



## Monitoreo de árboles urbanos: una guía de recursos



## Sinopsis

Las pautas propuestas en *Monitoreo de árboles urbanos: una guía de recursos* (en adelante llamado la *Guía de recursos*) se crearon y depuraron a lo largo de muchos años para atender la necesidad de protocolos estandarizados para el monitoreo de árboles urbanos. La *Guía de recursos* ofrece orientación detallada a los encargados e investigadores de bosques urbanos que desean diseñar y poner en práctica un proyecto de monitoreo de árboles urbanos. Esta *Guía de recursos* es complemento de *Monitoreo de árboles urbanos: una guía de campo*; no obstante, la *Guía de recursos* también puede utilizarse por sí sola. La *Guía de recursos* se divide en tres partes. En la Parte I, se analizan (1) los objetivos diversos de proyectos de monitoreo y cómo adecuar la recolección de datos a esos objetivos, (2) la creación de estos estándares de monitoreo de árboles urbanos, (3) tipos de proyectos de monitoreo y (4) conexiones con otros protocolos para la recolección de datos de árboles urbanos. Se da orientación sobre métodos de registro de ubicación de árboles, creación de identificadores de registros de árboles, organización de hojas de cálculo y bases de datos, elección de sistemas de recolección de datos, promoción de alianzas de investigación y práctica, capacitación de brigadas y manejo del trabajo de campo. En la Parte II, se presentan cinco variables a monitorear: variables mínimas a registrar, datos del árbol, datos del sitio, datos del manejo de árboles juveniles y datos de la comunidad. Se indican objetivos de estudio que podrían abordarse con cada conjunto de variables y descripciones de las variables pertinentes. También se brinda orientación con respecto a las variables más adecuadas para brigadas principiantes y avanzadas. Por último, en la Parte III se incluyen apéndices con recursos adicionales para diseñar y poner en práctica proyectos de monitoreo de árboles.

## Foto de portada

Árboles de laurel de indias (*Ficus microcarpa*) flanquean las calles de Santa Mónica, CA. Fotografía de Natalie S. van Doorn, Servicio Forestal del USDA.

El uso de nombres comerciales o de empresas en esta publicación es para información del lector y no implica respaldo del Departamento de Agricultura de Estados Unidos ni algún producto o servicio.

Manuscrito en inglés recibido para publicación en noviembre de 2019

---

Publicado por:

USDA FOREST SERVICE  
800 BUCHANAN STREET  
ALBANY, CA 94710

Marzo de 2024

Para solicitar copias  
adicionales, enviar mensaje de  
correo electrónico a:  
sm.fs.psw-comms@usda.gov

---

Visitar la página en: <https://www.fs.usda.gov/research/psw>

## **Autores**

NATALIE S. van DOORN es ecóloga urbana investigadora de la Estación de Investigación del Pacífico Suroeste del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, 800 Buchanan Street, Albany, CA 94710.

LARA A. ROMAN es ecóloga investigadora de la Estación de Campo de Filadelfia en la Estación de Investigación Norte del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, 100 N 20th Street Suite 205, Philadelphia, PA 19103.

E. GREGORY McPHERSON es investigador (jubilado) y PAULA J. PEPER es ecóloga urbana (jubilada), de la Estación de Investigación Pacífico del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, 1731 Research Park Drive, Davis, CA 95616.

BRYANT C. SCHARENBRUCH es profesor adjunto de ciencia de los suelos en la Facultad de Recursos Naturales de la Universidad de Wisconsin en Stevens Point, 800 Reserve Street, Stevens Point, WI 54481 y becario de investigación en *The Morton Arboretum*, 4100 Illinois Route 53, Lisle, IL 60532.

JASON G. HENNING es investigador en *Davey Institute*, una división de *Davey Tree Expert Company* y contratista en la Estación de Campo en Filadelfia del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de EE. UU., 100 N 20th Street, Suite 205, Philadelphia, PA 19103.

JOHAN P.A. ÖSTBERG es investigador en el Departamento de Arquitectura, Planificación y Manejo Paisajísticos de la Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas en Alnarp, Box 66, 23053, Alnarp, Suecia.

