

Capítulo



**PUERTO RICO Y LAS
ISLAS VÍRGENES DE LOS
ESTADOS UNIDOS**

INVENTARIOS FORESTALES DE PUERTO RICO Y LAS ISLAS VÍRGENES DE LOS ESTADOS UNIDOS

Thomas Brandeis, Servicio Forestal de los Estados Unidos, Estación de Investigación del Sur, Inventario y Análisis Forestal, 4700 Old Kingston Pike, Knoxville, Tennessee, 37934, Estados Unidos de América

Humfredo Marcano Vega, Servicio Forestal de los Estados Unidos, Estación de Investigación del Sur, Inventario y Análisis Forestal, Jardín Botánico SUR, 1201 Ceiba, San Juan, Puerto Rico, 00926, Estados Unidos de América

23.1 INVENTARIOS PERIÓDICOS DE PUERTO RICO (1980-1990)

Antes de la década de 1990, el Programa de Inventario y Análisis Forestal (FIA, por sus siglas en inglés), el cual nominalmente era un inventario forestal nacional, era implementado por las Estaciones de Investigación regionales del Servicio Forestal de los Estados Unidos de América. En esa época, había inicialmente seis regiones separadas que posteriormente se consolidaron en cuatro Estaciones de Investigación regionales: del Noroeste del Pacífico, de las Montañas Rocosas, del Norte, y del Sur. En aquel momento, al igual que en la actualidad, el Programa de FIA de la Estación de Investigación del Sur (SRS, por sus siglas en inglés) era el responsable de los inventarios forestales de Puerto Rico y de las Islas Vírgenes de los Estados Unidos. El Programa SRS-FIA realizó inventarios forestales periódicos en un ciclo de diez años aproximadamente. Los equipos de campo trabajaban en un estado durante un año, completando las mediciones en todas las unidades de muestreo (UM) del estado, y luego se trasladaban a otro estado al año siguiente. Estos datos de campo se procesaban y se reportaban en una serie de publicaciones especiales del Servicio Forestal. Estas mediciones cíclicas se llevaron a cabo desde finales de la década de los 1960 hasta finales de la década de los 1990, y todos los estados del sur de los Estados Unidos de América fueron remedidos tres o cuatro veces. Para un mayor detalle de la historia sobre los primeros años del Programa de FIA, se puede consultar LaBau *et al.* (2007) y otra documentación del programa disponible en el sitio web del Programa de FIA (www.fia.fs.fed.us/library/index.php).

Los puntos de muestreo se situaron en una malla de aproximadamente 4,8 kilómetros (km) por 4,8 km, lo que equivale a 3 millas por 3 millas, o cada 2 304 hectáreas (ha); sin embargo, esto varió ligeramente a lo largo del tiempo, por región y en algunas zonas. La intensidad del muestreo se incrementó en las zonas con bosques de especial interés económico, sobre todo en las planicies costeras de pinos del sureste. Las mediciones de campo se realizaron dentro de un conglomerado de parcelas de radio variable con submuestreo para la regeneración de los árboles. Durante este período se realizaron inventarios forestales periódicos en Puerto Rico, pero no en las Islas Vírgenes de los Estados Unidos. Los métodos utilizados en Puerto Rico eran versiones simplificadas de los utilizados en los estados del sur de los Estados Unidos de América.

El primer inventario forestal de Puerto Rico se completó en 1980; su objetivo era coherente con los objetivos del inventario forestal de los Estados Unidos de América continental: evaluar el potencial de producción de madera de los bosques de la isla (Birdsey y Weaver, 1982). En toda la isla principal de Puerto Rico, se establecieron 978 puntos de muestreo permanentes a lo largo de una malla con una separación de 3,0 km por 3,0 km (1,9 millas por 1,9 millas, o cada 900 ha) (ver el Cuadro 23.1).

Esta intensidad se derivó de los errores de muestreo estimados a partir de un trabajo de campo anterior en los bosques de Puerto Rico (Birdsey y Weaver, 1982). Las islas más pequeñas y boscosas de Vieques, Culebra y Mona no se incluyeron en el inventario.

Para ello, se realizó una estimación de la superficie forestal en toda la isla para las zonas productivas y no productivas a nivel comercial, a partir de fotografías aéreas, aunque la cobertura fue incompleta. Se instalaron parcelas de muestreo permanentes en dos de las seis zonas de vida de Holdridge en la isla (descritas en Ewel y Whitmore, 1973) que se consideraron con potencial para la producción comercial de madera: los bosques húmedos subtropicales y los bosques muy húmedos subtropicales. Estas dos zonas de vida incluían 437 puntos de muestreo, 133 de los cuales eran forestales. Las dos zonas de vida y cuatro categorías de suelo se utilizaron para estratificar las parcelas. Se excluyeron del estudio los bosques públicos, las llanuras inundables, las zonas urbanas, los manglares, las zonas con suelos pobres, las zonas de vida subtropicales secas, las pendientes escarpadas (más del 60%) y las cuencas hidrográficas críticas con alta pluviosidad, por lo que solo se instalaron parcelas de inventario en aproximadamente la mitad de la superficie total de la isla.

Las unidades de muestreo (UM) de campo instaladas eran una variación simplificada de aquellas utilizadas en el sur de los Estados Unidos de América. Se conformaban por un conglomerado de tres parcelas de radio variable en cada punto de muestreo sobre el terreno para medir los árboles con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 12,7 centímetros (cm). Cada árbol medido en la parcela de radio variable representa 2,5 metros cuadrados (m^2) de área basal por hectárea, o $0,83 m^2$ de área basal por hectárea cuando las parcelas estaban agrupadas. Los árboles con un DAP menor de 12,7 cm se contaron en parcelas de 3,6 m de radio fijo (aproximadamente $40 m^2$) centradas alrededor de los centros de las parcelas de radio variable. Cinco años después del primer inventario, el Programa SRS-FIA elaboró una estimación más exhaustiva de la superficie forestal a partir de fotografías aéreas más recientes y representando toda la isla. La estimación fotográfica aérea de la cobertura forestal se amplió para incluir todos los tipos de bosque, excepto los bosques montanos y las plantaciones. Se volvió a examinar una submuestra de las parcelas del inventario de 1980 instaladas en bosques con potencial comercial para actualizar los resultados del muestreo (Birdsey y Weaver, 1987).

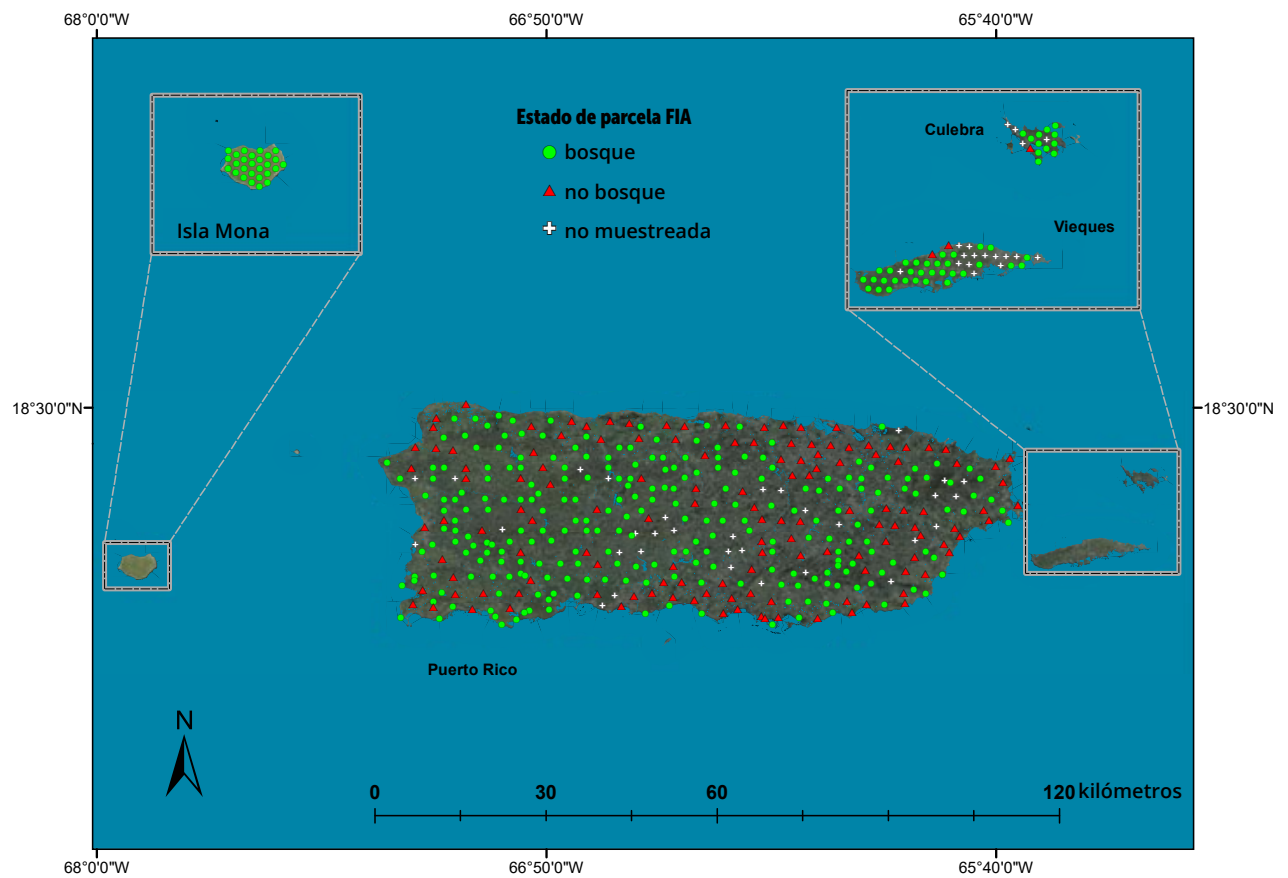
Los datos recopilados durante la actualización del muestreo se ampliaron para incluir los factores de erosión, la hidrología y las condiciones de explotación, así como las mediciones de las copas y las ramas de los árboles. Los bosques de la isla se volvieron a medir en 1990 utilizando la metodología actualizada de los levantamientos anteriores. Se volvieron a medir las 437 parcelas de muestreo permanentes instaladas en 1980 para confirmar su estado y se midieron 167 parcelas boscosas (Franco, Weaver y Eggen-McIntosh, 1997).

