacity change in the future?
- How do forests generate and maintain their incredible diversity?
- How do we quantify the value of forests in land-use planning?

La red de ForestGEO está dirigida por Stuart J. Davies, Frank H. Levinson Chair en Ciencia Forestal Mundial y científico del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales. Para abordar temas como el cambio climático, el aumento de los niveles de CO₂, el crecimiento de la población humana y los dramáticos cambios en el uso de la tierra, ForestGEO busca responder a estas interrogantes:

- ¿Cómo almacenan los bosques el carbono, el agua y los alimentos?
- ¿Cómo cambiará la capacidad de almacenamiento forestal en el futuro?
- ¿Cómo los bosques generan y mantienen su increíble diversidad?
- ¿Cómo cuantificamos el valor de los bosques en la planificación del uso de la tierra?

REGIONAL COORDINATORS | COORDINADORES REGIONALES



The Asia Program includes nearly 30 plots in China, Thailand, Taiwan, Malaysia, the Philippines, India, Sri Lanka, Singapore and Brunei. Coordinator **Stuart Davies** studies ecological and evolutionary influences on variation in tropical rainforests, with particular expertise in the forests of Southeast Asia.

El Programa de Asia incluye casi 30 parcelas en China, Tailandia, Taiwán, Malasia, Filipinas, India, Sri Lanka, Singapur y Brunei. El coordinador **Stuart Davies** estudia las influencias ecológicas y evolutivas sobre la variación de los bosques tropicales, con especial experiencia en los bosques del sudeste asiático.



The Africa Program includes forest plots in Cameroon, the Democratic Republic of Congo, Gabon, Kenya and Nigeria. Coordinator **David Kenfack** researches the evolutionary history of plant groups unique to the region, using a combination of physical characteristics, molecular, ecological and spatial data.

El Programa de África incluye parcelas forestales en Camerún, la República Democrática del Congo, Gabón, Kenia y Nigeria. El coordinador **David Kenfack** investiga la historia evolutiva de grupos de plantas únicas de la región, utilizando una combinación de características físicas, datos moleculares, ecológicos y espaciales.



The Temperate Program includes 19 plots in North America and Europe, and several partner plots in China. Coordinator **Sean McMahon** studies forest growth, mortality and recruitment in a changing climate, and the use of these data to model climate and carbon movement between forests and atmosphere.

El Programa Templado incluye 19 parcelas en América del Norte y Europa, además de varias parcelas asociadas en China. El coordinador **Sean McMahon** estudia el crecimiento del bosque, la mortalidad y el reclutamiento en un clima cambiante, y el uso de estos datos para modelar el clima y el movimiento de carbono entre los bosques y la atmósfera.

SCIENCE INITIATIVES | INICIATIVAS CIENTÍFICAS

ForestGEO pursues several science initiatives, asking research questions about specific aspects of forest functions and dynamics. We highlight a few:

ForestGEO lleva a cabo varias iniciativas científicas para cuestionar aspectos específicos de las funciones y dinámicas forestales. Destacamos algunos:

Ecosystems and climate

Ecosistemas y clima



How do forests maintain diversity? How does increased nitrogen from pollution affect forest growth? How does the soil nutrient phosphorus control plant species distributions? How do pollinating insects influence plant populations and how does animal hunting cause local tree diversity to decline? Led by **Kristina Anderson-Teixeira**, staff scientist at the Smithsonian Conservation Biology Institute, this initiative coordinates a range of micrometeorology and ecosystem ecology measurements across ForestGEO. These data enhance understanding of forest responses to global change.

¿Cómo mantienen los bosques la diversidad? ¿Cómo el aumento del nitrógeno, producto de la contaminación, afecta el crecimiento del bosque? ¿Cómo el fósforo en el suelo controla la distribución de las especies de plantas? ¿Cómo influyen los insectos polinizadores en las poblaciones de plantas y cómo la caza de animales hace que decline la diversidad arbórea local? Dirigida por **Kristina Anderson-Teixeira**, científica del Smithsonian Conservation Biology Institute, esta iniciativa coordina una serie de mediciones de micro-meteorología y ecología de ecosistemas a través de ForestGEO. Estos datos mejoran la comprensión de las respuestas de los bosques al cambio global.

Global carbon research

Investigación global del carbono



Tropical and temperate forests together encompass an estimated 38 percent of terrestrial carbon pools and 48 percent of terrestrial net primary production. To understand the global carbon cycle today and in the future, we need knowledge of forest carbon budgets and how they respond to natural and human-caused global change. STRI staff scientist **Helene Muller-Landau** leads this initiative to fill research gaps, especially for tropical forests, by quantifying the size of forest carbon pools and fluxes, their spatial and temporal variation, and the drivers of variation at forest sites around the world.

Los bosques tropicales y templados abarcan un 38 por ciento de las reservas de carbono terrestre y un 48 por ciento de la producción primaria neta terrestre. Para comprender el ciclo global del carbono hoy y en el futuro, necesitamos conocer las reservas de carbono forestal y cómo responden a los cambios globales causados por la naturaleza y los seres humanos. **Helene Muller-Landau**, científica de STRI, lidera esta iniciativa para llenar las lagunas de investigación, especialmente para los bosques tropicales, cuantificando el tamaño de las reservas y los flujos de carbono forestal, su variación espacial y temporal, y los factores de variación en los sitios forestales alrededor del mundo.

Arthropod monitoring

Monitoreo de artrópodos



Tropical insects and other arthropods represent a significant portion of biodiversity and play major ecosystem roles. Termites decompose. Bees pollinate flowers. Caterpillars and leaf cutter ants defoliate trees. On the forest floor, beetles predate on seeds. Scientific coordinator **Yves Basset** leads this initiative to study a select group of arthropods that play key roles in forest ecosystems, complementing the ForestGEO's monitoring of plant dynamics. Studying priority arthropods helps shed light on insect-plant dynamics and ecosystem functions, and the impact of human-caused disturbances.

Los insectos tropicales y otros artrópodos representan una porción significativa de la biodiversidad y desempeñan papeles importantes del ecosistema. Las termitas descomponen. Las abejas polinizan las flores. Las orugas y las hormigas cortadoras de hojas deshojan a los árboles. En el suelo del bosque, los escarabajos se alimentan de las semillas. El coordinador científico, **Yves Basset**, lidera esta iniciativa para estudiar un grupo selecto de artrópodos que desempeñan un papel clave en los ecosistemas forestales, complementando el monitoreo de ForestGEO en la dinámica de las plantas. El estudio de los artrópodos prioritarios ayuda a arrojar luz sobre la dinámica de las plantas de insectos y las funciones de los ecosistemas, además del impacto de las perturbaciones causadas por el hombre.

Soils

Suelos



Soils play a central role in the global carbon cycle because they contain three times more carbon than the atmosphere and four times more than the biosphere. In tropical forests, about as much carbon is stored in the surface meter of soil as in the vegetation, yet little is known about the likely response of soil carbon to changes in climate or forest dynamics. Led by STRI staff scientist **Benjamin Turner**, this initiative studies soil carbon in Asian and Neotropical rainforests, to help scientists understand what controls the amount of carbon sequestered and potential future changes with shifts in global climate.

Los suelos juegan un papel central en el ciclo global del carbono porque contienen tres veces más carbono que la atmósfera y cuatro veces más que la biosfera. En los bosques tropicales, casi la misma cantidad de carbono se almacena en el metro superficial del suelo, así como también en la vegetación. Pero poco se sabe sobre la probable respuesta del carbono del suelo a los cambios en el clima o la dinámica del bosque. Esta iniciativa dirigida por **Benjamin Turner**, científico de STRI, estudia el carbono del suelo en las selvas tropicales asiáticas y neotropicales, para ayudar a los científicos entender qué controla la cantidad de carbono secuestrado y los posibles cambios futuros debido a las consecuencias del clima global.

Other science initiatives | Otras iniciativas científicas

Flowers, seeds and seedlings; plant functional traits; phenology; DNA barcoding; the watershed experiment; vertebrates and TEAM.

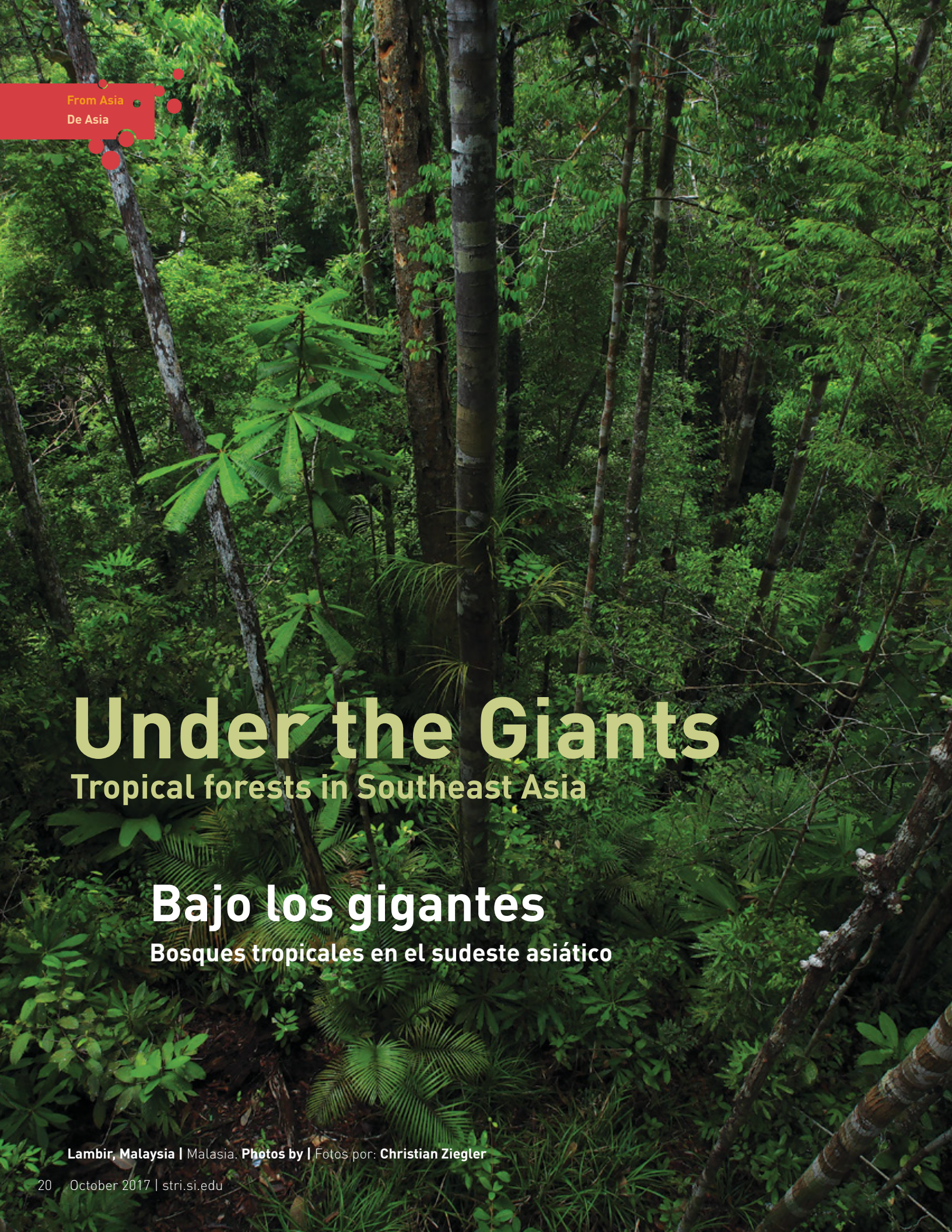
Flores, semillas y plántulas; rasgos funcionales de plantas; fenología; código de ADN; el experimento de la cuenca; vertebrados y TEAM.



26 countries, 86 global partner institutions, 65 large-scale, long-term monitoring stations. ForestGEO scientists follow standardized protocols to answer local questions. Click on each profile, or view all the videos as a **playlist** on YouTube's Smithsonian Tropical Research Institute channel.