LEE S. MUELLER es especialista en silvicultura de *Davey Resource Group, Inc.*, 1500 North Mantua, Kent, OH 44240 y fue director de programa del Proyecto de Bosque Urbano para *Friends of Grand Rapids Parks* en Grand Rapids, Michigan.

ANDREW K. KOESER es profesor adjunto del Centro de Investigación y Educación de la Costa del Golfo de la Universidad de Florida, 14625 County Road 672, Wimauma, FL 33598.

JOHN R. MILLS es investigador (jubilado) de la Estación de Investigación del Pacífico Noroeste del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, 620 SW Main, Suite 400, Portland, OR 97205.

RICHARD A. HALLETT es ecólogo investigador en la Estación de Campo Urbana de la Ciudad de Nueva York, Estación de Investigación Norte, del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, 431 Walter Reed Road, Bayside, NY 11359.

JOHN E. SANDERS es especialista en investigación y JOHN J. BATTLES es profesor de Política y Administración del Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de California en Berkeley, 130 Mulford Hall, Berkeley, CA 94720.

DEBORAH J. BOYER es gerente de proyectos, Azavea, 990 Spring Garden Street, Fifth Floor, Philadelphia, PA 19123.

JASON P. FRISTENSKY es gerente de proyectos, *Berger Partnership P.S.*, 1721 8th Avenue N, Seattle, WA 98109 y fue asistente de investigación en la Estación de Campo en Filadelfia del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, 100 N 20th Street Suite 205, Philadelphia, PA 19103.

SARAH K. MINCEY es directora adjunta del Programa Integrado en Medio Ambiente, *Multidisciplinary Science Building II* 134 de la Universidad de Indiana-Bloomington, 134, 702 N Walnut Grove Avenue, Bloomington, IN 47405.

JESS VOGT es profesor adjunto de Ciencias y Estudios Medioambientales de la Universidad DePaul, 1 E Jackson Boulevard, Chicago, IL 60604.

## **Traducción al español**

Traducido por World Class Traductores, SA de CV (Eva Gorostieta Damm, Rocío Covarrubias Casillas y Maria Covarrubias Casillas)

## **Agradecimientos**

La traducción al español se hizo con recursos de la oficina de Programas Internacionales del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), Programa de México, del Programa de Dasonomía Urbana y Comunitaria, Washington Office, y del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical.

Revisores de la traducción al español:

NATALIE S. van DOORN. Servicio Forestal del USDA. Estación de Investigación del Pacífico Suroeste.

LARA A. ROMAN. Servicio Forestal del USDA. Estación de Investigación del Pacífico Suroeste y Estación del Noreste.

FABIOLA LÓPEZ. Servicio Forestal del USDA. Programas Internacionales - Programa México.

MAIRA GAZCA. Servicio Forestal del USDA. Programas Internacionales - Programa México.

MARIA ARROYAVE. Servicio Forestal del USDA. Programas Internacionales - Programa Colombia.

MAYA QUIÑONES, Servicio Forestal del USDA. Instituto Internacional de Dasonomía Tropical.

TOMÁS MARTÍNEZ-TRINIDAD. Colegio de Postgraduados en México - Posgrado en Ciencias Forestales.

ELVIA MELÉNDEZ-ACKERMAN. Universidad de Puerto Rico.

HUMFREDO MARCANO. Servicio Forestal del USDA. Inventario y Análisis Forestal Nacional.

FRANCISCO ESCOBEDO. Servicio Forestal del USDA. Estación de Investigación del Pacífico Suroeste.