23.2 INVENTARIO Y ANÁLISIS FORESTAL ANUALIZADO DE PUERTO RICO Y LAS ISLAS VÍRGENES DE LOS ESTADOS UNIDOS, 2001-PRESENTE

A mediados de la década de 1990, el Programa de FIA hizo la transición hacia un diseño de inventario anualizado descrito en Brandeis (2003). A partir de 2001, el diseño anualizado del FIA se implementó en Puerto Rico con algunas modificaciones en el diseño de muestreo, la intensidad del muestreo y la distribución de las UM de campo, que se describen en las secciones posteriores de este capítulo (Brandeis, 2003, 2011) (ver Cuadro 23.1 y Figura 23.1). Aunque algunos revisores técnicos creían que el diseño del FIA no permitiría muestrear adecuadamente los bosques insulares de gran diversidad debido a la superficie relativamente pequeña muestreada por cada parcela y a la falta, en aquel momento, de la recopilación de datos específicos de la isla, el Programa de FIA adaptó con éxito su programa de Inventario Forestal Nacional (IFN) a los bosques insulares del Caribe con complementos y modificaciones relativamente menores. Entre los ejemplos de estos cambios se incluyen los descriptores de las clases de uso y cobertura de la tierra aplicables a las islas, y las ecuaciones de volumen y biomasa para las especies arbóreas insulares. El nuevo diseño de inventario forestal sistemático y anualizado se aplicó a las Islas Vírgenes de los Estados Unidos por primera vez en 2004 (ver Cuadro 23.2 y Figura 23.2). Los resultados del IFN 3 de Puerto Rico se publican en Brandeis, Helmer y Oswalt (2007); el IFN 4 en Brandeis y Turner (2013); y el IFN 5 en Marcano Vega (2019). Los resultados del primer IFN de las Islas Vírgenes de Estados Unidos se publican en Brandeis y Oswalt (2007) y el IFN 2 en Marcano Vega (2020).

FIGURA 23.1

Diseño de muestreo del Inventario Forestal Nacional de Puerto Rico



Las fronteras mostradas y los nombres y las designaciones empleados en este mapa no implican, por parte de la FAO, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. Las líneas discontinuas en los mapas representan fronteras aproximadas respecto de las cuales puede que no haya todavía pleno acuerdo

Nota: FIA: Inventario y Análisis Forestal.

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 23.1

Descripción histórica del Inventario Forestal Nacional de Puerto Rico

Ciclo del inventario	Período de ejecución	Nivel	Diseño de muestreo	Número de unidades de muestreo
IFN 1	1980	Nacional	Sistemático	978
IFN 2	1990	Nacional	Sistemático	978
IFN 3	2001-2004	Nacional	Sistemático	514
IFN 4	2006-2009	Nacional	Sistemático	550
IFN 5	2010-2014	Nacional	Sistemático	574
IFN 6	2016-2019	Nacional	Sistemático	581

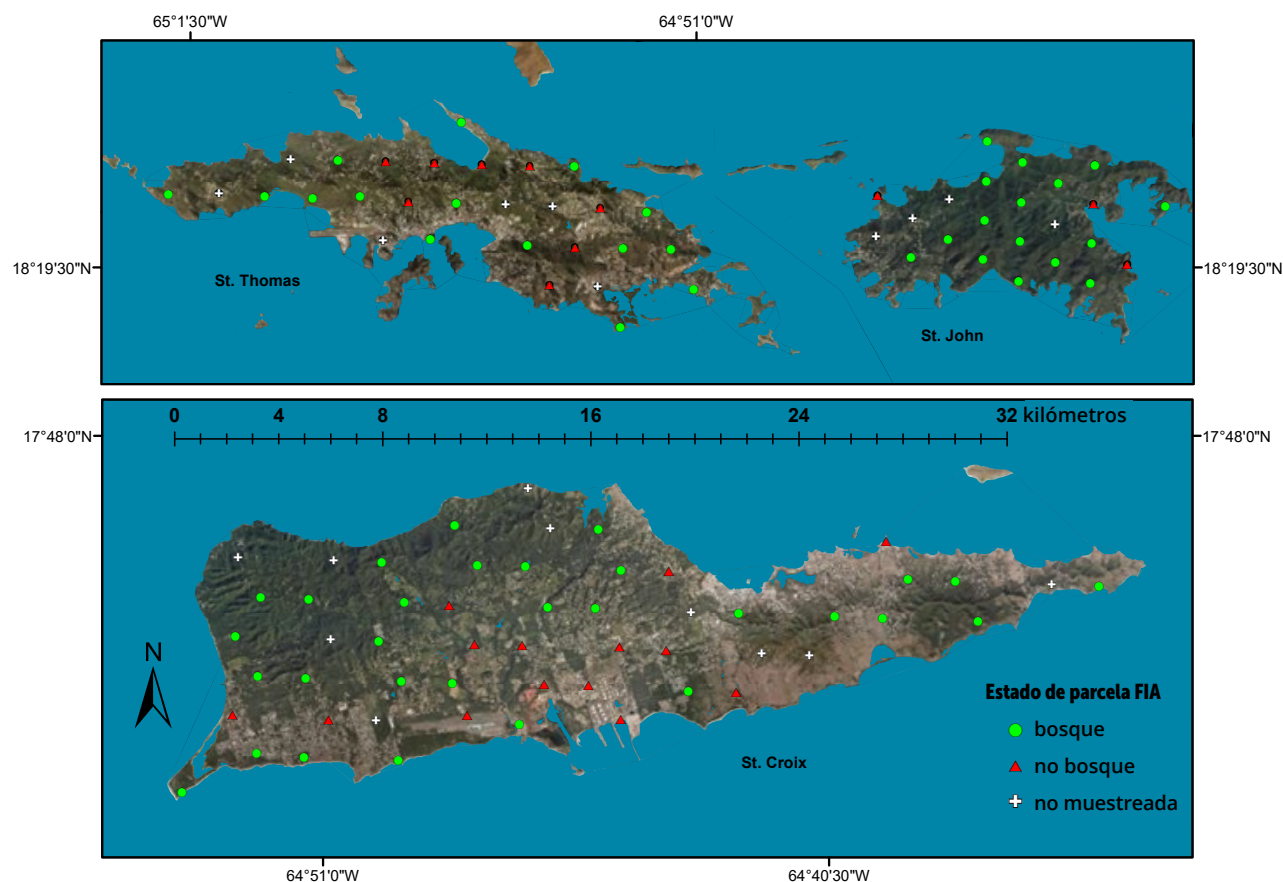
CUADRO 23.2

Descripción histórica del Inventario Forestal Nacional de las Islas Vírgenes de los Estados Unidos

Ciclo del inventario	Período de ejecución	Nivel	Diseño de muestreo	Número de unidades de muestreo
IFN 1	2004	Nacional	Sistemático	109
IFN 2	2009	Nacional	Sistemático	114
IFN 3	2014	Nacional	Sistemático	116
IFN 4	2019	Nacional	Sistemático	116

FIGURA 23.2

Diseño de muestreo del Inventario Forestal Nacional de las Islas Vírgenes de los Estados Unidos



Las fronteras mostradas y los nombres y las designaciones empleados en este mapa no implican, por parte de la FAO, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. Las líneas discontinuas en los mapas representan fronteras aproximadas respecto de las cuales puede que no haya todavía pleno acuerdo

Nota: FIA: Inventario y Análisis Forestal.

Fuente: Elaboración propia.

23.3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

El Programa de FIA utiliza definiciones coherentes para tierras forestales, volumen y biomasa en todo el ámbito geográfico de los Estados Unidos de América y las Mancomunidades y Territorios asociados. Las tierras forestales se definen principalmente por un mínimo del 10% de cobertura de copas de especies arbóreas, como se indica en el Cuadro 23.3. Los equipos de campo pueden utilizar múltiples métodos cuantitativos para determinar si la cobertura arbórea de una posible parcela alcanza el umbral mínimo. La elección del método depende del grado de cobertura de copas y de las condiciones del posible emplazamiento de la parcela. (Los detalles sobre estas definiciones y métodos se pueden encontrar en la base de datos del FIA [FIADB] y en la documentación de la Guía

de Campo, disponible en www.fia.fs.fed.us/library/database-documentation/index.php y www.fia.fs.fed.us/library/field-guides-methods-proc/index.php, respectivamente).

Se hizo una excepción a la definición de tierras forestales para las islas del Caribe. Normalmente, cualquier actividad humana en la tierra que impida la regeneración natural del bosque excluiría esa tierra de su inclusión como bosque. Sin embargo, se decidió que los sistemas agrícolas de sotobosque que mantienen la cobertura mínima de copas de los árboles, como la agrosilvicultura y el cultivo de café de sombra, se incluirían como tierras forestales. No obstante, estas tierras forestales reciben un código de uso de la tierra especial para poder diferenciarlas de otras tierras forestales. Las definiciones de tipo de bosque utilizadas por el Programa de FIA del Servicio Forestal de los Estados Unidos para implementar el IFN en Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los Estados Unidos se pueden encontrar en el Cuadro 23.3.

Las mediciones individuales de los árboles se utilizan para calcular el volumen, la biomasa y el carbono del árbol mediante una combinación de ecuaciones de volumen, ecuaciones alométricas y factores de expansión de la biomasa. Las estimaciones de volumen se realizan para el fuste principal del árbol y pueden expresarse como volúmenes brutos o netos, así como volumen cúbico total o volumen en pie tablar de madera aserrada. Las estimaciones de biomasa y carbono se dividen en múltiples componentes. Oswalt y Conner (2011) y Woodall *et al.* (2011) proporcionan más detalles sobre las metodologías utilizadas para realizar estas estimaciones.