26 países, 86 instituciones socias globales, 65 estaciones de monitoreo a gran escala y a largo plazo. Los científicos de ForestGEO siguen protocolos estandarizados para responder interrogantes locales. Haga clic en cada perfil o vea los videos como una lista de reproducción en el canal de YouTube del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales.



From Asia
De Asia

Under the Giants

Tropical forests in Southeast Asia

Bajo los gigantes

Bosques tropicales en el sudeste asiático

Lambir, Malaysia | Malasia. Photos by | Fotos por: Christian Ziegler

There are around 50,000 tropical tree species in the world, with a hefty fraction of these found, unsurprisingly, in the Amazon rainforest. But a 2015 paper¹ in the *Proceedings of the National Academy of Sciences* shows that the Asian tropics contain as much diversity as tropical America—at least 19,000 species of trees. These numbers are based on data from 207 tropical sites, put together by over 170 scientists, including the ForestGEO network.

ForestGEO's work in the Asia began in 1985 with the establishment of the 50-hectare Pasoh plot in Peninsular Malaysia. It has since expanded to include nearly 30 sites in nine countries. Having a number of sites across this vast and variable geographic region allows ForestGEO to study Asian forests as they gradually change: from everwet rainforests with no dry season, in places like Malaysia, Sri Lanka and Singapore; to seasonally dry forests in northern Thailand and India; to colder, temperate forests in the north of China.

The 52-hectare Lambir forest plot in Malaysia contains over 1,200 species—comparable with the Amazonian Yasuní plot in Ecuador. Typical of aseasonal Asian rainforests, the riot of tree diversity at Lambir becomes extraordinarily synchronized at two to ten year intervals, when hundreds of unrelated tree species from the understory to the canopy burst into flower. This phenomenon, known as general flowering, occurs within a short span of weeks and attracts a host of animals from bees and beetles to birds and monkeys to pay visit. Pollinated all at once, the trees fruit in synchrony as well. This event, known as mast fruiting, produces a surfeit of food that overwhelms fruit eaters, seed predators and pathogens, ensuring that at least a few seeds survive to germinate and grow into the canopy.

The vast majority of trees in the tropics are locally rare, meaning that regions can experience dramatic shifts in species composition over the course of time. Seed dispersal can increase diversity in a given area by populating the forest floor with different species than those that are found in the canopy. Many trees in the Southeast Asian tropics produce seeds with wing-like

Existen alrededor de 50,000 especies de árboles tropicales en el mundo, con una fuerte fracción de estos encontrados, como era de esperar, en la selva amazónica.

Pero una publicación¹ en *Proceedings of the National Academy of Sciences* del 2015 muestra que los trópicos asiáticos contienen tanta diversidad como la América tropical, al menos 19,000 especies de árboles. Estos números se basan en datos de 207 sitios tropicales, reunidos por más de 170 científicos, incluyendo la red ForestGEO.

El trabajo de ForestGEO en Asia inició en 1985 con el establecimiento de la parcela de Pasoh de 50 hectáreas localizada en Malasia peninsular. Desde entonces se ha ampliado hasta incluir casi 30 sitios en nueve países. El tener un número de sitios a través de esta vasta y variable región geográfica permite a ForestGEO estudiar los bosques asiáticos a medida que van cambiando gradualmente: desde bosques tropicales sin estación seca en lugares como Malasia, Sri Lanka y Singapur, a bosques estacionalmente secos en el norte de Tailandia y la India, y hasta los bosques fríos y templados en el norte de China.

La parcela forestal de 52 hectáreas en Lambir, Malasia contiene más de 1,200 especies—comparable con la parcela de Yasuní en el Ecuador. Típico de los bosques tropicales asiáticos, el desorden de la diversidad arbórea en Lambir se sincroniza extraordinariamente a intervalos de dos a diez años, cuando cientos de especies arbóreas no relacionadas, desde el sotobosque al dosel, florecen en abundancia. Este fenómeno, conocido como floración general, se produce en un corto lapso de semanas y atrae a una gran cantidad de animales como abejas, escarabajos, aves y monos. Polinizados todos a la vez, los árboles también producen frutos en sincronía. Este evento, conocido como fructificación masiva, produce un exceso de alimentos que abruma a los comedores de frutas, depredadores de semillas y patógenos, asegurando que al menos unas cuantas semillas sobrevivan para germinar y crecer en el dosel.

La gran mayoría de los árboles en los trópicos son localmente poco comunes, lo que significa que las



Plant ecologist Sarayudh Bunyavejchewin, principal investigator for the Thailand plots | Ecologista de plantas Sarayudh Bunyavejchewin, investigador principal de las parcelas en Tailandia.



Chiangbaishan, China, second from left: ForestGEO director Stuart Davies; Chinese Academy of Sciences researchers Hao Zhanqing, principal investigator of the Chiangbaishan plot and Ma Keping, head of Chinese Forest Biodiversity Monitoring Network (CForBio) and researcher Liu Xiaojuan. | Chiangbaishan, China, del segundo desde la izq.: el director de ForestGEO, Stuart Davies; Investigadores de la Academia China de Ciencias Hao Zhanqing, investigador principal de la parcela de Chiangbaishan y Ma Keping, jefe de la Red de Monitoreo de la Biodiversidad de los Bosques Chinos (CForBio), la investigadora Liu Xiaojuan.



Lambir, Malaysia | Malasia

structures to help them disperse from treetops to the forest floor. Others rely on animals to transport them. Regardless of dispersal method, transport away from the parent tree can increase the seedlings' chance of survival since they are less likely to be exposed to the pests and pathogens that attack the parent.

Human activity in and around forests can impact species survival and forest dynamics. For example, hunting can reduce the spread of animal-dispersed seeds. Land conversion to oil palm plantations can reduce seed dispersal between neighboring, remnant forests.

“Deforestation and forest degradation have reduced many old-growth forests to forest fragments,” says ForestGEO director and Asia Program coordinator Stuart Davies. “This may threaten the survival of both rare tree species and bigger animals with larger home ranges.”

regiones pueden experimentar cambios dramáticos en la composición de las especies a lo largo del tiempo. La dispersión de las semillas puede aumentar la diversidad en un área dada, poblando el piso del bosque con especies distintas a las que se encuentran en el dosel. Muchos árboles en los trópicos del sudeste asiático producen semillas con estructuras parecidas a alas que las ayuda a dispersarse desde las copas de los árboles al suelo del bosque. Otros dependen de los animales para transportar las semillas. Independientemente del método de dispersión, el transporte lejos del árbol padre puede aumentar la probabilidad de supervivencia de las plántulas, ya que es menos probable que estén expuestas a las plagas y patógenos que atacan al padre.



Southeast Asia's giant forests are dominated by masting tree species of the family Dipterocarpaceae, named for their double-winged seeds (di-ptero-carp). | Los bosques gigantes del sudeste asiático están dominados por especies de árboles de la familia Dipterocarpaceae, denominadas así por sus semillas de doble ala (di-ptero-carpas). From | De: Gera-Untermhaus: F.E. Köhler (1883-1914), *Medizinal Pflanzen*. Courtesy of | Cortesía de: Missouri Botanical Garden

Seed dispersal can increase diversity by populating the forest floor with different species than those found in the canopy

La dispersión de las semillas puede aumentar la diversidad, poblando el piso del bosque con especies distintas a las que se encuentran en el dosel

Studies of forest fragments have shown that they are much more vulnerable to species loss and degradation of diversity. But a 2017 study² of the ForestGEO plot in Singapore yielded a surprising result. The two-hectare plot established in an unlogged old-growth forest fragment in Bukit Timah Nature Reserve in 1993 did not drastically change over the subsequent 19 years of forest monitoring. Species composition at Bukit Timah fluctuated in response to drought events, but the forest's long-term resilience suggests that high-diversity forest fragments can continue to be reservoirs of local biodiversity. The study co-authors, including Davies, note that "Although the preservation of large areas of forest is still the best scenario for biodiversity conservation, fragments should not be overlooked for their biodiversity potential."

La actividad humana en y alrededor de los bosques puede afectar la supervivencia de las especies y la dinámica de los bosques. Por ejemplo, la caza puede reducir la propagación de semillas dispersadas por animales. La conversión de la tierra a plantaciones de palma aceitera puede reducir la dispersión de semillas entre los bosques vecinos y remanentes.

"La deforestación y la degradación de los bosques han reducido muchos bosques antiguos a fragmentos forestales", comenta el director de ForestGEO y el coordinador del Programa de Asia, Stuart Davies. "Esto puede amenazar la supervivencia de las especies de árboles poco comunes y de los animales más grandes con rangos de hábitat mayores".

Los estudios sobre fragmentos forestales han demostrado que estos son mucho más vulnerables a la pérdida de especies y la degradación de la diversidad. Pero un estudio² del 2017 de la parcela ForestGEO en Singapur produjo un resultado sorprendente. La parcela de dos hectáreas establecida en un fragmento forestal de bosque viejo sin explotar, en la Reserva Natural Bukit Timah en 1993, no cambió drásticamente durante los siguientes 19 años de monitoreo forestal. La composición de especies en Bukit Timah fluctúa en respuesta a los eventos de sequía, pero la resiliencia a largo plazo del bosque sugiere que los fragmentos de bosque de alta diversidad pueden seguir siendo reservorios de la biodiversidad local. Los coautores del estudio, entre ellos Davies, señalan que "aunque la preservación de grandes extensiones forestales sigue siendo el mejor escenario para la conservación de la biodiversidad, no se deben pasar por alto los fragmentos por su potencial de biodiversidad".

¹Slik, J. W. F., Arroyo-Rodríguez, V., Aiba, S., Alvarez-Loayza, P., Alves, L. F., Ashton, P., Balvanera, P., Bastian, M. L., Bellingham, P. J., van den Berg, E., Bernacci, L., Bispo, P. C., Blanc, L., Böhning-Gaese, K., Boeckx, P., Bongers, F., Boyle, B., Bradford, M., Brearley, F. Q., Hockemba, M. B. N., Bunyavejchewin, S., Matos, D. C. L., Castillo-Santiago, M., Catharino, E. L. M., Chai, S. L., et al. 2015. An estimate of the number of tropical tree species. *PNAS*. DOI: 10.1073/pnas.1423147112

²Ngo, K. M., Davies, S. J., Nik Hassan, N. F., Lum, S. 2017. Resilience of a forest fragment exposed to long-term isolation in Singapore. *Plant Ecology and Diversity*. DOI: 10.1080/17550874.2016.1262924

A Refuge for New Species

*The forest dynamics plot at
Korup, Cameroon*



Un refugio para nuevas especies

La parcela de dinámica forestal de Korup, Camerún

In a lowland rainforest in southwestern Cameroon, a small fruiting tree that eluded researchers' attempts to identify it for over a decade finally has a scientific name. Formally described in 2016¹, *Gambeya korupensis* joins a growing record of new species discovered in Korup National Park since 1996, when a CTFS-ForestGEO plot was established there. Many of these species are not just new to science—they are relics from the last Ice Age, found nowhere else in the world.

“Since the establishment of a long-term monitoring plot at Korup, 24 new species of flowering plants have been formally described, while ten more confirmed new species await formal scientific description,” says David Kenfack, ForestGEO’s coordinator for the Africa Program and one of the scientists responsible for identifying *G. korupensis*, an understory tree that produces bright orange, fig-shaped fruit. “Sixty-five other trees from the plot remain identified only to family or genus level, and we strongly believe that most of these will turn out to be new to science as well.”

Africa’s forests range from a tropical rainforest belt in the Congo River basin, to seasonally dry forests further north and south, to savannahs where grasses battle the trees to take up limited rainfall. Despite the diversity of terrain across the world’s largest continent, forests in the region are relatively understudied. This

Africa’s forests range from a tropical rainforest belt to savannahs where grasses battle the trees for limited rainfall

is part of the reason why so many new species continue to be described from Cameroon, Nigeria, Gabon, Kenya and the Democratic Republic of Congo—all countries in the ForestGEO research network.