# Contenido

<b>Parte I: Estrategias generales para el monitoreo de árboles urbanos</b>	<b>1</b>
1. Introducción	2
1.1. ¿Por qué monitorear árboles urbanos?	2
1.2. Tipos de proyectos de monitoreo	7
1.3. Conexión de los objetivos de monitoreo con los métodos de campo	8
1.4. Antecedentes	11
2. Pasos iniciales	20
2.1. Planificación previa a la recolección, el manejo y el análisis de datos	20
2.2. ¿Qué es un árbol?	29
2.3. Elegir el método de ubicación adecuado	31
2.4. Tipo de sitio y uso del suelo	42
2.5. Consideraciones de la base de datos longitudinal	45
3. Manejo del trabajo de campo	56
3.1. Consejos para capacitar a las brigadas de campo	56
3.2. Consejos para manejar y apoyar a las brigadas de campo	60
3.3. Sugerencias de equipo de campo	65
4. Conclusión	68
<b>Parte II: Conjunto de datos para el monitoreo de árboles urbanos</b>	<b>69</b>
5. Estructura de los conjuntos de datos	70
6. Conjunto de datos mínimos	72
6.1. Información de registro básica	73
6.2. Ubicación y sitio	74
6.3. Datos del árbol	74
6.4. Contexto del estado de mortalidad	75
6.5. Contexto de la vitalidad de la copa	77
6.6. Contexto del diámetro del tronco	78
7. Datos del árbol	81
7.1. Medidas del árbol	82
7.2. Condición y mantenimiento del árbol	83
7.3. Imágenes	86
7.4. Contexto de la muerte regresiva de ramillas	86

8.	Datos del sitio	88
8.1.	Calles	88
8.2.	Construcciones	90
8.3.	Superficies duras ( <i>hardscapes</i> )	90
8.4.	Interferencias aéreas	90
8.5.	Suelo	91
9.	Datos del manejo de árboles juveniles	92
9.1.	Información del programa	93
9.2.	Información del cuidador de los árboles	93
9.3.	Acciones de cuidado	94
10.	Datos de la comunidad	95
10.1.	Datos nacionales de alta prioridad	96
10.2.	Datos locales	96
10.3.	Encuestas y entrevistas a la comunidad	97
11.	Agradecimientos	98
<b>Parte III: Documentación de respaldo</b>		<b>99</b>
	Literatura citada	100
	Apéndice 1: Ejemplos de tipo de sitio y uso del suelo	116
	Apéndice 2: Recursos para la identificación de especies	119
	Sitios web y aplicaciones	119
	Libros	120
	Apéndice 3: Otros protocolos	122
	Apéndice 4: Programas y actividades de capacitación de la brigada de campo	124
	Programa No. 1: Programa de capacitación de brigada de campo de día completo (7 horas) para pasantes o ciudadanos científicos	124
	Programa No. 2: Programa corto (2.5 horas) de capacitación para pasantes o ciudadanos científicos	125
	Glosario	129

## Prólogo

*Monitoreo de árboles urbanos: una guía de recursos* (en adelante *Guía de recursos*) se escribió para ayudar a gestores, investigadores y estudiantes de dasonomía urbana y ecología urbana en proyectos de monitoreo de árboles de campo. Todos los autores han participado en numerosos proyectos de monitoreo de árboles en entornos urbanos y rurales, con fines de investigación y manejo y con brigadas de campo compuestas por voluntarios, estudiantes, pasantes y profesionales. La *Guía de recursos* incluye las mejores prácticas aprendidas a través de años de trabajo de campo y manejo de datos relacionados. A continuación, se describen brevemente sus experiencias pertinentes, en las cuales se basan las múltiples sugerencias que se encuentran en toda la *Guía de recursos*.