© Servicio Forestal del USDA / Humberto Marciano Vega



CUADRO 23.3

Resumen de las definiciones utilizadas para implementar el Inventario Forestal Nacional en Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los Estados Unidos

Término	Definición	Variables y umbrales
Bosque	Tierras forestales accesibles - Las tierras forestales que tienen al menos un 10% de cobertura de copas de especies arbóreas vivas de cualquier tamaño o han tenido al menos un 10% de cobertura de copas de especies arbóreas vivas en el pasado, basándose en la presencia de tocones, madera muerta u otras evidencias. Además, la condición no está sujeta a usos no forestales que impidan la regeneración y sucesión normal de los árboles, como la poda regular, el pastoreo intensivo o las actividades recreativas. Para calificarse como tierras forestales, la superficie debe tener un tamaño mínimo de 0,4 hectáreas (1,0 acres) y una anchura de 36 metros (120,0 pies) medida de tronco a tronco desde el extremo exterior. Las franjas forestales deben tener 36 metros (120,0 pies) de ancho en una longitud continua de al menos 110 metros (363,0 pies) para cumplir el umbral de acre. Las franjas forestales que no cumplen estos requisitos se clasifican como parte de las tierras no forestales adyacentes. Árbol - Planta leñosa perenne, generalmente de gran tamaño, con un único tronco bien definido que lleva una copa más o menos definida; a veces se define como aquella que alcanza un diámetro mínimo de 7,6 centímetros y una altura mínima de 4,6 metros (15 pies) en la madurez.	Método Ocular - El método ocular solo se utiliza en zonas que evidentemente tienen un 0% de cobertura de copa viva o falta más de un 10% de cobertura de copa viva. Método de Acre - Si existe una condición cercana al 10% de cobertura de copa, y otros métodos pueden no representar con precisión la cobertura de copa debido a la distribución espacial irregular de las copas de los árboles (por ejemplo, la aglomeración), el método de Acre proporciona otra estimación del área total de la copa de los árboles dentro del radio de una parcela de 0,4 hectáreas (1 acre) situada dentro de la condición en cuestión. Método de Subparcela - Para estimar la cobertura con el método de las subparcelas, el equipo mide las copas de todos los árboles vivos, plántulas y árboles jóvenes en cada una de las cuatro subparcelas de 0,017 hectáreas (1/24 acres).
Otras tierras boscosas	Otras tierras boscosas - Otras tierras boscosas tienen al menos un 5%, pero menos de un 10%, de cobertura de copas de especies de árboles vivos de cualquier tamaño o han tenido al menos un 5%, pero menos de un 10%, de cobertura de copas de especies arbóreas en el pasado reciente, basándose en la presencia de tocones, madera muerta u otras evidencias. Otras tierras boscosas se reconocen como un subconjunto de las tierras no forestales y, por lo tanto, no se consideran actualmente una clase distinta de condición.	Véase las variables y umbrales para las Tierras forestales accesibles
Otras tierras	Tierras no forestales - Tierras que poseen menos del 10% de cobertura de copas de especies arbóreas independientemente de su tamaño (vivas e inexistentes) y, en el caso de las tierras forestadas, menos de 375 árboles establecidos por hectárea (150 por acre); o tierras que tienen suficiente cobertura de copas o fustes pero que están clasificadas como uso de tierras no forestales (ver criterios bajo uso actual de tierras no forestales). Las tierras no forestales incluyen áreas que tienen suficiente cobertura o fustes vivos para cumplir con la definición de tierras forestales, pero que no cumplen con los requisitos de dimensión para ser considerados como tal.	Véase las variables y umbrales para las Tierras forestales accesibles

CONTINUA CUADRO 23.3

Término	Definición	Variables y umbrales
Volumen	Volumen - Medida del contenido sólido del tronco del árbol utilizada para medir la cantidad de madera. <i>Volumen bruto de pie tablar</i> - Volumen total de pie tablar de madera dentro de la corteza, sin deducciones del total del pie tablar de madera defectuosa. <i>Volumen bruto en pies cúbicos</i> - Volumen total de pies cúbicos de madera dentro de la corteza sin deducciones de madera defectuosa podrida, inexistente o de copa quebrada. <i>Volumen neto de pie tablar</i> - Volumen bruto de pie tablar menos las deducciones del total del pie tablar de madera defectuosa. <i>Volumen neto en pies cúbicos</i> - Volumen bruto en pies cúbicos menos las deducciones de madera defectuosa podrida, inexistente y de copa quebrada.	Variables utilizadas para estimar el volumen de los árboles con un DAP de al menos 12,7 cm (5 pulgadas): Diámetro a la altura del pecho (DAP) - A menos que se dé una de las siguientes situaciones especiales, se debe medir el DAP a 1,37 metros (4,5 pies) por encima de la línea del suelo en el lado ascendente del árbol. Diámetro al cuello de la raíz (DCR) - Para las especies que requieren un diámetro al cuello de la raíz, se mide el diámetro en la línea del suelo o al cuello de la raíz del fuste, cualquiera que tenga mayor altura. En el caso de estos árboles, considere los grupos de troncos con una copa unificada y una raíz común como un solo árbol. Fórmula para calcular el DRC: $DRC = \sqrt{\sum_{i=1}^n Stem\ diameter_i^2}$ Longitud Total - Registrar la longitud total del árbol, con una aproximación de 30 cm (1,0 pie) desde el nivel del suelo hasta la copa del árbol. Longitud real - Registrar los árboles a los que les falta la copa (la copa de los árboles vivos está completamente desprendida; la copa de los árboles muertos está desprendida en más de un 50% del árbol). Madera defectuosa podrida/inexistente - Registrar el porcentaje en pies cúbicos de madera defectuosa podrida o inexistente en todos los árboles vivos mayores o iguales a 12,7 cm (5,0 pulgadas) de DAP/DCR y toda la madera muerta en pie mayor o igual a 12,7 cm (5,0 pulgadas).
Biomasa	Biomasa por encima del suelo (metodología regional) - Para la región sur, la biomasa total por encima del suelo se estima utilizando ecuaciones alométricas y se define como el peso por encima del suelo de la madera y la corteza en árboles vivos $\geq 2,5$ cm (1,0 pulgadas) de DAP/DCR desde el suelo hasta la punta del árbol, excluyendo todo el follaje (hojas, acículas), brotes, frutos y ramas $< 1,3$ cm (0,5 pulgadas) de diámetro. La biomasa se expresa en peso seco con estufa y las unidades son en toneladas. Biomasa por encima y por debajo del suelo (CRM, por sus siglas en inglés) - A nivel nacional, la biomasa por encima y por debajo del suelo se estima a partir del volumen de madera sana de cada árbol utilizando un método de relación de componentes que se aplica sistemáticamente en todas las regiones del FIA. <i>Biomasa bruta por encima del suelo</i> - Biomasa arbórea total, excluyendo el follaje y las raíces, sin deducciones de madera defectuosa en pies cúbicos podrida, inexistente o quebrada. <i>Biomasa neta por encima del suelo</i> - Biomasa bruta por encima del suelo menos las deducciones por la falta de madera defectuosa, copas rotas y una reducción por una proporción de madera defectuosa podrida para los árboles vivos en pie o la madera muerta en pie $\geq 12,7$ cm (5,0 pulgadas) DAP. <i>Biomasa por debajo del suelo</i> - Solo raíces gruesas. Además, la biomasa por encima del suelo neta total estimada mediante el método de relación de componentes se divide en los siguientes componentes: <i>Copa</i> - La parte del tronco principal de un árbol de especies maderables por encima del diámetro de la copa de 10,2 cm (4 pulgadas). <i>Ramas</i> - Todas las ramas de un árbol de especies maderables, excluyendo el tronco principal. <i>Fuste</i> - Tronco comercializable del árbol, incluye madera de tallo y corteza, desde un muñón de 1 pie hasta un diámetro superior de 4 pulgadas. <i>Tocón</i> - La parte de las especies maderables por debajo de 30 cm (1 pie) al nivel del suelo.	Ver variables y umbrales para Volumen. Las estimaciones regionales de biomasa se derivan de ecuaciones alométricas que utilizan el DAP y la longitud real. Las estimaciones de biomasa que utilizan el método de relación de componentes emplean un factor de expansión de la biomasa aplicado a la estimación del volumen para árboles con DAP $\geq 12,7$ cm (5 pulgadas) y ecuaciones alométricas que utilizan el DAP y la longitud real para árboles con DAP $\geq 2,5$ cm (1 pulgada) pero $< 12,7$ cm (5 pulgadas).

Fuente: Servicio Forestal del USDA (2020); Woudenberg et al. (2010).

CUADRO 23.4

Tipos de bosques reconocidos en Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los Estados Unidos