En un bosque lluvioso de tierras bajas en el suroeste de Camerún, un pequeño árbol frutal que había eludido los intentos de identificación por parte de los investigadores durante más de una década finalmente tiene un nombre científico. Formalmente descrita en el 2016¹, *Gambeya korupensis* se une a un registro creciente de nuevas especies descubiertas en el Parque Nacional Korup desde 1996, cuando se estableció una parcela CTFS-ForestGEO. Muchas de estas especies no son sólo nuevas para la ciencia—son reliquias de la última Edad de Hielo, y no se encuentran en otras partes del mundo.

“Desde el establecimiento de una parcela de monitoreo a largo plazo en Korup, se han formalmente descrito 24 nuevas especies de plantas con flores, mientras que otras diez nuevas especies confirmadas esperan descripción científica formal”, comenta David Kenfack, coordinador de ForestGEO para el Programa África y uno de los científicos responsables de la identificación de la *G. korupensis*, un árbol de sotobosque que produce un fruto color naranja brillante en forma de higo. “Sesenta y cinco otros árboles de la parcela sólo han sido identificados a nivel familiar o de género, y creemos firmemente que la mayoría de estos resultarán nuevos para la ciencia también”.

Los bosques de África se extienden de un cinturón de selva tropical en la cuenca del Río Congo, a los bosques estacionalmente secos más al norte y al sur, y hasta las sabanas donde las hierbas batallan contra los árboles para obtener lluvias limitadas. A pesar de la diversidad del terreno en el continente más grande del mundo, los bosques de la región están relativamente poco estudiados. Esto es parte de la razón por la cual se siguen describiendo tantas especies nuevas de Camerún, Nigeria, Gabón, Kenia y de la República Democrática del Congo—todos los países de la red de investigación ForestGEO.

Left | Izquierda: *Gambeya korupensis*. Photo by | Foto por: Moses Sainge
All photos from ForestGEO unless specified | Todas las imágenes cortesía de ForestGEO a menos que se especifique.

But another reason has more to do with global climate change during the Pleistocene epoch, which began some two million years ago and lasted until around 12,000 years before present. The world grew cooler and drier as glaciers expanded across the temperate north and south, locking away much of the planet's fresh water. With the change in rainfall patterns, Kenfack says, "Forests contracted across the tropical belt, from West Africa to the foothills of the Rift Mountains, through Central Africa and the Congo."

What remained was a patchwork of rainforest islands, known as the Guineo-Congolian refuge area. While many tropical tree species went extinct during this time, some retreated into the refugia and persist to this day. *G. korupensis* is just one of these survivors.

"Paleo-ecological data support the theory that the forests around Mount Cameroon, including in Korup National Park, form a major segment of the Guineo-Congolian refuge area," says Kenfack, making the


Pero otra razón está más relacionada con el cambio climático global durante la época del Pleistoceno, que comenzó hace unos dos millones de años y duró hasta alrededor de 12,000 años antes del presente. El mundo se hizo más fresco y más seco a medida que los glaciares se expandieron a través de sitios templados del norte y el sur, encerrando gran parte del agua dulce del planeta. Con el cambio en los patrones de lluvias, Kenfack comenta: "Los bosques se contrajeron a través del cinturón tropical, desde África Occidental hasta las estribaciones de las montañas Rift, a través de África Central y el Congo".

Lo que quedaba era un mosaico de islas de selva tropical, conocido como el área de refugio guineo-congolense. Mientras que muchas especies de árboles tropicales se extinguieron durante este tiempo, algunos se refugiaron y persisten hasta el día de hoy. *G. korupensis* es sólo uno de estos supervivientes.

"Los datos paleo-ecológicos apoyan la teoría de que los bosques alrededor del Monte Camerún,



David Kenfack (right) with former Korup plot staff researcher, Frederick Nkeumoe | David Kenfack (derecha) con Frederick Nkeumoe, entonces investigador de la parcela Korup. Photo by | Foto por: Joseph Wright



Los bosques de África se extienden desde un cinturón de selva tropical hasta las sabanas donde las hierbas batallan contra los árboles para obtener parte de las limitadas lluvias

● Ngel Nyaki, Nigeria
● Korup, Cameroon | Camerún

● Rabi, Gabon | Gabón

● Ituri, D. R. Congo
R. D. Congo

● Mpala, Kenya | Kenia

From | Por: Landsat / Copernicus. Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO



Illustration of new tree species *Gambeya korupensis* | Ilustración de nueva especie *Gambeya korupensis*
 By | Por: Andrew P. Brown, in | en Ewango et al, 2016



Examples of fruiting and flowering trees in Korup, Cameroon. | Ejemplos de árboles con flores y frutas en Korup, Camerún.

The Korup plot has developed a core of competent scientists dedicated to implementing science-based conservation and management of Cameroon's forests

La parcela de Korup ha desarrollado un núcleo de competentes científicos dedicados a la conservación y manejo científico de los bosques de Camerún



Top: Iveren Abiem, a principal investigator of the Ngel Nyaki plot in Nigeria, marking trees at Korup. Bottom: Staff researcher Oliver Mgbamsi measuring tree diameter at breast height. | Arriba: Iveren Abiem, investigadora principal de Ngel Nyaki en Nigeria, marcando árboles en Korup. Abajo: El investigador Oliver Mgbamsi midiendo el diámetro de un árbol a altura de pecho. Photo by | Foto por: Joseph Wright



Smithsonian staff scientists Joseph Wright (left) and David Kenfack (right) at the Korup National Park in Cameroon. Los científicos del Smithsonian Joseph Wright (izq.) y David Kenfack (der.) en el Parque Nacional Korup en Camerún.

Korup Forest Dynamics Plot a particularly important field site for research and conservation.

ForestGEO's local partner institution, the University of Buea, arranges graduate field courses within the Korup plot, and a dozen students have used data from the plot in their masters' or PhD theses. Others participated in data management workshops organized by ForestGEO—the most recent of these was held in Washington, DC, in 2015. Kenfack notes that such research opportunities are an essential component of ForestGEO's goal of building science capacity in developing countries.

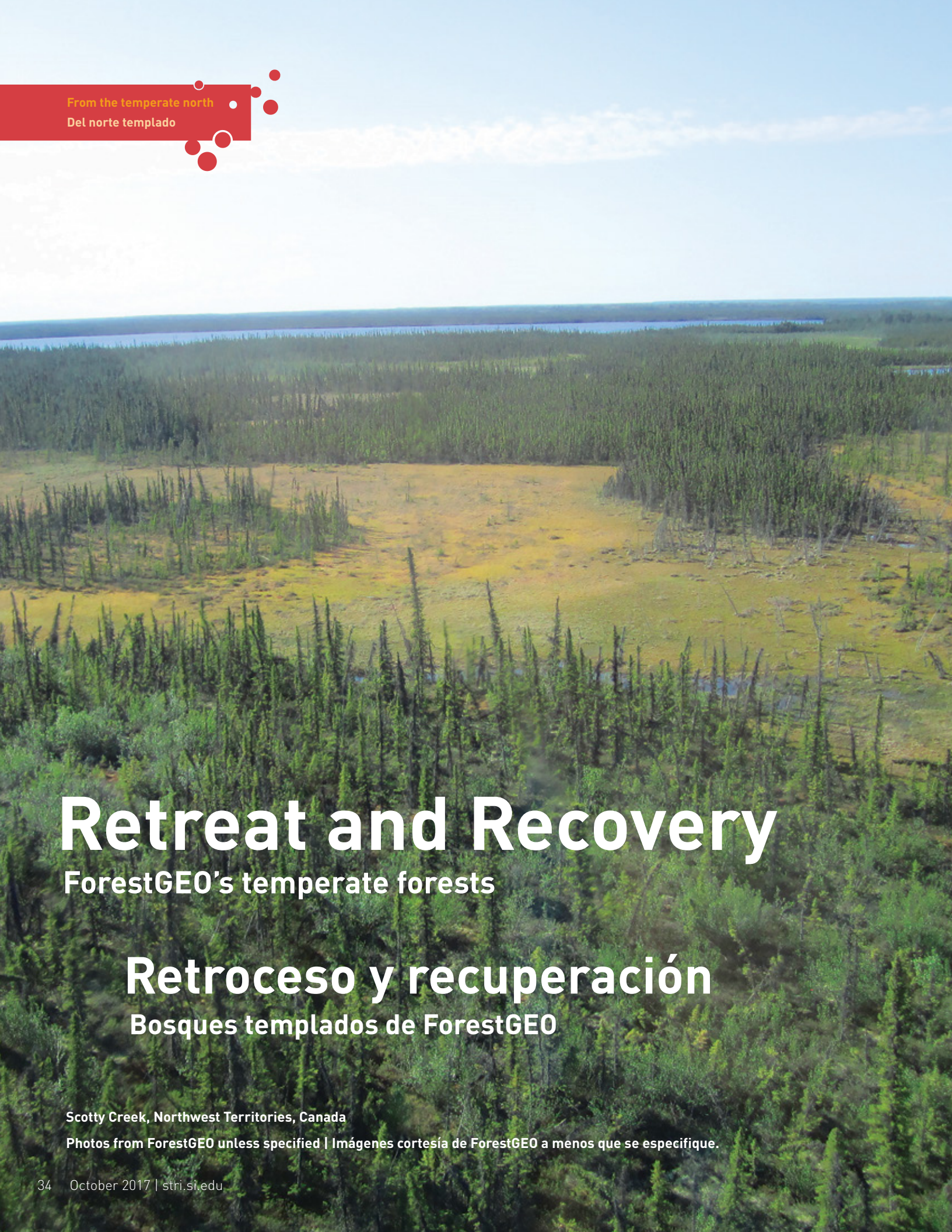
“In this respect, the Korup plot has been successful in developing a small core of competent and motivated scientists dedicated to implementing science-based conservation and management of Cameroon's forests.”

incluyendo el Parque Nacional Korup, forman un segmento importante del área de refugio guineo-congolense”, comenta Kenfack, haciendo de la Parcela de Dinámica Forestal de Korup un sitio de investigación particularmente importante y de conservación.

La institución local asociada a ForestGEO, la Universidad de Buea, organiza cursos de postgrado de campo en la parcela de Korup, y una docena de estudiantes han utilizado datos de la parcela en sus tesis de maestría o de doctorado. Otros participaron en talleres de manejo de datos organizados por ForestGEO, el más reciente de los cuales se realizó en Washington, DC en el 2015. Kenfack señala que tales oportunidades de investigación son un componente esencial de la meta de ForestGEO para crear capacidad científica en países en desarrollo.

“En este sentido, la parcela de Korup ha tenido éxito en el desarrollo de un pequeño núcleo de competentes y motivados científicos dedicados a la conservación y la gestión científica de los bosques de Camerún”.

¹Ewango, C.E.N., Kenfack, D., Sainge, M.N., Sainge, M. N., Thomas, D. W., van der Burgt, X. M. 2016. *Gambeya korupensis* [Sapotaceae: Chrysophylloideae], a new rain forest tree species from the Southwest Region in Cameroon. *Kew Bulletin*. 71: 28. DOI:10.1007/s12225-016-9633-x



From the temperate north
Del norte templado

Retreat and Recovery

ForestGEO's temperate forests

Retroceso y recuperación

Bosques templados de ForestGEO

Scotty Creek, Northwest Territories, Canada

Photos from ForestGEO unless specified | Imágenes cortesía de ForestGEO a menos que se especifique.



In the Northwest Territories, Canada, at the highest latitude study site in the ForestGEO network, researchers navigate a semi-frozen patchwork of peaty wetlands and coniferous forest, which grows on icy mounds of soil called permafrost plateaus. The forests of the Scotty Creek watershed have seen almost no direct human disturbance in almost two centuries. Nonetheless, the mark of human impact can be felt underfoot. Much like slush melts faster than a solid block of ice, so too are the permafrost plateaus melting, sinking the forest into the surrounding bogs¹.

“Climate is changing more rapidly at higher latitudes, so temperate and boreal forests could be thought to be more at risk from climate change,” says Sean McMahon, ForestGEO’s Temperate Program Coordinator, based at the Smithsonian Environmental Research Center in Edgewater, Maryland. “There is evidence for and against this risk, but the biggest threats are indirect ones, such as increased fire or pest threats.”