Natalie S. van Doorn supervisó a las brigadas de campo y manejó la recolección de datos para parcelas permanentes en bosque rural en el programa *Long-Term Ecological Research* de la *National Science Foundation* en el *Hubbard Brook Experimental Forest*, New Hampshire, a lo largo de 12 años y ha trabajado con datos de árboles urbanos a largo plazo por 5 años. John J. Battles, John E. Sanders y Richard A. Hallett también han trabajado con parcelas permanentes forestales rurales en bosques experimentales en Hubbard Brook y otros lugares durante 34, 10 y 21 años, respectivamente. Lara A. Roman ha recolectado datos y supervisado brigadas de campo para monitoreo de árboles en jardines y en vías en el norte de California y en Filadelfia, PA, durante 13 años, además de impartir capacitación a ciudadanos científicos. E. Gregory McPherson y Paula J. Peper han participado en la recolección, el manejo y el análisis de inventarios de árboles de las vías a lo largo de Estados Unidos durante más de 20 años. Bryant C. Scharenbroch ha trabajado en suelos urbanos e inventarios de árboles en Chicago, IL y en otros lugares durante 9 años. Jason G. Henning ha impartido clases de toma de medidas de bosques y ha recolectado datos de silvicultura rural durante 12 años, además de haber trabajado con datos de dasonomía urbana relacionados con i-Tree en todo Estados Unidos durante 6 años. Johan P.A. Östberg lleva 11 años haciendo inventarios de campo de dasonomía urbana y elaboró estándares de inventarios de árboles urbanos para Suecia. Lee S. Mueller incorporó, manejó y apoyó a voluntarios para proyectos de inventario y evaluación de árboles en Detroit y Grand Rapids, MI, durante 7 años. Deborah J. Boyer ha trabajado con software de inventario de bosques urbanos para organizaciones municipales, sin fines de lucro y estatales durante 7 años. Andrew K. Koeser ha supervisado inventarios de árboles y evaluaciones posteriores al huracán en todo Florida durante 7 años. Los datos recolectados se usan para evaluar las labores de manejo en el pasado y orientar mejores prácticas. Jess Vogt y Sarah K. Mincey han supervisado la recolección de datos de árboles de las vías en Indianápolis, Indiana y otras ciudades durante 8 años, y han elaborado protocolos para monitorear árboles plantados recientemente, además, Jess Vogt también ha enseñado métodos de inventario durante 4 años. Jason P. Fristensky trabajó como miembro de una brigada de campo y administrador de base de datos para inventarios de árboles urbanos durante un año y ha sido arquitecto paisajista por 6 años.

Los autores esperan que la *Guía de recursos* y su complemento, *Monitoreo de árboles urbanos: una guía de campo*, sean de utilidad para los lectores cuando pongan en práctica proyectos de monitoreo de árboles urbanos, puesto que estos documentos contienen el tipo de información que les hubiera servido mucho cuando comenzaron estudios de campo de árboles urbanos a largo plazo. Las experiencias y los ejemplos en esta *Guía de recursos* son principalmente de Estados Unidos, pero las estrategias y sugerencias que se ofrecen pueden aplicarse ampliamente al monitoreo de árboles urbanos en todo el mundo.

---

## **Parte I: Estrategias generales para el monitoreo de árboles urbanos**

---

# 1. Introducción

*Monitoreo de árboles urbanos: una guía de recursos* (en adelante la *Guía de recursos*) es complemento de *Monitoreo de árboles urbanos: una guía de campo* (en adelante la *Guía de campo*) (Roman *et al.* 2020). Mientras que la *Guía de campo* ofrece protocolos detallados para un conjunto de variables básicas y puede ser usada por profesionales, investigadores, pasantes y voluntarios en el campo, la *Guía de recursos* ofrece orientación a fondo para los gestores e investigadores de bosques urbanos que desean diseñar y poner en práctica un proyecto de **monitoreo**. A lo largo de la *Guía de recursos* se habla de diversos objetivos de proyectos de monitoreo y cómo adecuar los métodos de recolección de datos a esos objetivos, incluyendo el contexto de la creación de estas pautas de monitoreo de árboles urbanos, tipos de proyectos de monitoreo, conexiones con otros protocolos para la recolección de datos de árboles urbanos, consejos para capacitar brigadas y manejar el trabajo de campo, orientación para seleccionar métodos de ubicación de árboles e identificadores de registros de árboles, además de explicaciones detalladas de variables de monitoreo.

Aunque el término **bosque urbano** es de uso general en Estados Unidos para referirse a todos los árboles dentro de ciudades y áreas urbanizadas, tanto públicas como privadas, incluidos árboles de las vías, jardines y parques (Konijnendijk *et al.* 2006, Nowak *et al.* 2010, Piana and Troxel 2014), la *Guía de campo* y la *Guía de recursos* se centran en árboles de la vía y prados (incluidos prados residenciales, prados en parques y también en otros espacios con vegetación). No se incluyen árboles en zonas naturales o boscosas de parques urbanos porque estas requerirían de un método de monitoreo diferente. Consultar en Avery y Burkhart (2001), Brassel y Lischke (2001), Husch *et al.* (2002), Van Laar y Akca (2007) y West (2009) más información acerca de métodos de campo para inventarios y monitoreo en sistemas forestales rurales. Es importante reconocer que los árboles en distintas partes del ecosistema urbano tienen diferentes condiciones medioambientales y dinámicas de población, las cuales requieren de distintos métodos de inventario y monitoreo.