Isla	Tipo de bosque	Definición de tipo de bosque
Puerto Rico	Bosque seco subtropical	Se encuentra en zonas con una precipitación anual de entre 600 mm y 1 100 mm. <i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg., <i>Bucida buceras</i> L., <i>Cephalocereus royerii</i> (L.) Britton, y <i>Guaiacum officinale</i> L. son especies típicas del bosque seco de Puerto Rico. Las áreas de bosque seco más perturbadas tienen numerosos individuos de tronco pequeño de <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) deWit, <i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC., <i>Acacia macracantha</i> Humb. & Bonpl. y <i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.
	Bosque húmedo subtropical	Se encuentra en zonas con una precipitación anual de entre 1 000 mm y 2 200 mm. La zona de vida húmeda subtropical es la más extensa de Puerto Rico y cubre una amplia variedad de materiales parentales del suelo, clases topográficas y usos de la tierra que dan lugar a mezclas de especies muy diversas que suelen incluir <i>Tabebuia heterophylla</i> (DC.) Britton, <i>Spathodea campanulata</i> Beauv., <i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer, <i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth ex DC., <i>Roystonea borinquena</i> O.F. Cook, <i>Mangifera indica</i> L., <i>Cecropia peltata</i> L., <i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyermark & Frodin, y especies de los géneros <i>Nectandra</i> , <i>Ocotea</i> y <i>Coccoloba</i> .
	Bosque muy húmedo y pluvial subtropical	Se encuentra en zonas con precipitaciones anuales de entre 2 000 mm y 4 000 mm. <i>Dacryodes excelsa</i> Vahl., <i>Sloanea berteriana</i> Choisy, y <i>Manilkara bidentata</i> (A.DC.) son especies indicativas del tipo de bosque de tabonuco. <i>Cecropia peltata</i> L., <i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyermark & Frodin, y <i>Ochroma lagopus</i> Sw. son también comunes en los rodales de bosque húmedo en etapas tempranas de sucesión o de recuperación de la perturbación. Los cafetales de sombra de bosque muy húmedo contienen especies como <i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer, <i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd., <i>Inga vera</i> Willd. y <i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp.) O.F. Cook. El bosque de palmeras caracterizado por <i>Prestoea acuminata</i> (Willd.) H.E. Moore var. <i>montana</i> (Graham) A. Hend. & G. Galeano ocupa las elevaciones más altas que se encuentran en la zona de pluviselva subtropical.
	Bosque muy húmedo y pluvial montano bajo	Se encuentra en zonas con elevaciones entre 700 m y 1 000 m. Los tipos de bosque y sus especies típicas incluyen el tipo de bosque de palo colorado (<i>Cyrilla racemiflora</i> L., <i>Ocotea spathulata</i> Mez, <i>Micropholis chrysophylloides</i> Pierre y <i>Micropholis garciniaefolia</i> Pierre), el tipo de bosque de elfo (<i>Eugenia borinquensis</i> Britton, <i>Tabebuia rigida</i> Urban, <i>Weinmannia pinnata</i> L. y <i>Calycogonium squamulosum</i> Cogn.) y el tipo de bosque montano denso de palmeras (<i>Prestoea acuminata</i> (Willd.) H.E. Moore var. (Graham) A. Hend. & G. Galeano).
	Manglares	Los manglares conformados por <i>Rhizophora mangle</i> L., <i>Avicennia nitida</i> Jacq., <i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn. f. y <i>Conocarpus erectus</i> L. se encuentran a lo largo de las líneas costeras y los estuarios.
	Rodales sin existencias	Rodales con menos del 10% de árboles vivos.
Islas Vírgenes de los Estados Unidos	Bosque seco subtropical	Se encuentra en zonas con precipitaciones anuales de entre 600 mm y 1 100 mm. Algunas de las especies arbóreas nativas que son comunes en el bosque seco subtropical de las Islas Vírgenes de los Estados Unidos son el palo mulato [<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.], el palo de gas (<i>Amyris elemifera</i> L.), la alcaparra de Jamaica (<i>Capparis cynophallophora</i> L.), el manjack negro (<i>Cordia rickseckeri</i> Millsp.), el mampoo de agua (<i>Pisonia subcordata</i> Sw.), el guayaco (<i>Guaiacum officinale</i> L.), el alhelí blanco (<i>Plumeria alba</i> L.) y el tachuelo [<i>Pictetia aculeata</i> (Vahl) Urban]. En las zonas de bosque seco más perturbadas hay numerosos ejemplares de troncos más pequeños de zarcilla [<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) deWit], algarrobo (<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.), faique (<i>Acacia macracantha</i> Humb. & Bonpl.) y aroma [<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.].
	Bosque húmedo subtropical	Se encuentra en zonas con precipitaciones anuales de entre 1 000 mm y 2 200 mm. Algunas de las muchas especies indicadoras naturales del bosque húmedo subtropical en las Islas Vírgenes de los Estados Unidos incluyen el almendro macho [<i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth ex DC.], el palo de corcho [<i>Guapira fragrans</i> (Dum.- Cours.) Little], el jobo (<i>Spondias mombin</i> L.), el úcar (<i>Bucida buceras</i> L.), el jabillo (<i>Hura crepitans</i> L.), el ceibo [<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.], el cedro americano (<i>Cedrela odorata</i> L.), el bay-rum (<i>Pimenta racemosa</i> var. <i>racemosa</i>), la palma real (<i>Roystonea borinquena</i> O.F. Cook) (solo en Saint Croix), el guapinol (<i>Hymanaea courbaril</i> L.), el yagrumo (<i>Cecropia schreberiana</i> Miq.) y el cedro blanco [<i>Tabebuia heterophylla</i> (DC.) Britt.]. Mientras que los bosques húmedos subtropicales tienen algunas de las mismas especies introducidas encontradas en el bosque seco subtropical, el tamarindo (<i>Tamarindus indica</i> L.) y el mamoncillo (<i>Melicoccus bijugatus</i> Jacq.) también se encuentran comúnmente.
	Manglares	Los manglares conformados por <i>Rhizophora mangle</i> L., <i>Avicennia nitida</i> Jacq., <i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn. f. y <i>Conocarpus erectus</i> L. se encuentran a lo largo de las líneas costeras y los estuarios.
	Rodales sin existencias	Rodales con menos del 10% de existencias o cobertura de copas de árboles vivos.



© Servicio Forestal del USDA / Preston Keres

23.4 DISEÑO DE MUESTREO

El sistema de muestreo sistemático para generar puntos de muestreo monitoreados permanentemente en todo el territorio de los Estados Unidos de América, las Mancomunidades y los Territorios asociados sustituye las mallas de forma cuadrada de muestreo regionales utilizadas para los inventarios forestales periódicos con una única malla de base hexagonal construida sobre el marco de muestreo del Programa de Evaluación y Monitoreo Ambiental de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) (White, Kimerling y Overton, 1992; Reams *et al.* 2005). La ventaja de una malla hexagonal sobre las mallas de muestreo cuadradas es que los hexágonos pueden descomponerse más fácilmente (dividirse en hexágonos más pequeños) en múltiplos de 3, 4, 7, 9 y 11 hasta alcanzar la

intensidad de muestreo deseada, lo que la hace más flexible y versátil (Reams *et al.*, 2005). Una malla hexagonal también tiene ventajas sobre aquellas que utilizan la latitud y la longitud para crear una malla de muestreo porque el área muestreada permanece constante a medida que los meridianos convergen hacia los polos de la Tierra, una característica clave cuando se muestrea en un rango geográfico tan extenso. El Programa de FIA necesita un esquema de muestreo que permanezca constante en tierras tan al norte como la Alaska polar (24,5465° Norte) y tan al sur como la Samoa Americana (14,2710° Sur), o Saint Croix en las Islas Vírgenes de los Estados Unidos (17,7246° Norte) en el hemisferio norte.

A nivel nacional, el Programa de FIA utiliza como base una malla de muestreo de un punto de muestreo cada 2 428 hectáreas (6 000 acres) (Reams *et al.*, 2005).

Cada punto de muestreo se asigna sistemáticamente a uno de los cinco paneles interconectados con la intención de medir anualmente todas o la mitad de las UM de cada panel. Al final de un ciclo de cinco o diez años, se vuelven a medir las UM del primer panel y el ciclo comienza de nuevo.

La intensidad del muestreo se incrementa para garantizar una muestra adecuada, especialmente en las islas más pequeñas, mientras que Puerto Rico podría tener potencialmente una muestra adecuada con un punto de muestreo por cada 2 428 ha si el objetivo fuese producir estimaciones muy amplias a escala estratégica sin hacer estimaciones para diferentes estratos forestales. En el inventario periódico de 1980 se muestreó la isla con un punto de muestreo aproximadamente cada 900 ha, lo que representa una intensificación de tres veces el nuevo muestreo anualizado (Birdsey y Weaver, 1982). En lugar de utilizar esta intensificación a lo largo de toda la isla, lo que habría dado lugar a un sobremuestreo del bosque húmedo subtropical más común y a un potencial submuestreo de los tipos de bosque menos comunes como el montano bajo, se decidió definir los tipos de bosque potencialmente submuestreados utilizando el mapa de zonas de vida de Holdridge y luego intensificar el muestreo dentro de esos polígonos. El bosque montano bajo, los bosques en suelos serpentinos y los bosques secos subtropicales recibieron una intensificación de muestreo de 12 veces la cuadrícula base.

Las islas más pequeñas también requirieron una intensificación de las muestras. La isla puertorriqueña de Vieques se muestreó a 9 veces la cuadrícula base, mientras que las islas de Culebra y Mona se muestrearon a 12 veces la cuadrícula base. En las Islas Vírgenes de Estados Unidos se tomaron muestras de 6 a 12 veces la cuadrícula base.

En Puerto Rico, los puntos de muestreo se distribuyen en cuatro paneles anuales, en lugar de cinco, y todas las UM en las Islas Vírgenes de los Estados Unidos se realizan en un año, lo que convierte a este último en un inventario periódico. El ciclo de cuatro paneles permite un año de trabajo de estudio especial en Puerto Rico y hacer todo el trabajo en las Islas Vírgenes de los Estados Unidos simplifica la logística de trabajar allí desde la base del Servicio Forestal de los Estados Unidos en San Juan, Puerto Rico. En la actualidad, se está estudiando la posibilidad de adoptar un esquema anualizado en las Islas Vírgenes de los Estados Unidos a medida que evolucionan las cuestiones de personal y logística.

La malla de base hexagonal permite generar mallas de muestreo muy intensivas en áreas de estudio especiales, incluso más pequeñas. El Servicio Forestal de los Estados Unidos mantiene una red de bosques y cordilleras experimentales (EFR, por sus siglas en inglés) en los que se lleva a cabo una investigación ecológica a largo plazo, a menudo con un monitoreo forestal intensivo. Las mallas de muestreo hasta 36 veces más intensas que la malla base (un punto de muestreo cada 67,4 ha) en los EFR (el Bosque Experimental de Luquillo en Puerto Rico y el Estate Thomas en Saint Croix) y los bosques de la mancomunidad (Guánica, Toro Negro, Monte Guilarte y Carite) permiten a los investigadores extrapolar los resultados de estos bosques intensamente estudiados y monitoreados a los bosques circundantes de toda la isla.

Cuando el porcentaje de cobertura de copas de las especies arbóreas cumple los requisitos mínimos del 10% y de uso de las tierras forestales descritos anteriormente en el Cuadro 23.3, se instala una UM de medición del IFN en el punto de muestreo. Al momento de redactar ese documento, el IFN de Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los Estados Unidos no tomaba muestras de árboles en la categoría "otras tierras", es decir, tierras con menos del 10% de cobertura de copas de especies arbóreas o con un uso de tierra no forestal (ver el Cuadro 23.5).