Temperate forests experience a greater range of seasonal variation in light, warmth and precipitation than tropical forests. Their trees grow only during warm months and turn dormant each winter. This

En los Territorios del Noroeste, en Canadá, en el sitio de estudio de latitud más alta de la red ForestGEO, los investigadores navegan por un parche semi-congelado de humedales y bosques de coníferas que crecen en montículos helados llamado mesetas de permafrost. En casi dos siglos, los bosques de la cuenca de Scotty Creek han visto poca perturbación directa causada por humanos. Sin embargo, la marca del impacto humano se puede sentir bajo los pies. Al igual que la aguanieve se derrite más rápidamente que un bloque de hielo sólido, también las mesetas del permafrost se derriten, hundiendo el bosque en los pantanos circundantes¹.

“El clima está cambiando más rápidamente en las latitudes más altas, por lo que se podría pensar que los bosques templados y boreales corren mayor riesgo de sufrir por el cambio climático”, comenta Sean McMahon, Coordinador del Programa Templado de ForestGEO, establecido en el Centro de Investigación Ambiental del Smithsonian en Edgewater, Maryland. “Hay evidencia a favor y en contra de este riesgo, pero las mayores amenazas son indirectas, como el aumento de incendios o amenazas de plagas”.



ForestGEO's temperate plot network includes nearly 20 sites across the globe, ranging in diversity from evergreen, coniferous forests to mixed forests that include conifers and hardwoods

La red templada del bosque de ForestGEO incluye cerca de 20 sitios a través del mundo, con bosques dominados por árboles coníferas de hoja perenne hasta bosques mixtos compuestos por coníferas y frondosas

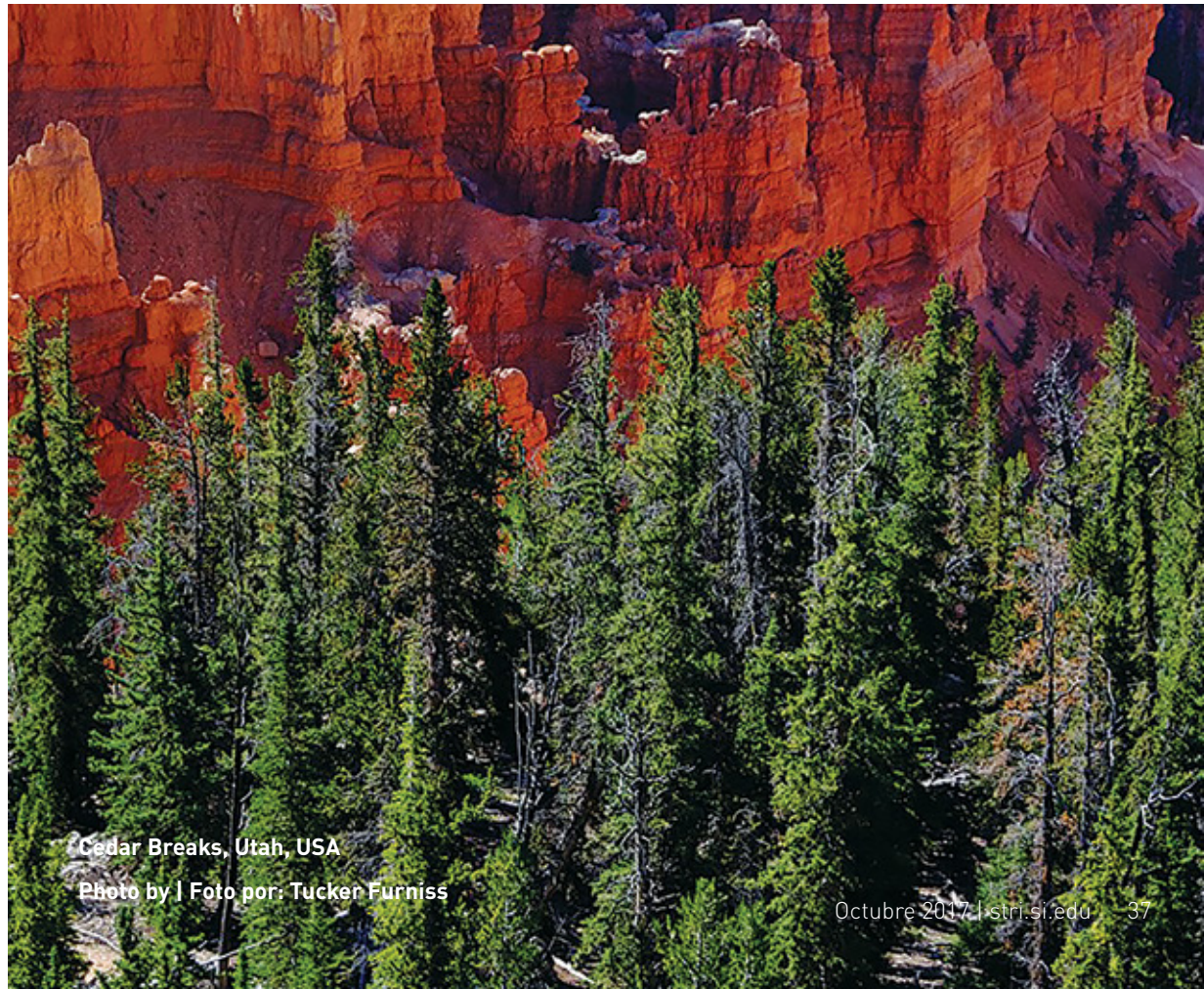
Zofin, Czech Republic, 2007, nine months after Cyclone Kyrill. | Zofin, República Checa, nueve meses después del ciclón Kyrill en 2007.

Photo by | Foto por: Pavel Samonil



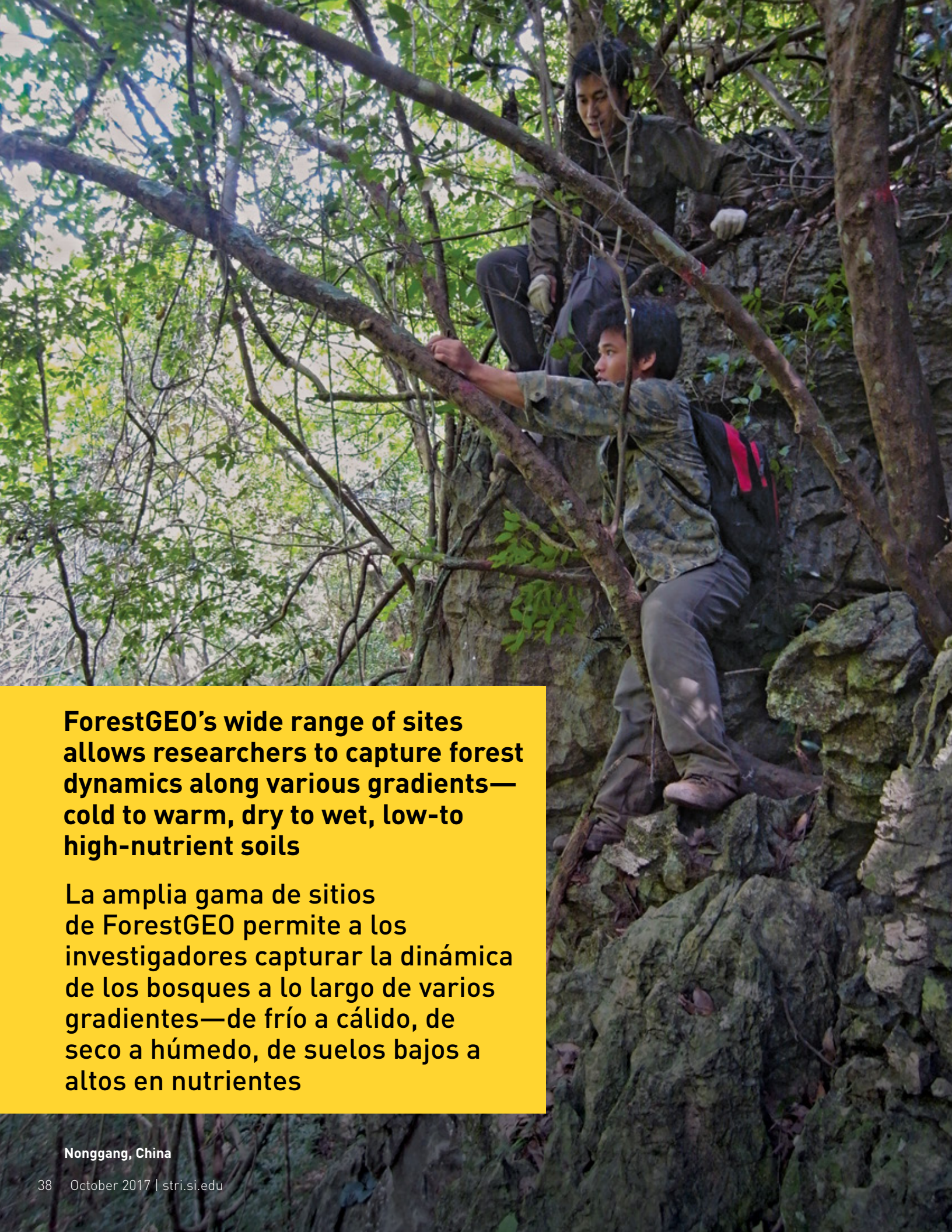
Baotianman, China

BTMibcasx



Cedar Breaks, Utah, USA

Photo by | Foto por: Tucker Furniss



ForestGEO's wide range of sites allows researchers to capture forest dynamics along various gradients—cold to warm, dry to wet, low-to high-nutrient soils

La amplia gama de sitios de ForestGEO permite a los investigadores capturar la dinámica de los bosques a lo largo de varios gradientes—de frío a cálido, de seco a húmedo, de suelos bajos a altos en nutrientes



Courtesy of | Cortesía de: U.S. Forest Service, Ron Gregory.

flexibility to environmental changes can prove useful—as the planet warms, some temperate forests may experience longer, warmer and wetter growing seasons.

But the increased likelihood of extreme events like drought, heat waves or unseasonal storms can disrupt these ecosystems and weaken the trees, exposing them to secondary threats. For example, an ongoing, multi-year drought in the western United States has killed over 66 million trees this year in California alone—parched trees double whammied by forest fires and an explosion of bark beetles.

“We’ve seen devastation in forests due to species loss—pine beetle damage in Canada, ash borer, chestnut blight,” says McMahon. Temperate forests are likelier to experience such wide-scale mortality because there are greater numbers of fewer tree species, facilitating the broad spread of pests and pathogens through host tree populations.

This is not to say that temperate forests do not boast their own diversity. ForestGEO’s temperate plot network includes nearly 20 sites across North America, Europe and Asia. They range from forests dominated by evergreen, coniferous trees that produce needle or scale-like leaves to mixed forests comprised of conifers and broadleaved hardwoods. Their trees are regionally adapted to resist periodic, low-intensity fires, heavy storm seasons, nutrient-poor or even perma-frozen soils.

Los bosques templados experimentan un mayor rango de variación estacional en luz, calor y precipitación que los bosques tropicales. Sus árboles crecen sólo durante los meses cálidos y se vuelven inactivos cada invierno. Esta flexibilidad a los cambios ambientales puede resultar útil—a medida que el planeta se calienta, algunos bosques templados pueden experimentar temporadas de cultivo más largas, más cálidas y más húmedas.

Pero el aumento en la probabilidad de eventos extremos como la sequía, las olas de calor o las tormentas inusuales pueden interrumpir estos ecosistemas y debilitar los árboles ante amenazas secundarias. Por ejemplo, una sequía prolongada de varios años en el oeste de Estados Unidos ha matado a más de 66 millones de árboles en California este año, árboles secos golpeados doblemente por incendios forestales y por una explosión de escarabajos de corteza.

“Hemos visto devastación en los bosques debido a la pérdida de especies—daños causados por el escarabajo del pino en Canadá, la *Podosesia syringae*, la roya en los castaños”, comenta McMahon. Los bosques templados son más propensos a experimentar tal mortalidad a gran escala debido a que hay un mayor número de menos especies arbóreas, lo que facilita la amplia propagación de plagas y patógenos a través de las poblaciones de árboles huésped.