Los términos en **negritas** a lo largo de este documento están definidos en el Glosario (página 127).

---

***Monitoreo de árboles urbanos: una guía de recursos se centra en árboles de las vías y en prados.***

---

## 1.1. ¿Por qué monitorear árboles urbanos?

El monitoreo es un elemento fundamental para el manejo de los bosques urbanos. Como lo sugieren Clark *et al.* (1997), evaluar los recursos de los bosques urbanos para la sostenibilidad implica “recolectar información acerca del bosque urbano de manera rutinaria”. Esto es más que un inventario fotográfico. Un inventario estático se puede usar para comprender la estructura, la función y los servicios ecosistémicos en un momento determinado (como distribución de clases de tamaño, composición de especies y beneficios medioambientales relacionados de los árboles), pero un inventario puede desactualizarse rápidamente en el dinámico paisaje urbano.

---

Los estudios de monitoreo describen los cambios a través del tiempo

---

De hecho, al reconocer el valor de los datos de campo a largo plazo, muchos arboristas municipales, organizaciones sin fines de lucro de la arborización urbana y estados ya están participando en el monitoreo continuo (Roman *et al.* 2013). Asimismo, se han publicado muchos artículos de investigación acerca del monitoreo de la **mortalidad** (y su otra cara, la supervivencia), el crecimiento y la salud de los árboles urbanos en los últimos años, demostrando un creciente interés en el tema por parte de los investigadores (p. ej., Berger *et al.*; Hallett *et al.* 2018; Hilbert *et al.* 2019; Ko *et al.* 2015a, 2015b; Koeser *et al.* 2014; Lima *et al.* 2013; Martin *et al.* 2016; Roman *et al.* 2014a, 2014b; Roman *et al.* 2015; Vogt *et al.* 2015a; van Doorn y McPherson 2018; Widney *et al.* 2016). Aunque un inventario puede describir la estructura y los patrones espaciales en un bosque urbano, solamente los datos de monitoreo pueden describir los cambios con el tiempo.

---

Los datos longitudinales constan de observaciones reiteradas de los mismos individuos arbóreos.

---

Este informe está centrado en el **monitoreo de campo a largo plazo**, aunque hay otros tipos de monitoreo pertinentes a los bosques urbanos (Leff 2016) que incluyen el uso de imágenes aéreas, LiDAR y sensores remotos para detectar cambios en la cobertura arbórea. También se podrían evaluar los cambios a través del tiempo en las comunidades humanas e instituciones que custodian árboles. Pero este informe está centrado específicamente en el monitoreo en campo de árboles urbanos para producir **datos longitudinales**: observaciones reiteradas de los mismos individuos arbóreos. Los estudios longitudinales son esenciales para la investigación sobre la **demografía del arbolado** (el estudio de la dinámica de la población), incluido el análisis del cambio con el tiempo en su mortalidad, crecimiento y salud. Aunque estos estudios son relativamente nuevos en la dasonomía urbana, los estudios de monitoreo longitudinal están más generalizados en los bosques rurales (Roman *et al.* 2016). Los estudios de demografía del arbolado en bosques rurales pueden incluir análisis de mortalidad, crecimiento, incorporación y regeneración de árboles dentro de parcelas y rodales y, similarmente, los estudios demográficos de árboles en jardines o vías pueden incluir análisis de mortalidad de árboles (incluida su remoción), crecimiento y plantación (con alguna regeneración posible según las condiciones del sitio). Los estándares de monitoreo de árboles urbanos presentados en la *Guía de campo* y las recomendaciones que se ofrecen en la *Guía de recursos* respaldan los estudios longitudinales estructurados de los árboles urbanos. Los estándares de monitoreo de árboles se centran en árboles cuyos ciclos de población están controlados antropogénicamente (Roman *et al.* 2016). Aunque varias docenas de programas de dasonomía urbana en Estados Unidos ya se dedican al monitoreo de árboles (Roman *et al.* 2013), los métodos difieren mucho y es importante tener esfuerzos coordinados para recolectar los datos de monitoreo en muchas ciudades (para ver ejemplos de proyectos de monitoreo coordinado en varias ciudades, consultar a McPherson *et al.* 2016, Widney *et al.* 2016). Las variaciones en los métodos presentan dificultades para que los gestores e investigadores comparen datos de distintas ciudades y programas. Esas comparaciones inter e intramunicipales con datos estándar son importantes para dar claridad acerca de las tasas comunes de mortalidad y crecimiento a través de regiones y especies, además de facilitar estudios con respecto a los factores que influyen en esos resultados.