© Servicio Forestal del USDA / Vicéns Jiménez

CUADRO 23.5

Características del diseño de muestreo de Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los Estados Unidos a partir de 2019

Región/territorio	Superficie total (1 000 ha)	Número de unidades de muestreo		
		Bosque	Otras tierras boscosas	No bosque
Puerto Rico				
Puerto Rico	865 098	243	243	486
Vieques	13 431	33	19	52
Culebra	3 359	12	5	17
Mona	5 581	26	0	26
Subtotal	887 469	314	267	581
Islas Vírgenes de los Estados Unidos				
St. Croix	21 375	30	31	61
St. John	4 895	16	7	23
St. Thomas	6 980	15	17	32
Subtotal	33 251	61	55	116
Total	920 720	375	322	697

23.5 DISEÑO DE LAS UNIDADES DE MUESTREO

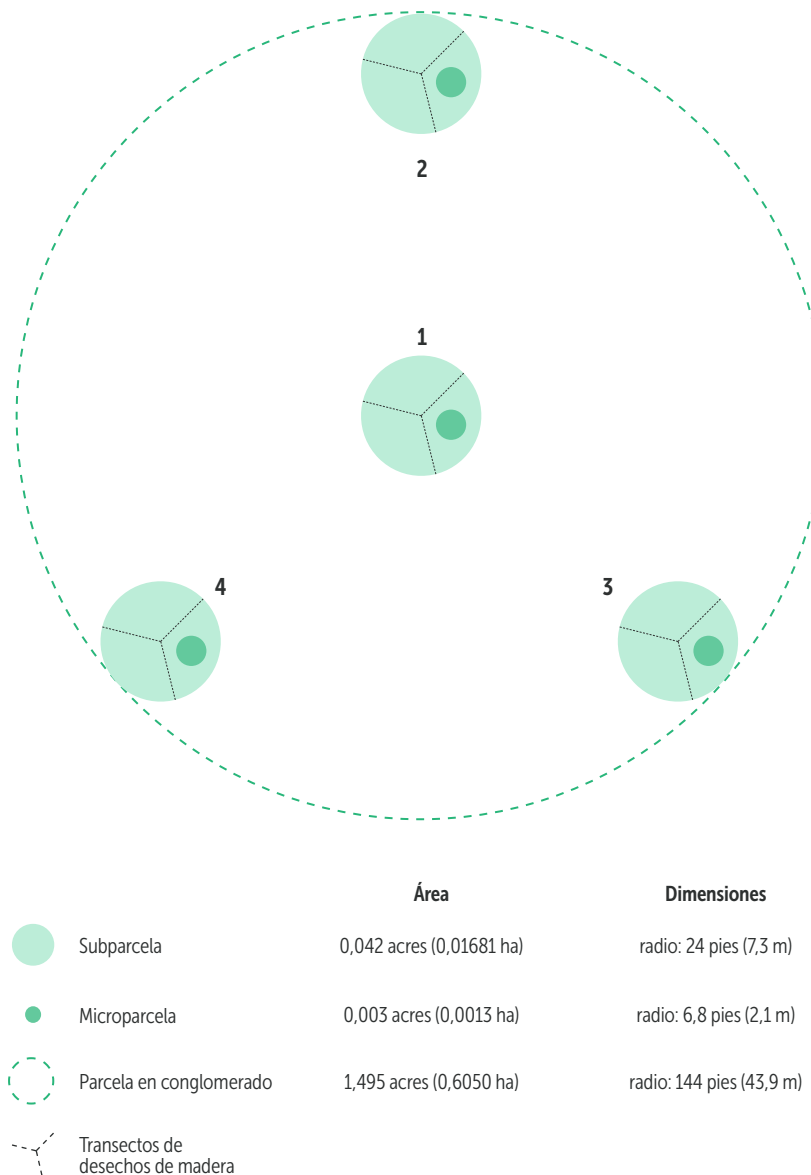
El diseño de las parcelas del FIA, coherente a nivel nacional, consiste en un conglomerado de cuatro subparcelas (Figura 23.3). Cada subparcela circular del grupo tiene un radio de 7,3 m, lo que hace que cada subparcela tenga 0,017 hectáreas (una veinticuatroava parte de un acre), lo que da una superficie total muestreada de 0,067 hectáreas (una sexta parte de un acre) (Bechtold y Scott, 2005). Hay 36,6 metros entre los centros de cada subparcela, por lo que la ocupación total de la UM abarca aproximadamente una superficie de 0,40 hectáreas (1 acre). En todas las UM se realizan descripciones de la zona y de la UM, como la ubicación (coordenadas y descripciones políticas), la pendiente, la elevación, el tipo de bosque, la propiedad, la clase de tamaño del rodal y muchos otros descriptores relevantes para el IFN. Para más detalles sobre los datos recopilados, ver Servicio Forestal del USDA (2020). Se identifican y miden todos los árboles de las subparcelas con un DAP (medido a 1,37 m) mayor o igual a 12,7 cm. Las variables adicionales describen la salud de cada árbol, la presencia de daños y la calidad en

términos de producción de madera. Los equipos de campo identifican y miden todos los árboles jóvenes con un DAP entre 2,5 cm y 12,6 cm dentro de una microparcela de 2,1 m de radio anidada dentro de cada subparcela. También identifican y cuentan todas las plántulas con una altura mayor o igual a 30 cm dentro de la microparcela. La eliminación de los múltiples diseños de UM regionales y de la recolección de datos específicos de cada región simplificó en gran medida la documentación de la guía de campo y la capacitación del personal de campo.

Además de la recopilación de datos de las UM de muestreo estándar del IFN descrita anteriormente, se pueden implementar en la zona de las parcelas del FIA una serie de protocolos adicionales de recopilación de datos que se utilizan para evaluar y controlar la salud de los bosques. Se han desarrollado guías de campo y rutinas de procesamiento para evaluar los suelos del bosque, los materiales leñosos del suelo, el estado y la salud de las copas, la vegetación del sotobosque y la diversidad de líquenes del bosque.

FIGURA 23.3

Configuración de las unidades de muestreo del Inventario Forestal Nacional utilizada en Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los Estados Unidos



Fuente: Servicio Forestal del USDA (2020).

23.6 CÁLCULO DE LA SUPERFICIE, EL VOLUMEN Y LA BIOMASA

El procesamiento de los datos del IFN recopilados en Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los Estados Unidos es coherente con el utilizado por el Programa de FIA a nivel nacional. En el sitio web de la Biblioteca del FIA (www.fia.fs.fed.us/library/sampling/index.php), se puede encontrar una amplia y detallada documentación de estos procedimientos y sistemas,

así como en otras numerosas publicaciones. Las características clave incluyen el uso de registradores portátiles de datos (PDR, por sus siglas en inglés) para la recopilación de datos sobre el terreno, la transmisión digital de datos desde las ubicaciones sobre el terreno a los servidores centrales, un sistema nacional de procesamiento y almacenamiento de datos y una base de datos de acceso público con los resultados del IFN.

Los datos se recopilan en el campo con los PDR que utilizan un software personalizado, el Mobile Integrated Data Acquisition System (MIDAS), que cuenta con pantallas y campos que emulan las hojas de registro en papel. Al comienzo de la temporada de campo, los miembros del equipo de campo descargan la lista de UM que se les ha asignado para medir desde los servidores del FIA a sus PDR. En el caso de las parcelas que se han medido previamente, también se descarga la información anterior. A medida que se recopilan los datos en la UM, el programa cuenta con numerosas verificaciones de rango y lógicas para contribuir al aseguramiento de la calidad de los datos.

Una vez recolectados los datos de una UM, se transmiten por internet a los servidores del FIA. Desde allí, los datos se cargan en el Sistema Nacional de Gestión de la Información (NIMS, por sus siglas en inglés) para su procesamiento y almacenamiento en una base de datos relacional de Oracle. Se realizan varios procedimientos de estimación mediante módulos que se ejecutan sobre los datos de campo recopilados para generar valores calculados como los volúmenes de los árboles, la biomasa y el carbono, así como para calcular los factores de expansión que se utilizarán para ampliar los valores de los árboles y las UM en estimaciones de población. Algunos módulos del NIMS necesitaron una considerable ampliación para incorporar los inventarios forestales de estas islas del Caribe, principalmente la lista maestra de especies arbóreas y las referencias a las ecuaciones de volumen, biomasa y carbono que se deben aplicar para cada especie. Fue necesario añadir a esta tabla de referencia de especies todas las especies arbóreas que podrían encontrarse en estas islas del Caribe. Se utilizó la base de datos de Plant List of Accepted Nomenclature, Taxonomy and Symbols (PLANTS) (<https://plants.sc.egov.usda.gov/>) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) como autoridad taxonómica definitiva y fuente de nomenclatura. Antes de añadir las especies arbóreas del Caribe (y de añadir posteriormente las especies arbóreas urbanas y de las islas del Pacífico), había aproximadamente 380 especies arbóreas en la tabla de referencia de especies del NIMS. La incorporación de las islas del Caribe al FIA supuso añadir más de 870 nuevas especies arbóreas a esta tabla.

El Programa de FIA utiliza datos procedentes de una muestra espacialmente equilibrada de UM de inventario para estimar diversos parámetros forestales, incluida la superficie forestal y los atributos de los árboles, como el volumen y el número de árboles. El inventario se diseñó para producir estimaciones aceptablemente precisas de

parámetros clave para áreas geográficas relevantes (subpoblaciones), que se denominan unidades de estimación. Estas incluyen estados, áreas de varios condados, bosques nacionales u otras áreas de interés. La estimación se basa en un paradigma de población finita y en la inferencia basada en el diseño. La posestratificación, que suele utilizar estratos formados a partir de mapas categóricos basados en datos de teledetección, se utiliza para mejorar la precisión de las estimaciones (Scott *et al.*, 2005). Los mapas de estratos se conforman de diversas maneras en las distintas regiones, pero generalmente se basan en mapas de la cobertura de la tierra (proporciones de la cobertura de copas o designación de tierras forestales/no forestales). También pueden incluir otros mapas, como el de propiedad u otras categorías *wall-to-wall*. El proceso de posestratificación implica etiquetar cada UM con su identidad de estrato basada en la ubicación geográfica, calcular las medias y varianzas de los estratos a partir de los valores a nivel de parcela, y utilizar las ponderaciones de los estratos (a partir de las proporciones de área de los estratos dentro de la unidad de estimación) para crear estimaciones ponderadas y combinadas para el atributo y su varianza dentro de la unidad de estimación (Scott *et al.*, 2005). En Puerto Rico, las categorías de cobertura de bosque para la posestratificación se derivan de la base de datos nacional de la cobertura de la tierra (USGS, 2016), un mapa nacional de la cobertura de la tierra hecho a partir de imágenes satelitales. Como este mapa de la cobertura de la tierra no incluye las Islas Vírgenes de los Estados Unidos, allí se utiliza el muestreo aleatorio simple, en lugar de la posestratificación.