The network's wide range of sites allows researchers to capture forest dynamics along various gradients—cold to warm, dry to wet, low- to high-nutrient soils. Particularly in Asia, McMahon says, temperate forests blend smoothly into tropical ones, diffusing the line of division between the two bioregions.

Nonetheless, the history of temperate forests includes lessons for the future of tropical ones. Although they're home to some of the largest and oldest organisms on the planet—giant redwoods; 5,000-year pines; single, multi-stemmed aspen clones that spread out over hectares—they've also suffered decimating losses from land-use change over the past 1,000 years. Even though they're now recovering in many regions, they face uncertain futures in the face of climate change.

“We're treating the tropics now the way we treated temperate forests for thousands of years,” says McMahon, “as an inexhaustible resource.” And while boreal forests like Scotty Creek formed after the last glaciers retreated—some 13,000 years ago—“The Amazon has been a forest system for millions of years.”

Within decades, deforestation coupled with climate change could alter both temperate and tropical ecosystems.

Esto no quiere decir que los bosques templados no cuenten con su propia diversidad. La red templada del bosque de ForestGEO incluye cerca de 20 sitios a través de Norteamérica, de Europa y de Asia. Esta red abarca desde bosques dominados por árboles de hoja perenne y coníferas que producen hojas de agujas o de escamas, hasta bosques mixtos compuestos por coníferas y frondosas. Sus árboles están adaptados regionalmente para resistir los incendios periódicos de baja intensidad, las temporadas de tormentas fuertes, los suelos pobres en nutrientes o incluso perma-congelados.

La amplia gama de sitios en la red permite a los investigadores capturar la dinámica de los bosques a lo largo de varios gradientes de frío a cálido, de seco a húmedo, de suelos bajos a altos en nutrientes. En particular en Asia, comentó McMahon, los bosques templados se mezclan suavemente con los tropicales, difundiendo la línea de división entre las dos bioregiones.

Sin embargo, la historia de los bosques templados incluye lecciones para el futuro de los bosques tropicales. Aunque son el hogar de algunos de los organismos más grandes y más viejos en el planeta—como las secoyas gigantes; pinos de 5,000 años; clones de álamo templado de un solo tronco, que se extienden por hectáreas—también han sufrido pérdidas por cambios en el uso de la tierra en los últimos 1,000 años. A pesar de que ahora se están recuperando en muchas regiones, se enfrentan a futuros inciertos ante el cambio climático.

“Estamos tratando a los trópicos como hemos tratado a los bosques templados durante miles de años”, comenta McMahon, “como un recurso inagotable”. Y mientras que los bosques boreales como Scotty Creek se formaron después de que los últimos glaciares retrocedieran—hace unos 13,000 años—“El Amazonas ha sido un sistema forestal durante millones de años”.

Dentro de décadas, la deforestación junto con el cambio climático podría alterar ambos ecosistemas.

¹Baltzer, J. L., Veness, T., Chasmer, L. E., Sniderhan, A. E. and Quinton, W. L. 2014. Forests on thawing permafrost: fragmentation, edge effects and net forest loss. *Global Change Biology* 20, 824–834. DOI:10.1111/gcb.12349

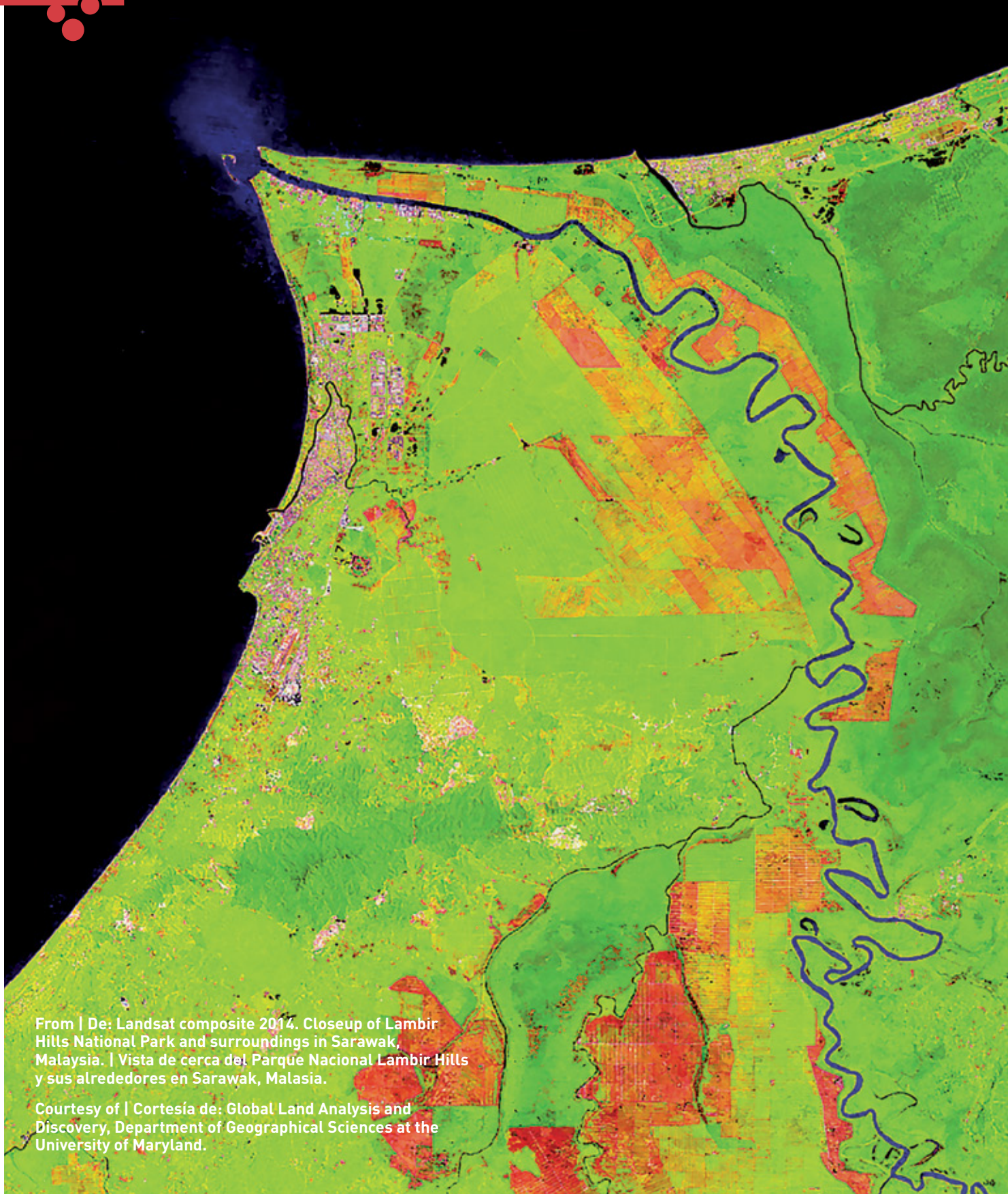


Sean McMahon

We're treating the tropics now the way we treated temperate forests for thousands of years—as an inexhaustible resource

Estamos tratando a los trópicos como hemos tratado a los bosques templados durante miles de años—como recurso inagotable

Yosemite, California, USA



From | De: Landsat composite 2014. Closeup of Lambir Hills National Park and surroundings in Sarawak, Malaysia. | Vista de cerca del Parque Nacional Lambir Hills y sus alrededores en Sarawak, Malasia.

Courtesy of | Cortesía de: Global Land Analysis and Discovery, Department of Geographical Sciences at the University of Maryland.



Forest Flyovers

A new perspective on Earth from the sky

Sobrevolando los bosques

Una nueva perspectiva de la Tierra desde el cielo

The Earth-watching satellite Landsat 5 collected over 2.5 million photos of the planet's changing face for nearly three decades. Far below, minute fungi grew on and within the tips of tree roots in an ancient dance—bartering soil nutrients they collect for sugars made by the trees, and contributing to global cycling of carbon, nitrogen and other scarcer nutrients.

Although satellites and soil fungi may seem unrelated, a 2016 study of four plots in the ForestGEO's network linked the macroscopic view with the microscopic. As Landsat scanned the entire planet in 16-day cycles, ForestGEO's researchers conducted their own on-the-ground censuses. NASA Jet Propulsion Laboratory scientist Joshua Fisher and his team matched satellite imagery with known locations of trees and their associated fungi in a small area, and used those data to predict plant-fungus partnerships across wider and more varied landscapes—"an approach that strikes the balance between abstraction and detail," said the authors.

Remote sensing technologies include not only satellite-based systems capturing world-scale features, but also ground and airborne LiDAR devices beaming and receiving reflected light or radio waves at small areas to get much higher resolution images.

"LiDAR provides a view of the multi-layered canopy that is almost impossible to reconstruct from ground-based observations alone, where one encounters an average of three tree crowns on any given line between the ground and the top of the canopy," says Helene Muller-Landau, Smithsonian staff scientist and leader of ForestGEO's Global Carbon Initiative.

One of the major obstacles preventing the sale of carbon credits as an incentive to reduce emissions from deforestation and forest degradation (REDD +) is the lack of a reliable method to accurately measure carbon stocks in forests year after year. This is vital to Panama's ongoing mission as one of the United Nations REDD + partner countries. Airborne measurements enable relatively easy mapping of forest carbon even in remote or uneven terrain, but new technologies need to be checked against measurements taken on the ground.

In a 2013 study led by Gregory Asner of the Carnegie Institution at Stanford, scientists including Muller-Landau created the first country-wide carbon map for Panama using field data from ForestGEO plots,

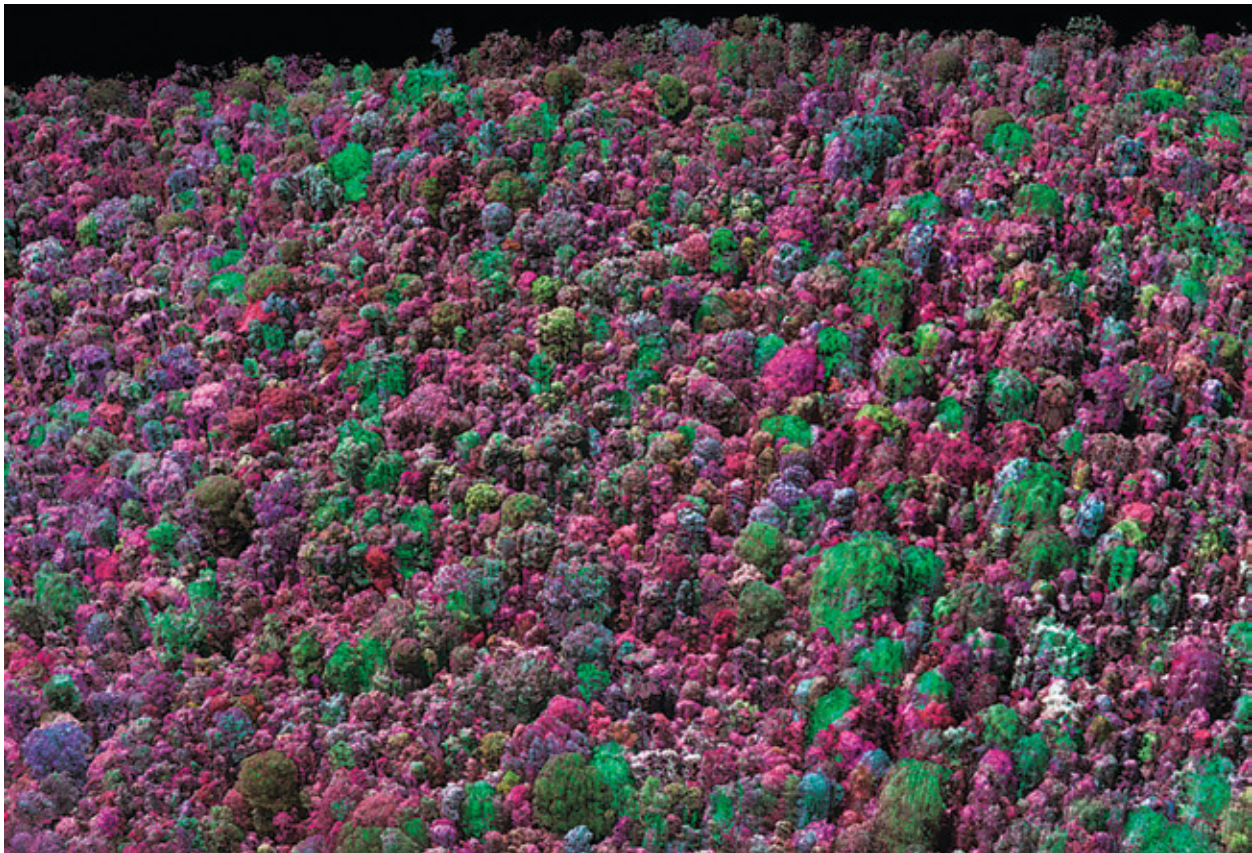
Durante casi tres décadas el satélite de observación de la Tierra Landsat 5 colectó más de 2.5 millones de fotos del rostro cambiante del planeta. Muy por debajo, hongos diminutos que crecen exclusivamente dentro o sobre las puntas de las raíces de los árboles continúan en una antigua danza—intercambiando nutrientes del suelo por azúcares hechos por los árboles, contribuyendo al ciclo global de carbono y nitrógeno y otros recursos limitados.