---

Se deben decidir los objetivos deseados al inicio de un proyecto de monitoreo.

---

El monitoreo en campo de árboles urbanos puede cumplir con varios objetivos de manejo e investigación para estudios inter o intramunicipales. Sin embargo, ningún proyecto solo puede lograr todos esos objetivos, por lo que es importante decidir los objetivos deseados al inicio de un proyecto de monitoreo. A continuación, se ofrece una lista de objetivos posibles (sin un orden particular).

---

Los resultados del desempeño de los árboles pueden incluir crecimiento, supervivencia, salud y servicios ecosistémicos asociados.

---

- Evaluar el desempeño de un programa de plantación.** Llevar registro de los árboles plantados a través de un programa en particular puede aportar información acerca de los resultados del desempeño de los árboles, como crecimiento, supervivencia, salud y servicios ecosistémicos asociados. Para muchos municipios y organizaciones sin fines de lucro que llevan a cabo monitoreo de árboles, los resultados del desempeño de los árboles sirven como indicadores del éxito del programa. Por ejemplo, el Departamento de Parques y Recreación de la ciudad de Nueva York (Nueva York, NY) recolectó datos sobre supervivencia de árboles en la vía en lo relativo a factores sociales y ecológicos (Lu *et al.* 2010). Investigadores que colaboraron con la *Sacramento Tree Foundation* y el Distrito de Servicios Públicos Municipales de Sacramento, CA, monitorearon la supervivencia y el crecimiento de árboles residenciales para determinar en qué medida las proyecciones de ahorro de energía iniciales correspondieron al desempeño observado (Ko *et al.* 2015a, 2015b; Roman *et al.* 2014a). En San Francisco, CA, los investigadores colaboraron con la organización sin fines de lucro *Friends of the Urban Forest* para monitorear el crecimiento y la vitalidad de árboles ornamentales plantados comúnmente (Martin *et al.* 2016).
- Comprender los factores ecológicos y sociales que predicen la mortalidad, el crecimiento y la salud de los árboles.** Los estudios que llevan registro de factores que podrían estar relacionados con la mortalidad, el crecimiento y la salud de los árboles pueden mejorar la comprensión científica y práctica de cómo cambian los árboles urbanos a través del tiempo. Los estudios que incorporan monitoreo a largo plazo también pueden sugerir posibles áreas de mejora del programa e identificar árboles con mayor riesgo de deterioro. Por ejemplo, los estudios mencionados anteriormente de árboles residenciales en Sacramento mostraron que la mortalidad de los árboles estaba relacionada con la inestabilidad del propietario de la vivienda (es decir, ejecuciones hipotecarias, ventas de la vivienda e inmuebles ocupados por inquilinos), además de que se relacionó la inestabilidad del propietario de la vivienda con malas prácticas de mantenimiento por los residentes (Ko *et al.* 2015a, Roman *et al.* 2014a). Esto sugirió la necesidad de dar apoyo para el mantenimiento de árboles residenciales con el tiempo, incluso con nuevos propietarios e inquilinos. Los estudios de árboles de la vía también han demostrado la importancia del mantenimiento, y en especial los regímenes de riego para la supervivencia de los árboles (Breger *et al.* 2019; Koeser *et al.* 2014; Mincey y Vogt 2014; Vogt *et al.* 2015a). Asimismo, algunos estudios de monitoreo de árboles urbanos han demostrado las diferencias en los resultados de mortalidad y de salud por especies o grupos de especies en lo relativo a factores ecológicos como tolerancia a las sequías, microclimas de las ciudades e inundaciones costeras (Hallett *et al.* 2018, Ko *et al.* 2015a, Koeser *et al.* 2014, Martin *et al.* 2016, Roman *et al.* 2014a). De manera similar, las evaluaciones cualitativas de programas de plantación de árboles de las vías con desempeño inusualmente alto o bajo (p. ej., supervivencia muy alta o muy baja) pueden sugerir elementos esenciales para la supervivencia de los árboles (Breger *et al.* 2019, Roman *et al.* 2015, Yang y McBride 2003). Los estudios que se basan en muestreos por parcelas se pueden usar de manera similar para comprender los factores relacionados con la mortalidad, el crecimiento y la salud de los árboles urbanos. Esos estudios con base en parcelas también han evaluado cambios en la estructura del bosque urbano y los servicios ecosistémicos a través del tiempo, además de los impactos de los eventos climatológicos extremos (p. ej., Lawrence *et al.* 2012, Lima *et al.* 2013, Nowak *et al.* 2013b, Staudhammer *et al.* 2011).