Antes de la estimación, se analizan los datos brutos en busca de errores y se aplican pasos de procesamiento, como el cálculo de variables computadas como el volumen de los árboles y la biomasa, así como ajustes para manejar la falta de respuesta. Un componente del proceso de estimación es la generación de valores a nivel de UM a partir de los elementos de datos constitutivos. Por ejemplo, se generan los totales a nivel de UM para el volumen de árboles por acre o del número de árboles por acre, así como la proporción de las diferentes clases de tipos de tierras. Las proporciones de los tipos de tierras se calculan trazando un mapa de las áreas de las distintas variables de los tipos de tierras (propiedad, cobertura de la tierra, uso de la tierra, tipo de existencias, etc.) en cada UM. Estos totales a nivel de UM se utilizan para generar las medias a nivel de estrato y de unidad de estimación, como se ha descrito anteriormente; estos valores medios se multiplican entonces por las superficies conocidas de las unidades de estimación para obtener los valores de las cantidades totales de cada atributo.

El volumen individual de los árboles, la biomasa y el carbono se estiman utilizando la metodología nacional estándar del FIA y los conjuntos de ecuaciones documentados en Oswalt y Conner (2011) y Woodall *et al.* (2011). Básicamente, los volúmenes de los árboles sin corteza se estiman mediante un modelo de regresión lineal convencional. Se trata del volumen neto de madera en el tronco central de un árbol de muestra con un diámetro de 12,7 cm o más, desde un tocón de 30 cm hasta un diámetro superior mínimo con corteza de 10 cm (DOB, por sus siglas en inglés), o hasta donde el tronco central se divide en ramas que todas tienen menos de 10 cm de DOB. Con pocas excepciones, el volumen de las especies caribeñas se estima utilizando dos ecuaciones

genéricas para maderas de frondosas no comerciales y coníferas desconocidas (especies arbóreas para las que nunca se desarrollaron ecuaciones a nivel de género o especie) que se encuentran en el sureste continental de Estados Unidos de América (Cuadro 23.6). Las ecuaciones adicionales de biomasa específicas de las islas del Caribe se derivaron de la literatura publicada, dando preferencia a las que se desarrollaron a partir de los datos recopilados en Puerto Rico (ver referencias en los Cuadros 23.6 y 23.7). Se carece de ecuaciones alométricas de la biomasa del bosque seco subtropical, por lo que se elaboró un muestreo destructivo y una ecuación que se documentó en Brandeis *et al.* (2006) (Cuadro 23.7).

CUADRO 23.6

Ecuaciones empleadas para predecir el volumen total del tronco en Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los Estados Unidos

Grupo de especies	Ecuación	Fuente
Maderas de frondosas no comerciales del este	$V = 0,062125 + 0,002494 (D_{bh}^2 H_T)$	Oswalt y Conner (2011)
Diversas coníferas	$V = 0,065755 + 0,002813 (D_{bh}^2 H_T)$	Oswalt y Conner (2011)

Notas: El volumen neto de madera en el tronco central de un árbol de muestra es mayor o igual a 12,7 cm de diámetro, desde un tocón de 30 cm hasta un diámetro superior mínimo de 10 cm con corteza (DOB), o hasta donde el tronco central se divide en ramas que todas tienen menos de 10 cm de DOB. D_{bh} = diámetro en pulgadas a 1,37 metros; H_T = altura total del árbol en pies; V = volumen total del tronco (en pies cúbicos).

CUADRO 23.7

Ecuaciones empleadas para predecir la biomasa por encima y por debajo del suelo en Puerto Rico y las Islas Vírgenes de Estados Unidos

Zona o especies de vida forestal	Ecuación	Fuente
Bosque muy húmedo y pluvial montano bajo	$BES = 4,7962 + 0,0310 \times D_{bh}^2 H_T$	Weaver y Gillespie (1992)
Bosque muy húmedo y pluvial subtropical	$BES = e^{(0,950 \times \ln D_{bh}^2 H_T - 3,282)}$	Scatena <i>et al.</i> (1993)
Bosque húmedo subtropical	$BES = e^{(-1,71904 + 0,78214 \times \ln D_{bh}^2 + H_T)}$	Brandeis <i>et al.</i> (2006)
Bosque seco subtropical	$BES = e^{(-1,94371 + 0,84134 \times \ln D_{bh}^2 + H_T)}$	Brandeis <i>et al.</i> (2006)
Bucida buceras, todos los grupos de tipo forestal	$BES = e^{(-1,76887 + 0,86389 \times \ln D_{bh}^2 + H_T)}$	Brandeis <i>et al.</i> (2006)
Prestoea montana, todos los grupos de tipo forestal	$BES = 10,0 + 6,4 \times H_T$	Frangi y Lugo (1985), Brown (1997)
Rhizophora mangle, manglar	$BES = \left[125,957 \times (D_{bh}^2 H_T^{0,8557}) \right] / 1000$	Cintrón y Schaeffer-Novelli (1984)
Laguncularia acemose, manglar	$BES = \left[70,0513 \times (D_{bh}^2 H_T^{0,9084}) \right] / 1000$	Cintrón y Schaeffer-Novelli (1984)
Avicennia germinans, manglar	$BES = 0,14 \times D_{bh}^{2,4}$	Fromard <i>et al.</i> (1998)
Biomasa por debajo del suelo, todos los tipos de bosque	$BDS = e^{(-1,0587 + 0,8836 \times \ln (BES))}$	Cairns <i>et al.</i> (1997)

Notas: La biomasa por encima del suelo se expresa en kilogramos secados con estufa de todas las partes vivas de los árboles por encima del suelo, incluidos el tronco, el tocón, las ramas, la corteza, las semillas y el follaje, según las estimaciones de las ecuaciones de regresión que predicen la biomasa por encima del suelo a partir de las mediciones del diámetro a la altura del pecho y de la altura total de cada árbol.

La biomasa por debajo del suelo también se expresa en kilogramos secados con estufa de todas las partes vivas de los árboles por debajo del suelo, según una ecuación de regresión que modela la relación entre la biomasa por encima del suelo y la biomasa por debajo del suelo (Cairns *et al.*, 1997). BDS: biomasa por debajo del suelo en kilogramos secados con estufa; BES: biomasa por encima del suelo en kilogramos secados con estufa; D_{bh} : diámetro en centímetros a 1,37 metros; H_T : altura total del árbol en metros.

Una vez procesados los nuevos datos, se elaboran conjuntos de tablas de estimación de la población para su revisión por parte de los analistas del FIA y de determinadas partes interesadas. Si no se encuentran problemas, los datos se publican en la FIADB (base de datos del FIA), de acceso público, donde las herramientas en línea permiten a los usuarios consultar los datos y generar tablas y mapas de recursos forestales (los enlaces se encuentran en www.fia.fs.fed.us/tools-data/). La documentación de la base de datos del FIA y los procedimientos de estimación de la población están disponibles en el sitio web de la biblioteca nacional del FIA (www.fia.fs.fed.us/library/database-documentation/index.php#FIADB).

23.7 RESULTADOS DEL INVENTARIO FORESTAL NACIONAL MÁS RECIENTE

Los resultados presentados en esta sección se basan en el sexto y más reciente inventario forestal (2016-2019) en Puerto Rico, y el tercer inventario forestal (2014) en las Islas Vírgenes de los Estados Unidos.

Después de una fase caracterizada por una alta tasa de aumento de la cobertura de bosque en Puerto Rico, mostrada por los inventarios forestales ejecutados desde 1980 hasta 2004 (de 31,3% a 52,8% de la superficie total), el archipiélago ha pasado a una fase de estabilización de la cobertura de bosque desde 2004 (Marcano Vega, 2019). Sin embargo, los cambios estructurales del bosque durante el período de 2004 a 2019 muestran que los rodales en Puerto Rico aumentaron en volumen neto, biomasa por encima del suelo de los árboles vivos y carbono de los árboles vivos. Esta tendencia indica una progresión hacia etapas de desarrollo maduro dentro de los rodales secundarios que caracterizan típicamente a los bosques puertorriqueños. No obstante, entre los dos últimos inventarios en Puerto Rico, el volumen del rodal y la biomasa y el carbono de los árboles vivos se mantuvieron relativamente estables. Esto es significativo teniendo en cuenta el paso de los huracanes Irma y María por Puerto Rico durante septiembre de 2017. El monitoreo continuo determinará si la estructura del bosque eventualmente cambiará, considerando que algunos fustes que fueron afectados estructuralmente por las tormentas mostraron densidades de follaje más bajas que los valores previos al huracán que se consideran como normales para soportar su biomasa maderera.

El total de tierras forestadas estimadas para Puerto Rico fue de 467 320 ha en 2019, lo que

representa una cobertura forestal del 52,7% del archipiélago. Esta cobertura forestal está asociada a un volumen neto (árboles de al menos 12,5 cm de DAP) de 38,28 millones de metros cúbicos de madera y una biomasa de 37 546 460 toneladas secadas con estufa de biomasa por encima del suelo (árboles vivos de al menos 2,5 cm de DAP). Los valores de carbono por encima y por debajo del suelo de árboles vivos (árboles de al menos 2,5 cm de DAP) muestran 22 482 140 toneladas almacenadas en los bosques de Puerto Rico (Cuadro 23.8).

En las Islas Vírgenes de los Estados Unidos, la superficie forestal total se ha mantenido relativamente estable desde el primer inventario forestal, pero los rodales aumentaron en volumen neto, biomasa por encima del suelo de los árboles vivos y carbono de los árboles vivos durante el período de 2004 a 2014. Aunque esto sugiere, al igual que en el caso de Puerto Rico, una tendencia hacia etapas maduras de desarrollo dentro de los rodales, el cuarto inventario forestal en curso de las Islas Vírgenes de los Estados Unidos permitirá interpretar si el paso de los huracanes Irma y María tuvo un efecto significativo en el estado actual de los bosques en esa isla.

El total de tierras forestadas estimado para las Islas Vírgenes de los Estados Unidos era de 19 010 hectáreas en 2014, lo que representa una cobertura forestal del 57,2% de la superficie total. Los valores del volumen neto de fustes vivos muestran un total de 0,59 millones de metros cúbicos de madera y los valores de la biomasa muestran 919 500 toneladas secadas con estufa de biomasa por encima del suelo. Los valores de carbono de los árboles vivos por encima y por debajo del suelo muestran 554 850 toneladas almacenadas en los bosques de las Islas Vírgenes de Estados Unidos (Cuadro 23.9).