Aunque los satélites y los hongos del suelo no parecen estar relacionados, un estudio de 2016 de cuatro parcelas en la red de ForestGEO combinó la vista macroscópica con la microscópica. Mientras Landsat escaneaba el planeta entero en ciclos de 16 días, los investigadores de ForestGEO realizaron sus propios censos de campo. Investigadores liderados por el científico Joshua Fisher, del Laboratorio de Propulsión a Chorro de la NASA, hicieron referencia cruzada a las imágenes satelitales contra las localizaciones conocidas de los árboles y sus hongos asociados en las parcelas. Utilizaron estos datos para predecir las asociaciones de plantas y hongos entre paisajes más amplios y variados, un enfoque que ellos describieron como "balancear el equilibrio entre la abstracción y el detalle".

Las tecnologías de teledetección incluyen no sólo sistemas basados en satélites que capturan características a escala mundial, sino también dispositivos de detección y medición aérea y terrestre LiDAR que transmiten y capturan las ondas de luz o radio reflejadas en áreas pequeñas y a resoluciones mucho más altas.

"LiDAR proporciona una vista del dosel en múltiples capas que es casi imposible de reconstruir solo con las observaciones en tierra, donde se encuentra un promedio de tres coronas arbóreas en cualquier línea desde el suelo hasta la parte superior del dosel", comenta Helene Muller-Landau, científica del Smithsonian y líder de la Iniciativa Global de Carbono de ForestGEO.

Uno de los principales obstáculos que evita la venta de créditos de carbono como incentivo para reducir las emisiones de la deforestación y la degradación forestal (REDD +) es la falta de un método fiable para calcular las reservas de carbono en bosques año tras año. Esto es vital para la misión continua de Panamá como uno de los países socios



The fastest growing trees show up most red in this single-overpass image of a forest in Panama. | Los árboles de más rápido crecimiento aparecen en rojo en esta imagen de un bosque en Panamá. Courtesy of | Cortesía de: Carnegie Airborne Observatory

LiDAR provides a view of the multi-layered canopy that is almost impossible to reconstruct from ground-based observations alone

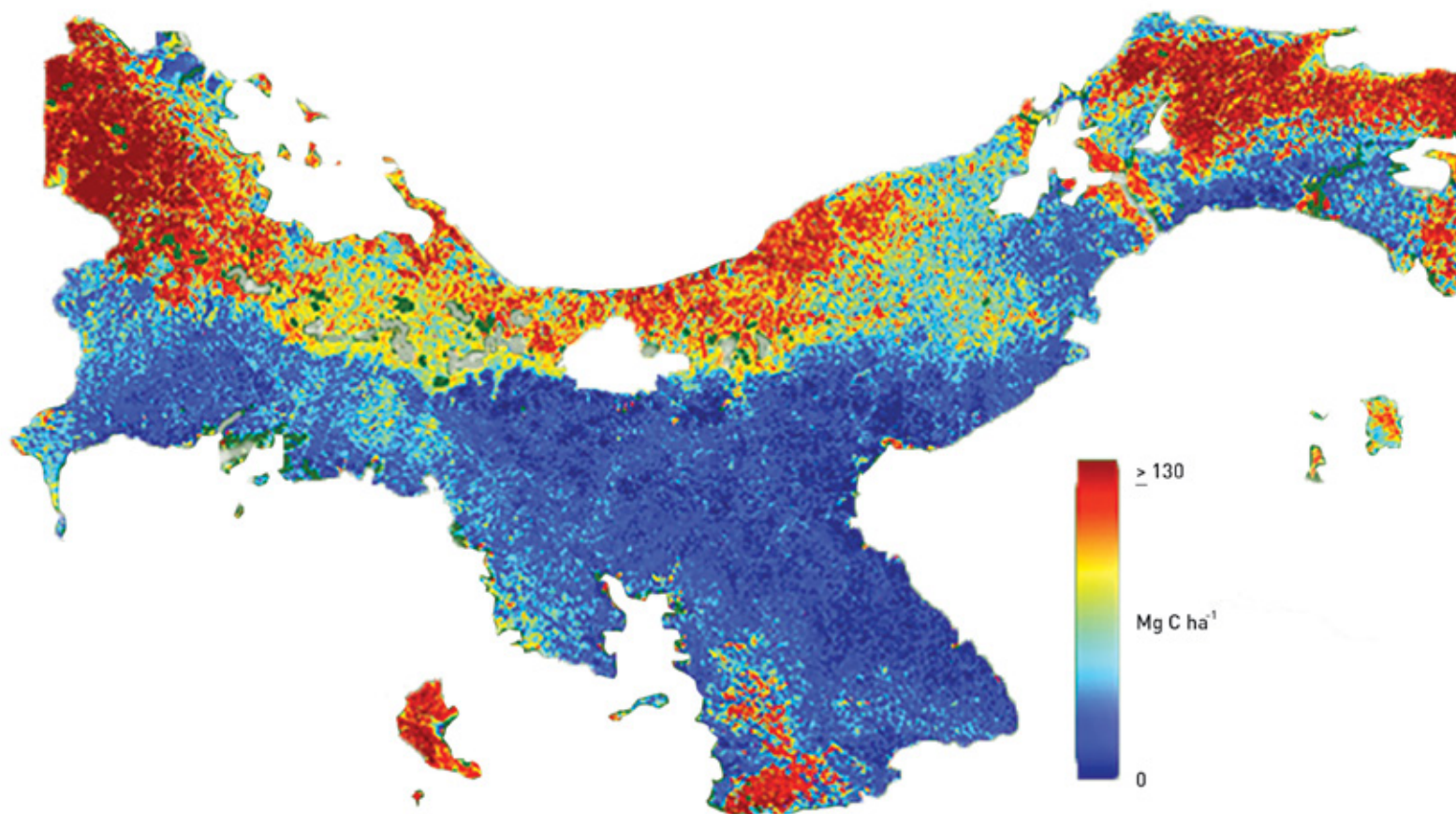
LiDAR data taken from 2,000 meters above ground, and satellite data on environmental features like topography and rainfall patterns.

In 2018, NASA will deploy an advanced LiDAR system called the Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) instrument from the International Space Station to measure global forest biomass. The European Space Agency's carbon-monitoring Biomass satellite will add another eye in the sky in 2021. These instruments can resolve images at about four hectares per pixel—ForestGEO's partnership provides important on-the-ground data to improve the accuracy of satellite-based data collection.

LiDAR proporciona una vista del dosel en múltiples capas que es casi imposible de reconstruir solo con las observaciones en tierra

de REDD + de las Naciones Unidas. Las mediciones aerotransportadas permiten una cartografía relativamente fácil del carbono forestal a través de paisajes, incluso en terrenos remotos o irregulares, pero las nuevas tecnologías se deben verificar contra medidas de campo.

En un estudio realizado en el 2013, dirigido por Gregory Asner de la Carnegie Institution de Stanford, científicos como Muller-Landau crearon el primer mapa nacional de carbono para Panamá utilizando datos de campo de ForestGEO, datos LiDAR de 2,000 metros sobre el suelo, además de datos satelitales sobre características ambientales como la topografía y los patrones de lluvia.



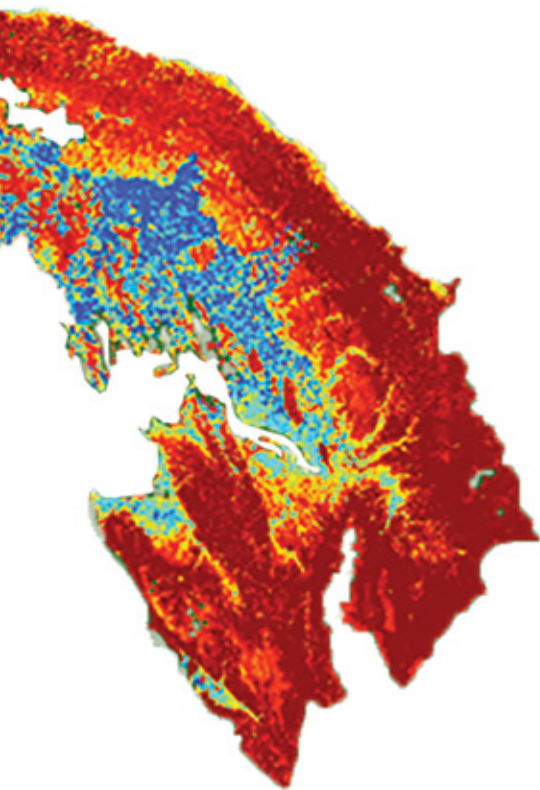
“There are not a lot of plots that are four hectares or larger anywhere. Establishing such large plots and collecting high-quality data in them is no small task,” says Muller-Landau. “We need to invest much more in ground datasets to calibrate these wonderful tools, to strengthen the links between ground-based and remote-sensing research.”

En el 2018, la NASA desplegará un avanzado sistema LiDAR denominado Instrumento de Investigación de Dinámica de Ecosistemas Globales (GEDI por sus siglas en inglés) desde la Estación Espacial Internacional para medir la biomasa forestal global. El satélite de Biomasa de monitoreo de carbono de la Agencia Espacial Europea agregará otro ojo en el cielo en el 2021. Estos instrumentos pueden convertir imágenes en aproximadamente cuatro hectáreas por píxel. La asociación de ForestGEO proporciona importantes datos sobre el terreno para mejorar la precisión de la colecta de datos con satélites.

“No hay muchas parcelas de cuatro hectáreas o más en otros lugares. El establecimiento de grandes parcelas y la colecta de datos de alta calidad de estas parcelas no es una tarea pequeña”, comenta Muller-Landau. “Necesitamos invertir mucho más en conjuntos de datos de terreno para calibrar estas maravillosas herramientas, para fortalecer los vínculos entre la investigación sobre el terreno y la teledetección”.

¹ Fisher, J. B., Sweeney, S., Brzostek, E. R., Evans, T. P., Johnson, D. J., Myers, J. A., Bourg, N. A., Wolf, A. T., Howe, R. W. and Phillips, R. P. 2016. Tree-mycorrhizal associations detected remotely from canopy spectral properties. *Global Change Biology* 22, 2596–2607. DOI: 10.1111/gcb.13264

² Asner, G. P., Mascaro, J., Anderson, C., Knapp, D. E., Martin, R. E., Kennedy-Bowdoin, T., van Breugel, M., Davies, S. J., Hall, J. S., Muller-Landau, H. C., Potvin, C. J., Sousa, W., Wright, S. J. and Bermingham, E. 2013. High-fidelity national carbon mapping for resource management and REDD+. *Carbon Balance and Management* 8(7): 1–14. DOI: 10.1186/1750-0680-8-7



Panama's first high-definition carbon map shows rich stocks of stored carbon in the wetter forests of the Caribbean coast and in the Darien Province. | El primer mapa de carbono de alta definición de Panamá muestra ricas reservas de carbono almacenado en los bosques más húmedos de la costa caribeña y en la provincia de Darién. Courtesy of | Cortesía de: Asner et al, 2013.

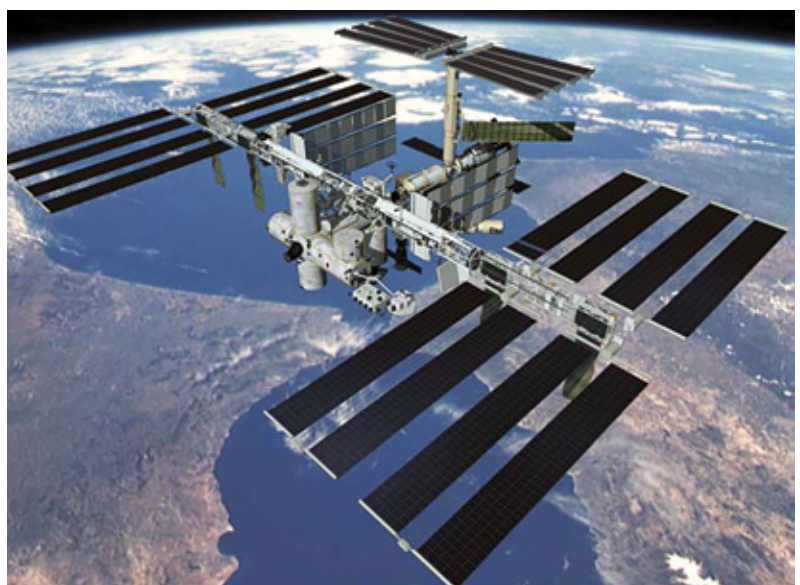


Top right: Helen Muller-Landau, seen here with a drone used to map the forest canopy at Barro Colorado Island in Panama. By: Jorge Alemán, STRI.

Bottom right: Advanced LIDAR systems onboard the International Space Station may one day capture global ecosystem dynamics, but remote-sensing technology still requires calibration against ground-based datasets. Courtesy of: NASA

Arriba, der.: Helen Muller-Landau, con un drone utilizado para mapear el dosel del bosque en Isla Barro Colorado en Panamá. Por: Jorge Alemán, STRI

Debajo, der.: Los avanzados sistemas LIDAR a bordo de la Estación Espacial Internacional podrían algún día capturar la dinámica global de los ecosistemas, pero la tecnología de teledetección aún requiere calibración en base a conjuntos de datos terrestres. Cortesía de: NASA





Where do we go from here?

¿Hacia dónde vamos?

My job's an enjoyable one for many reasons. For one, the ForestGEO network is at the cutting edge of forest science. It started off in the eighties as a scientific debate about whether tropical diversity arose by chance assembly or because of local environmental factors. Now, it's a global conversation about much more, not least how climate change is impacting forests now and in the years to come. Forests around the world are rapidly changing, and our network is in place to document these changes in real time. Each plot serves as an observatory where scientists can study not just how trees respond, but also animals, fungi, bacteria, soil, water and much more.

Secondly, I love the diversity of forests in the network. We work in everything from savannahs in Africa to Borneo's great, giant forests, the redwoods of California, and the Atlantic coastal forests in Brazil. In many places, the plots in the network are deliberately located so as to study increasingly rare, old-growth and native species. It's a wonderful privilege for a biologist to see and interact with these forests and understand their biology better.

Most important, however, is that the network is an incredibly diverse mix of people, representing 26 countries, ranging from students and postdocs to senior researchers in a wide range of scientific fields. ForestGEO brings us together and creates opportunities, particularly for younger scientists, to learn new skills and gain access to a vast network of data and shared expertise. We organize annual

Mi trabajo es muy agradable por muchas razones. Por un lado, la red ForestGEO está a la vanguardia de la ciencia forestal. Comenzó en la década de los ochenta como un debate científico sobre si la diversidad tropical surgió por casualidad o por los factores ambientales locales. Ahora, es una conversación global sobre mucho más, no menos cómo el cambio climático está afectando los bosques ahora y en los próximos años. Los bosques de todo el mundo están cambiando rápidamente, y nuestra red está en el lugar para documentar estos cambios en tiempo real. Cada parcela sirve como un observatorio donde los científicos pueden estudiar no sólo cómo responden los árboles, sino también los animales, los hongos, las bacterias, el suelo, el agua y mucho más.

En segundo lugar, me encanta la diversidad de bosques en la red. Trabajamos en todo, desde las sabanas en África hasta los bosques gigantes de Borneo, las secuoyas de California y los bosques costeros del Atlántico en Brasil. En muchos lugares, las parcelas de la red se localizan deliberadamente para estudiar especies cada vez más raras, antiguas y nativas. Es un privilegio maravilloso para un biólogo ver e interactuar con estos bosques y entender mejor su biología.

Lo más importante, sin embargo, es que la red es una mezcla increíblemente diversa de personas, representando a 26 países, que van desde estudiantes e investigadores de post doctorado, a investigadores de alto rango en una amplia gama



Stuart Davies (right) at 2015 Symposium and Memorandum of Understanding signed between the Smithsonian Institution and Singapore's Nanyang Technological University. The MOU facilitates partnership in research and education on tropical ecology and environmental change in Asia. | Stuart Davies (a la derecha) en el Simposio de 2015 y el Memorando de Entendimiento (MOU) firmado entre la Institución Smithsonian y la Universidad Tecnológica de Singapur Nanyang. El MOU facilita la asociación en investigación y educación sobre ecología tropical y cambio ambiental en Asia.

workshops to facilitate the exchange of ideas. In 2016, representatives from over 20 countries attended our most recent workshop in China. Such opportunities allow us to learn about each other's forests as well as each other's cultures.

ForestGEO's mission—advancing long-term research on the world's forests—goes hand in hand with its capacity-building goals. Our network recognizes that the future of forests depends on places where forests remain. In countries like Ecuador, Cameroon, Malaysia and other regions in the tropical belt, forests contain the majority of the planet's terrestrial diversity. Tropical trees are disproportionately responsible for storing atmospheric carbon dioxide in their wood. Partnering with institutions in countries in the tropics is crucial for strengthening science capacity for the people who manage these forests in the era of climate change.

We're also partnering with institutions like NASA, the United States Department of Energy and the European Space Agency to pair ForestGEO's on-the-ground research activities with vegetation modeling, and remote sensing by satellites, space stations or

de campos científicos. ForestGEO nos reúne y crea oportunidades, especialmente para que científicos más jóvenes aprendan nuevas habilidades y tengan acceso a una vasta red de datos y conocimientos compartidos. La red también organiza talleres anuales para facilitar el intercambio de ideas. En el 2016, representantes de más de 20 países asistieron a nuestro más reciente taller en China. Estas oportunidades nos permiten conocer los bosques de cada uno, así como las culturas de cada quien.

La misión de ForestGEO—el avance de la investigación a largo plazo en los bosques del mundo—va de la mano con sus metas de creación de capacidad. Nuestra red reconoce que el futuro de los bosques depende de los lugares donde aún quedan bosques. En países como Ecuador, Camerún, Malasia y otras regiones de la zona tropical, los bosques contienen la mayoría de la diversidad terrestre del planeta. Los árboles tropicales son desproporcionadamente responsables de almacenar el dióxido de carbono atmosférico en su madera. La asociación con instituciones en países en los trópicos es crucial para fortalecer la capacidad científica de



drones. Our global network of plots provides high-resolution ground truthing for models based on remote-sensing data, which scientists use to predict how climate change or land-use changes will impact the health of the world's forests.

In over three decades of advancing forest science, we've seen technological advances that allow us to maintain and analyze big datasets, study forests from the skies, and also put belowground biota under the microscope. We now use next-generation gene-sequencing approaches to study fungi and bacteria. These microbes control forest dynamics in fundamental ways—by regulating carbon and nutrient cycles they lay the groundwork for larger organisms such as trees to flourish. In the decades to come, ForestGEO scientists can apply the same standardized approaches to study microbes as we have done for the trees in our plots. As forests change, it is especially important to understand how microbes may be driving these changes.

At its core, however, ForestGEO remains a conversation driven by people who are trying to understand the biology of species—how they affect each other, and how they are influenced by environmental drivers. A diversity of voices ensures that we can meet the challenges of understanding the similar diversity of the world's forests.

Top left: From left, Pulcherie Bissiengou (Rabi plot, Gabon), Amani Ngoma (Ituri plot, DR Congo), Paul Musili (Mpala plot, Kenya) and Suzanne Lao (ForestGEO database administrator), at the 2015 Africa Database Workshop in Washington, DC.

Bottom left: ForestGEO researchers gathered at the 60-hectare Jianfengling plot in Hainan, China, for the 2016 data analysis workshop, supported by the National Science Foundation's Dimensions of Biodiversity Program, in partnership with the Chinese Academy of Forestry and the Chinese Academy of Sciences.

Arriba, izq.: De izquierda, Pulcherie Bissiengou (parcela Rabi, Gabon), Amani Ngoma (parcela Ituri, RD Congo), Paul Musili (parcela Mpala, Kenya) and Suzanne Lao (administradora de bases de datos de ForestGEO), en el taller de Base de Datos de África del 2015 en Washington, DC.

Abajo, izq.: Los investigadores de ForestGEO se reunieron en la parcela de 60 hectáreas de Jianfengling en Hainan, China, para el taller de análisis de datos del 2016, con el apoyo del Programa de Dimensiones de la Biodiversidad de la Fundación Nacional de Ciencias de los EE.UU., en asociación con la Academia China de Silvicultura y la Academia China de Ciencias.

Photos courtesy of | Fotos cortesía de: ForestGEO

las personas que manejan estos bosques en la era del cambio climático.

También nos asociamos con instituciones como la NASA, el Departamento de Energía de los Estados Unidos y la Agencia Espacial Europea para conectar las actividades de investigación de ForestGEO con el modelado de la vegetación y la tele-observación por medio de satélites, estaciones espaciales o aviones no tripulados. Nuestra red global de parcelas proporciona pruebas de veracidad in situ de alta resolución para modelos basados en datos de tele-detección, que los científicos utilizan para predecir cómo el cambio climático o los cambios en el uso de la tierra afectarán la salud de los bosques del mundo.

En más de tres décadas de avances en la ciencia forestal, hemos visto avances tecnológicos que nos permiten mantener y analizar grandes conjuntos de datos, estudiar bosques desde el cielo, y también poner la biota bajo el microscopio. Ahora usamos secuenciación genética de próxima generación para estudiar hongos y bacterias. Estos microbios controlan la dinámica forestal de maneras fundamentales: al regular los ciclos de carbono y nutrientes, se establecen las bases para que los organismos más grandes como los árboles prosperen. En las décadas venideras, los científicos de ForestGEO podrán aplicar los mismos enfoques estandarizados para estudiar los microbios como lo han hecho con los árboles de las parcelas actuales. A medida que los bosques cambian, es especialmente importante entender cómo los microbios pueden estar impulsando estos cambios.

En su núcleo, sin embargo, ForestGEO sigue siendo una conversación conducida por la gente que intenta entender la biología de las especies—cómo se afectan mutuamente, y cómo son influenciadas por conductores ambientales. Una diversidad de voces garantiza que podamos afrontar el reto de entender la diversidad similar de los bosques del mundo.