23.8 IMPLEMENTACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD

El Programa de FIA cuenta con procedimientos de garantía de calidad y control de calidad a través de todo el programa y, particularmente, a lo largo del flujo de datos desde el campo hasta la base de datos, cuyos detalles se pueden encontrar en la nota informativa sobre la garantía de calidad (Pollard, s.f.). Todos estos procedimientos nacionales del FIA se aplican a los datos recopilados en Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los Estados Unidos. Los procedimientos formales de gestión orientan el desarrollo del programa, la estandarización nacional y los cambios propuestos.

CUADRO 23.8

Resultados del Inventario Forestal Nacional de Puerto Rico (2019)

Variable	Resultado (porcentaje de error de muestreo)	Descripción
Superficie	467,32 ± 16,40	Tierras forestales, miles de hectáreas
Volumen	38,28 ± 2,80	Millones de metros cúbicos, en árboles de al menos 12,5 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP)
Biomasa	37 546,46 ± 2 402,97	Biomasa por encima del suelo de los árboles vivos, en miles de toneladas secadas con estufa, en árboles de al menos 2,5 cm de DAP
Carbono	22 482,14 ± 1 434,36	Carbono de los árboles vivos por encima y por debajo del suelo, en miles de toneladas, en árboles de al menos 2,5 cm de DAP

Notas: con intervalos de confianza al 68%.**CUADRO 23.9**

Resultados del Inventario Forestal Nacional de las Islas Vírgenes de los Estados Unidos (2014)

Variable	Resultado (porcentaje de error de muestreo)	Descripción
Superficie	19,01 ± 1,65	Tierras forestales, miles de hectáreas
Volumen	0,59 ± 0,11	Millones de metros cúbicos, en árboles de al menos 12,5 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP)
Biomasa	919,50 ± 111,90	Biomasa por encima del suelo de los árboles vivos, en miles de toneladas secadas con estufa, en árboles de al menos 2,5 cm de DAP
Carbono	554,85 ± 67,19	Carbono de los árboles vivos por encima y por debajo del suelo, en miles de toneladas, en árboles de al menos 2,5 cm de DAP

Notas: con intervalos de confianza al 68%.

El programa pone a disposición del público la documentación de las guías de campo, la estructura de la base de datos, los procedimientos de estimación, etc. para garantizar la transparencia. Los miembros del equipo de campo deben recibir capacitación y pasar las pruebas de certificación antes de que se les permita recopilar datos para el Programa de FIA.

Actualmente, el Programa de FIA a nivel nacional tiene una distribución por género de 72% de hombres y 28% de mujeres. En la región sur, donde recae la responsabilidad del inventario de Puerto Rico y las Islas Vírgenes de Estados Unidos, la distribución es de un 83% de hombres y un 17% de mujeres. El equipo de campo de tres personas que trabaja en las islas está integrado por dos hombres y una mujer, además de un analista masculino.

En terreno, existe un sólido sistema de verificación de errores, lógica y alcance del PDR diseñado para minimizar el registro de datos erróneos mientras los miembros del equipo de producción siguen en la parcela. Después de recopilar los datos de campo,

el objetivo del FIA es que los experimentados inspectores de campo que desempeñan la función de supervisores visiten hasta el 8% de las parcelas. Las mediciones de los datos continuos, como el DAP, la altura de los árboles, el azimut y la distancia a los árboles, se evalúan en función del porcentaje de consecución de los objetivos de calidad de las mediciones presentados en la guía de campo del FIA. Se evalúa la importancia estadística de las diferencias (sesgo) entre los supervisores y los equipos de producción. Algunas visitas de verificación de campo son realizadas por los supervisores con los equipos de producción presentes con el objetivo de proporcionar una retroalimentación inmediata y una capacitación complementaria; estas se denominan “verificaciones en caliente”. Las “verificaciones en frío” son visitas de los supervisores sin la presencia del equipo de producción, pero con los datos que han recopilado. Este proceso controla la calidad de los datos recopilados por el equipo de producción y la información obtenida se utiliza para proponer mejoras en su trabajo. Cuando los supervisores revisan una parcela terminada sin los

datos del equipo de producción, lo que se denomina “controles a ciegas”, se obtiene una estimación de la medición de la incertidumbre e información sobre la replicabilidad de las propias variables que se pueden utilizar para mejorar continuamente el programa.

Antes de que los datos recopilados sobre el terreno se puedan transmitir a la base de datos del FIA, se someten a otra serie de controles automatizados y manuales. Los datos cuestionables se marcan para un examen más exhaustivo. Los cambios en los datos solo se realizan cuando la causa del error es obvia (números transpuestos, por ejemplo) y se puede solucionar fácilmente. Sin embargo, por política, rara vez se modifican o descartan los datos. Una vez que todos los datos han pasado las verificaciones, se procesan y se elaboran las estimaciones de población. Se generan conjuntos de tablas de revisión para que las examinen los analistas de recursos y los socios clave familiarizados con estos bosques antes de su validación final y su publicación para el acceso público.

23.9 OTRAS VARIABLES RELEVANTES RECOLECTADAS

Se han diseñado protocolos complementarios de recolección de datos para abordar características estructurales forestales especiales y la necesidad de información detallada sobre la regeneración de los bosques, así como para permitir un monitoreo más minucioso de los indicadores de salud forestal. Aunque estos protocolos complementarios no se aplican en todas las parcelas en todo momento, pueden aplicarse cuando las circunstancias lo requieran y se disponga de recursos. Cada complemento de recolección de datos cuenta con una guía de campo completamente desarrollada, un programa de PDR, tablas de bases de datos y algoritmos de procesamiento y procedimientos de estimación de la población ya establecidos y listos para su implementación.

En los bosques en los que predominan los árboles de gran diámetro y muy espaciados, a fin de garantizar una muestra adecuada de los mismos es necesario ampliar el área total muestreada dentro de cada UM. El radio de la subparcela se amplía a 17,9 m para incluir más árboles con diámetros superiores a 60 cm. En el extremo opuesto del espectro de tamaños, otro conjunto de protocolos de recolección de datos ampliados incluye información más detallada sobre

las plántulas de árboles que se encuentran dentro de las microparcelas de regeneración anidadas dentro de cada una de las cuatro subparcelas.

Los protocolos complementarios de recolección de datos sobre la salud de los bosques incluyen aquellos relativos a los materiales leñosos, la evaluación del estado de las copas de los árboles, el estudio de los líquenes, el muestreo del suelo y del piso del bosque, el estudio completo de las plantas vasculares y una evaluación más simplificada de la vegetación del sotobosque centrada principalmente en las características estructurales y en las especies vegetales predominantes presentes. En Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los Estados Unidos, los datos de materiales leñosos se recolectan regularmente en un subconjunto de las UM forestales y también se han recolectado en UM afectadas recientemente por huracanes como parte de estudios especiales. El muestreo del suelo se realizó en este mismo subconjunto en 2001, pero estos datos ya no se recolectan. Se han realizado estudios completos de plantas vasculares en dos áreas de estudio especiales, el Parque Nacional de las Islas Vírgenes en Saint John, Islas Vírgenes de los Estados Unidos, junto con un estudio de aves migratorias neotropicales (Oswalt, Brandeis y Dimick 2006) y la Reserva Natural Isla de Mona, Puerto Rico (Brandeis, Meléndez-Ackerman y Helmer, 2012).

El Programa de FIA también cuenta con protocolos para la realización de inventarios de árboles urbanos aplicados actualmente a las ciudades del territorio continental de los Estados Unidos de América. Las primeras versiones de esta recopilación de datos y la nueva medición de UM dentro del estuario de la bahía de San Juan (que abarca la mayor parte del área metropolitana de San Juan, Puerto Rico) se describen en Brandeis *et al.* (2014). Se está planificando una tercera medición de los árboles urbanos de San Juan con un diseño de muestreo nuevo y ampliado. El próximo inventario forestal de las Islas Vírgenes de los Estados Unidos se realizará utilizando una combinación de los métodos del IFN previamente implementados, más los métodos de inventario forestal urbano en aquellos puntos de muestreo que no cumplen con la cobertura mínima de copas (10%) o los requisitos de uso de la tierra para una parcela de inventario forestal. Esto proporcionará el primer inventario de árboles en todas las tierras para esas islas.

23.10 PERSPECTIVAS A FUTURO

Las perspectivas de los IFN en Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los Estados Unidos son prometedoras porque están proporcionando información única y valiosa con cada nueva medición. La disponibilidad de los datos de manera pública, su compatibilidad con los datos del FIA recopilados en todas partes de los Estados Unidos de América y sus territorios, la metodología transparente, la documentación amplia y detallada, y la disponibilidad de asistencia técnica e interpretación de los datos han contribuido a un número creciente y diverso de usuarios de los datos del FIA. Aun así, se pueden introducir mejoras para aumentar aún más el valor de los IFN, sobre todo en relación con los impactos y la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales del Caribe al cambio climático.

Las tasas de crecimiento de la mayoría de las especies subtropicales del Caribe medidas por estos IFN nunca se habían cuantificado antes (Brandeis *et al.*, 2006). Ahora, el Programa de FIA necesita mejorar las ecuaciones de volumen, biomasa y carbono de las especies arbóreas subtropicales para no depender tanto de ecuaciones genéricas para sus estimaciones de almacenamiento y secuestro de carbono. El FIA también necesita aumentar tanto la frecuencia como la intensidad de muestreo de su monitoreo de los reservorios de carbono del sotobosque y del piso del bosque y cómo responden frente a perturbaciones como huracanes e incendios forestales. La capacidad de monitorear la dinámica de la vegetación forestal también se debe fortalecer con una mayor implementación de medición de plantas vasculares no arbóreas. En el futuro será vital ampliar la inclusión de árboles en superficies no forestales, como las tierras urbanas y agrícolas. Gran parte de estas islas están densamente pobladas y los usos de la tierra son espacialmente complejos y fragmentados. El hecho de no incluir los árboles en estas superficies no forestales subestima en gran medida los servicios ecosistémicos que proporcionan a las poblaciones de las islas.

El Programa de FIA también debe emplear en mayor medida las imágenes de teledetección y las fuentes de datos auxiliares para complementar y fortalecer las actuales evaluaciones de los IFN. Las imágenes satelitales de alta resolución pueden ofrecer una cobertura más detallada *wall-to-wall* mediante la extrapolación de la red de parcelas del FIA sobre el terreno. Estas imágenes también pueden ayudar a proporcionar mejores estimaciones en zonas más pequeñas con un número inadecuado de parcelas del FIA, o en zonas cuyas formas son difíciles de muestrear bien con el sistema de muestreo basado en cuadrículas del FIA, como los manglares, las zonas ribereñas y las cimas de las montañas.