MOSAIC

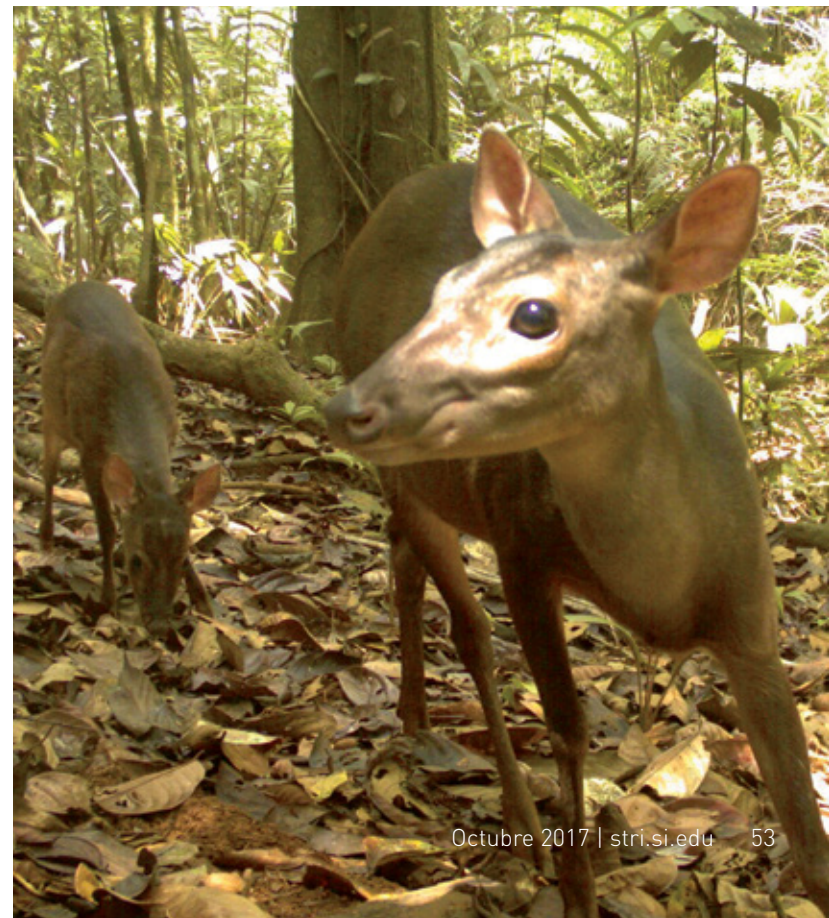
MOSAICO

ForestGEO's Vertebrate Program developed standard protocols to study wildlife: 50 unbaited camera traps placed in a 1 km² grid, to capture lone hunters and herds of herbivores, curious creatures and elusive ones.

Photos courtesy of | *Fotos cortesía de:* ForestGEO Camera Trapping Database



El Programa de Vertebrados de ForestGEO desarrolló protocolos estándar para el estudio de la vida silvestre: 50 cámaras-trampas sin carnada colocadas en una cuadrícula de 1 km² para capturar imágenes de cazadores solitarios y grupos de herbívoros, criaturas curiosas y otras esquivas.



Notes on the future

Notas sobre el futuro



~1980s: Stephen Hubbell, Distinguished Professor (**Profesor Distinguido**), University of California, Los Angeles.

“In twenty years, when the remaining tropical forests will have become even more threatened than now, we will need a far better understanding of how they work than we have today,” wrote scientists Stephen Hubbell and Robin Foster in 1992¹. Then, ForestGEO did not span the globe, but there was plenty to learn from the first three plots.

In Panama’s 50-hectare plot at Barro Colorado, censuses in 1982 and 1985 revealed rapid forest changes, with some rare species disappearing while others grew more common. In 1986 at Malaysia’s Pasoh plot, scientists counted 802 species in 50 hectares—in other words, a quarter of all known species from the region’s original lowland rainforests (an area of 134,000 km²) coexisted in a 0.5 km² sliver of land. In India in 1987, researchers learned the hard

“En veinte años, cuando los bosques tropicales restantes estén más amenazados de lo que están ahora, necesitaremos una mejor comprensión de cómo funcionan de la que tenemos en el presente”, escribieron los científicos Stephen Hubbell y Robin Foster en 1992¹. En ese entonces, ForestGEO no abarcaba el planeta, pero había mucho que aprender de las tres primeras parcelas.

En la parcela de 50 hectáreas en Isla Barro Colorado, Panamá, los censos de 1982 y 1985 revelaron rápidos cambios en el bosque, con algunas especies raras desapareciendo mientras que otras se hicieron más comunes. En 1986, en la parcela de Pasoh en Malasia, los científicos contaron 802 especies en 50 hectáreas—es decir, una cuarta parte de todas las especies conocidas de los bosques

way how to proof their work against a formidable forest shaper—elephants. “Stone markers are necessary at Mudumalai,” noted scientist Richard Condit in a 1998 guidebook² to building long-term, large forest plots, because “elephants frequently pull stakes out of the ground.”

The guidebook speculated on future technologies to aid research: “In the not-too-distant future, field workers [will] use hand-held computers to record [data, and the] results will be downloaded directly into a large computer.” Back then, there were just 12 large plots, and Condit estimated that there might never be more than 30 total. A global network of cooperation seemed like science fiction: “As a scientific project, a [large] forest plot is akin to a space-station or probe to Mars—[a] comprehensive scientific tool used jointly by a large number of scientists from several disciplines,” he observed.

As a scientific project, a large forest plot is akin to a space-station or probe to Mars

Today’s speculative future takes off where Hubbell and Foster began. Our remaining forests continue to be more threatened than they were in the 80s. The threats include climate change, global trade and the erasure and remapping of grand old ecosystems into novel, fragmented ones. Only now, ForestGEO can track changes using 65 forest “space stations,” high-tech computers, old-school field work and hundreds of scientists at the helm.

lluviosos originales de la región (un área de 134,000 km²) coexistieron en una franja de tierra de 0.5 km². En la India en 1987, los investigadores aprendieron de la manera más difícil cómo probar su trabajo contra un formidable tallador de bosques—los elefantes. “Los marcadores de piedra son necesarios en Mudumalai”, observó el científico Richard Condit en una guía de 1998² para construir parcelas forestales a largo plazo, porque, “con frecuencia, los elefantes arrancan las estacas del suelo”.

Como un proyecto científico, una parcela forestal grande, es semejante a una estación espacial o una sonda a Marte

Esta guía especulaba sobre las tecnologías futuras para ayudar a la investigación: “En un futuro no muy lejano, los trabajadores de campo usarán computadoras portátiles para registrar datos, y los resultados se descargarán directamente en una computadora de mayor capacidad”. En ese entonces, sólo habían 12 parcelas grandes, y Condit estimó que no podría haber más de 30 en total. Una red global de cooperación parecía ciencia ficción: “Como un proyecto científico, una parcela forestal grande es semejante a una estación espacial o una sonda a Marte—una herramienta científica integral usada conjuntamente por un gran número de científicos de varias disciplinas”, observó.

El futuro especulativo de hoy despega donde Hubbell y Foster iniciaron. Nuestros bosques restantes siguen estando más amenazados de lo que estaban en los años ochenta. Las amenazas incluyen el cambio climático, el comercio mundial y la eliminación y reasignación de grandes y antiguos ecosistemas por unos nuevos y fragmentados. Solamente ahora, ForestGEO puede rastrear cambios usando 65 “estaciones espaciales” forestales, computadoras de alta tecnología, trabajo tradicional de campo y cientos de científicos al timón.

¹Hubbell, S. P. and Foster, R. B. 1992. Short-term dynamics of a neotropical forest: why ecological research matters to tropical conservation and management. *OIKOS* 63: 48–61.

²Condit, R. 1998. *Tropical Forest Census Plots: Methods and Results from Barro Colorado Island, Panama and a Comparison with Other Plots*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.



1990: BCI census team with Robin Foster, presently tropical ecologist at the Field Museum, Chicago (front row, left).
Equipo del censo en Isla Barro Colorado con Robin Foster, ahora ecologista tropical en el Field Museum, Chicago (primera fila, izquierda).



~1992: Sylvester Tan, Lambir plot leader, sorting specimens.
Líder de la parcela Lambir, organizando especímenes.
Photo by | Foto por: James LaFrankie



~1994: Richard Condit, STRI staff scientist (retired).
Científico de STRI (retirado).



~1987: Pash plot census team, with researcher James LaFrankie (top right) and Encik Ahmad, current Pash station head (fourth from right at back). | Equipo de censo de Pash, con el investigador James LaFrankie (derecha arriba) y Encik Ahmad, actual encargado de la estación de Pash (cuarta persona de derecha a izquierda).



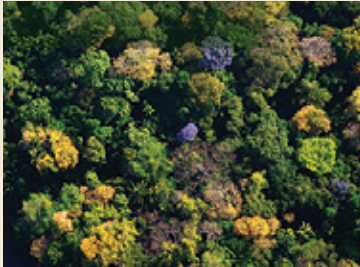
~1991: From right | De derecha: Gary Hartshorn, Pamela Hall, Peter Ashton, Takuo Yamakura, Nimal Gunatilleke, Robin Foster. Photo by | Foto por: Jim LaFrankie.



~1990s: Organization for Tropical Studies President (Presidente) Elizabeth Losos, 1st Director of CTFS (1ra Directora de CTFS). David Burslem, University of Aberdeen Professor (Profesor). Photo by | Foto por: James LaFrankie

ForestGEO in STRI News | ForestGEO en STRI News

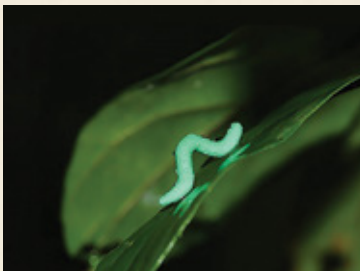
➔ www.stri.si.edu/sites/strinews



➔ **Is this the long-sought answer to the question of tropical biodiversity? | ¿Es esta la respuesta tan buscada a la interrogante de la biodiversidad tropical?**

Date | Fecha: 3.7.2017

LaManna, J.A. et al. 2017. *Science* 356.6345: 1389-1392. DOI: 10.1126/science.aam5678



➔ **Predators are real lowlifes | Engañando a los depredadores con orugas de plastilina**

Date | Fecha: 22.5.2017

Roslin, T. et al. 2017. *Science* 356.6339: 742-744. DOI: 10.1126/science.aaj1631



➔ **Lianas can suppress tree growth in young tropical forests for decades | Las lianas pueden reprimir por décadas el crecimiento de árboles en bosques tropicales jóvenes**

Date | Fecha: 27.2.2017

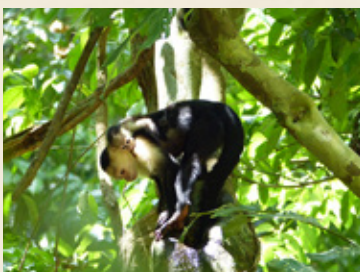
Lai, H.R. et al. 2017. *Ecology* 98.4: 1062-1070. DOI: 10.1002/ecy.1734



➔ **Measuring trees with the speed of sound | Midiendo árboles con la velocidad del sonido**

Date | Fecha: 16.1.2017

Gilbert, G. et al. 2017. *Applications in Plant Sciences* 4:12:1600060. DOI: 10.3732/apps.1600060



➔ **Monkey movements explained by forest structure in Panama | En Panamá, los movimientos de los monos se explican por la estructura del bosque**

Date | Fecha: 17.10.2016



McLean, K.A. et al. 2017. *Landscape Ecology* 31:1849-1862. DOI: 10.1007/s10980-016-0367-9

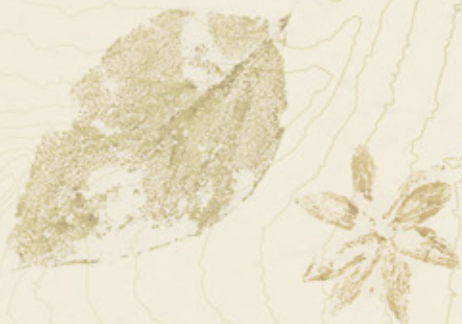
Read more issues of TRÓPICOS at
Lea más ediciones de TRÓPICOS en www.stri.si.edu

GET IN TOUCH!
WE'D LOVE TO KNOW WHAT YOU THINK:

¡CONTÁCTENOS!
NOS ENCANTARÍA SABER SU OPINION:

strinews@si.edu

 /SmithsonianPanama  Stri_panama





Smithsonian Tropical Research Institute

stri.si.edu/sites/tropicos