REFERENCIAS

- Bechtold, W.A. y Scott, C.T.** 2005. The forest inventory and analysis plot design. En W.A. Bechtold y P.L. Patterson, coords. *The Enhanced Forest Inventory and Analysis Program – National Sampling Design and Estimation Procedures*, pp. 27–42. General Technical Report SRS-80. Asheville (Estados Unidos), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estación de Investigación del Sur. (disponible en: <https://doi.org/10.2737/SRS-GTR-80>).
- Birdsey, R.A. y Weaver, P.L.** 1982. *The forest resources of Puerto Rico*. Resource Bulletin SO-85. New Orleans (Estados Unidos), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estación Experimental del Sur. (disponible en: <https://doi.org/10.2737/SO-RB-85>).
- Birdsey, R.A. y Weaver, P.L.** 1987. *Forest area trends in Puerto Rico*. Research Note SO-331. New Orleans (Estados Unidos), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estación Experimental del Sur. (disponible en: <https://doi.org/10.2737/SO-RN-331>).
- Brandeis, T.J.** 2003. Puerto Rico's forest inventory: adapting the forest inventory and analysis program to a Caribbean island. *Journal of Forestry*, 101(1): 8-13. (disponible en: <https://academic.oup.com/jof/article/101/1/8/4613034>).
- Brandeis, T.J.** 2011. Implementing a national forest inventory system on subtropical Caribbean islands. Presentation abstract in the Proceedings of the 2011 Society of American Foresters National Convention. *Journal of Forestry*, 109(8): 485-490. (disponible en: <https://academic.oup.com/jof/article/109/8/485/4598987>).
- Brandeis, T.J., Delaney, M., Parresol, B.R. y Royer, L.** 2006. Development of equations for predicting Puerto Rican subtropical dry forest biomass and volume. *Forest Ecology and Management*, 233(1): 133-142. (disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.06.012>).
- Brandeis, T.J., Escobedo, F.J., Staudhammer, C.L., Nowak, D.J. y Zipperer, W.C.** 2014. *San Juan Bay Estuary watershed urban forest inventory*. Informe Técnico General SRS-190. Asheville (Estados Unidos), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estación de Investigación del Sur. (disponible en: <https://doi.org/10.2737/SRS-GTR-190>).
- Brandeis, T.J., Helmer, E.H. y Oswalt, S.N.** 2007. *El estado de los bosques de Puerto Rico, 2003*. Resource Bulletin SRS-119. Asheville (Estados Unidos), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estación de Investigación del Sur. (disponible en: www.srs.fs.usda.gov/pubs/30560).
- Brandeis, T.J., Meléndez-Ackerman, E. y Helmer, E.H.** 2012. *Forest vegetation cover assessment on Mona Island, Puerto Rico*. Informe Técnico General SRS-165. Asheville (Estados Unidos), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estación de Investigación del Sur. (disponible en: www.srs.fs.usda.gov/pubs/41575).
- Brandeis, T.J. y Oswalt, S.N.** 2007. *The status of U.S. Virgin Islands' forests, 2004*. Resource Bulletin SRS-122. Asheville (Estados Unidos), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estación de Investigación del Sur. (disponible en: www.srs.fs.usda.gov/pubs/29228).
- Brandeis, T.J. y Turner, J.A.** 2013. *Los bosques de Puerto Rico, 2009*. Resource Bulletin SRS-191. Asheville (Estados Unidos), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estación de Investigación del Sur. (disponible en: www.srs.fs.usda.gov/pubs/47948).
- Brown, S.** 1997. *Estimating biomass and biomass change in tropical forests: A primer*. Documento Forestal de la FAO 134. Roma, FAO. (disponible en: www.fao.org/3/w4095e/w4095e00.htm).
- Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. y Baumgardner, G.A.** 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111: 1-11. (disponible en: <https://doi.org/10.1007/s004420050201>).
- Cintrón, G. y Schaeffer-Novelli, Y.** 1984. Características y desarrollo estructural de los manglares de Norte y Sur América. *Ciencia Interamericana*, 25: 4-15.
- Ewel, J.J. y Whitmore, J.L.** 1973. *The ecological life zones of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands*. Documento de Investigación ITF-018. Río Piedras (Puerto Rico), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical. (disponible en: www.srs.fs.usda.gov/pubs/5551).
- Franco, P.A., Weaver, P.L. y Eggen-McIntosh, S.** 1997. *Forest resources of Puerto Rico, 1990*. Resource Bulletin SRS-22. Asheville (Estados Unidos), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estación de Investigación del Sur. (disponible en: <https://doi.org/10.2737/SRS-RB-22>).
- Frangi, J.L. y Lugo, A.E.** 1985. Ecosystem dynamics of a subtropical floodplain forest. *Ecological Monographs*, 55(3): 351-369. (disponible en: <https://doi.org/10.2307/1942582>).

Fromard, F., Puig, H., Mougin, E., Marty, G., Betoulle, J.L. y Cadamuro, L. 1998. Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia*, 115: 39-53. (disponible en: <https://doi.org/10.1007/s004420050489>).

LaBau, V.J., Bones, J.T., Kingsley, N.P., Lund, H.G. y Smith, W.B. 2007. *A history of forest survey in the United States: 1830-2004*. FS-877. Washington DC, Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (disponible en: www.fia.fs.fed.us/library/historical-documentation/docs/1830-2004%20History%20of%20Forest%20Survey.pdf).

Marcano Vega, H. 2019. *Los bosques de Puerto Rico, 2014*. Resource Bulletin SRS-224. Asheville (Estados Unidos), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estación de Investigación del Sur. (disponible en: www.srs.fs.usda.gov/pubs/58591).

Marcano Vega, H. 2020. *U.S. Virgin Islands' forests, 2014*. Resource Bulletin SRS-227. Asheville (Estados Unidos), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estación de Investigación del Sur. (disponible en: <https://srs.fs.usda.gov/pubs/59781>).

Oswalt, C.M. y Conner, R.C. 2011. *Southern forest inventory and analysis volume equations user's guide*. Informe Técnico General SRS-138. Asheville (Estados Unidos), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estación de Investigación del Sur. (disponible en: www.srs.fs.usda.gov/pubs/38319).

Oswalt, S.N., Brandeis, T.J. y Dimick, B.P. 2006. Phytosociology of vascular plants on an international biosphere reserve: Virgin Islands National Park, St. John, US Virgin Islands. *Caribbean Journal of Science*, 42(1): 53-66. (disponible en: www.srs.fs.usda.gov/pubs/30026).

Pollard, J. s.f. *Forest Inventory and Analysis Quality Assurance: FIA Fact Sheet Series*. Washington DC, Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (disponible en: www.fia.fs.fed.us/library/fact-sheets/data-collections/QA.pdf).

Reams, G.A., Smith, W.D., Hansen, M.H., Bechtold, W.A., Roesch, F.A. y Moisen, G.G. 2005. The forest inventory and analysis sampling frame. En W.A. Bechtold y P.L. Patterson, coords. *The Enhanced Forest Inventory and Analysis Program - National Sampling Design and Estimation Procedures*, pp. 11-26. Informe Técnico General SRS-80. Asheville (Estados Unidos), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estación de Investigación del Sur. (disponible en: <https://doi.org/10.2737/SRS-GTR-80>).

Scatena, F.N., Silver, W.L., Siccama, T., Johnson, A. y Sanchez, M.J. 1993. Biomass and nutrient content of the Bisley Experimental Watershed, Luquillo experimental Forest, Puerto Rico, before and after Hurricane Hugo, 1989. *Biotropica*, 25(1): 15-27. (disponible en: <https://doi.org/10.2307/2388975>).

Scott, C.T., Bechtold, W.A., Reams, G.A., Smith, W.D., Westfall, J.A. Hansen, M.H. y Moisen, G.G. 2005. Sample-based estimators used by the forest inventory and analysis national information management system. En W.A. Bechtold y P.L. Patterson, coords. *The Enhanced Forest Inventory and Analysis Program - National Sampling Design and Estimation Procedures*, pp. 43-67. Informe Técnico General SRS-80. Asheville (Estados Unidos), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estación de Investigación del Sur. (disponible en: <https://doi.org/10.2737/SRS-GTR-80>).

Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (Servicio Forestal del USDA). 2020. *Forest Inventory and Analysis National Core Field Guide. Vol. 1: Field data collection procedures for Phase 2 plots, Version 9.0*. Washington DC, Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (disponible en: www.fia.fs.fed.us/library/field-guides-methods-proc/docs/2019/core_ver9-0_10_2019_final_rev_2_10_2020.pdf).

Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). 2016. National Land Cover Database. Actualizado en 2016. (disponible en: www.usgs.gov/centers/eros/science/national-land-cover-database?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects). Acceso: 29 de julio de 2021.

Weaver, P.L. y Gillespie, A.J. 1992. Tree biomass equations for the forests of the Luquillo Mountains, Puerto Rico. *Commonwealth Forestry Review*, 71(1): 35-39. (disponible en: www.sidalc.net/repdoc/A11326i/A11326i.pdf).

White, D., Kimerling, J.A. y Overton, S.W. 1992. Cartographic and geometric components of a global sampling design for environmental monitoring. *Cartography and Geographic Information Systems*, 19(1): 5-22. (disponible en: <https://doi.org/10.1559/152304092783786636>).

Woodall, C.W., Heath, L.S., Domke, G.M. y Nichols, M.C. 2011. *Methods and equations for estimating aboveground volume, biomass, and carbon for trees in the U.S. forest inventory, 2010*. Informe Técnico General NRS-88. Newtown Square (Estados Unidos), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estación de Investigación del Norte. (disponible en: www.nrs.fs.fed.us/pubs/39555).

Woudenberg, S.W., Conkling, B.L., O'Connell, B.M., LaPoint, E.B., Turner, J.A. y Waddell, K.L. 2010. *The Forest Inventory and Analysis database: database description and user's manual version 4.0 for Phase 2*. Informe Técnico General RMRS-GTR-245. Fort Collins (Estados Unidos), Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estación de Investigación de las Montañas Rocosas. (disponible en: www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/37446).