Se debe destacar que algunos de los estudios con base en parcelas abarcan muchos **usos del suelo** y **tipos de sitio** diferentes en el bosque urbano, incluidos rodales en parques, árboles residenciales y árboles en la vía.

- **Atraer la participación de las comunidades locales.** La participación de la comunidad en la dasonomía urbana puede incluir la **ciencia ciudadana** (Roman *et al.* 2017, 2018a). La ciencia ciudadana compromete al público con la investigación ecológica y el manejo de recursos naturales (Dickinson *et al.* 2010, 2012; Tulloch *et al.* 2013), por lo común con el uso de voluntarios para recolectar datos (Silvertown 2009). Por ejemplo, algunas organizaciones sin fines de lucro incorporan a voluntarios para llevar registro de árboles recién plantados, entre otros *Friends of the Urban Forest* (San Francisco, CA), *Canopy* (Palo Alto, CA) y *Pennsylvania Horticultural Society* (Philadelphia, PA). Cuando los voluntarios observan problemas de mantenimiento en los árboles, esa información se puede usar para informar a los residentes del estado de los árboles y dar recomendaciones para un mejor cuidado. Además, voluntarios han participado en inventarios de árboles en la vía de ciudades enteras, entre otras en Portland, OR y Nueva York, NY (Crown *et al.* 2018, Silva *et al.* 2013, St. John 2011). Muchos de esos programas de ciencia ciudadana funcionan como campañas de campo con base en eventos, donde los voluntarios salen en días específicos, a veces organizados como “fiestas de cartografía”. Esto contrasta con las labores de **colaboración colectiva** para la recolección de datos del arbolado urbano donde un gran número de voluntarios envía datos cuando y donde lo deseen. Aunque la ciencia ciudadana se ha utilizado en estos diversos ejemplos de dasonomía urbana, la calidad de los datos puede ser un problema. Estudios recientes que evaluaron la calidad de los datos de voluntarios en inventarios de árboles en la vía incluyen a Roman *et al.* (2017, 2018b), Bancks *et al.* (2018), Hallett y Hallett (2018) y Hamilton *et al.* (2018). Esos estudios sugieren que los supervisores de proyecto deben conectar las necesidades de calidad de datos con la capacitación de brigadas de campo y lo adecuado de usar voluntarios. Para ciertas variables y determinados usos de los datos, la calidad de los datos generados por voluntarios es adecuada (ver en las secciones 1.3, 1.4.3 y 2.1.9 argumentos adicionales sobre calidad de datos y voluntarios).
- **Manejar los ciclos de poda y el riesgo de los árboles.** Esto es especialmente pertinente para árboles de la vía, los cuales requieren inspecciones frecuentes para encauzar la poda y la remoción de árboles envejecidos y peligrosos (Harris *et al.* 2004, Pokorny 2003). Se pueden integrar inventarios de árboles de las vías con una inspección periódica y ciclo de poda de un arborista municipal. Por ejemplo, un arborista municipal podría inspeccionar la quinta parte de los árboles en la vía de la ciudad cada año y actualizar el inventario con datos de mortalidad de árboles y nuevas plantaciones, de modo que las inspecciones y los inventarios se terminen en un ciclo de 5 años. Este tipo de ciclo de inventario e inspección sistemáticos garantiza que los registros estén actualizados para manejo proactivo y permite analizar la mortalidad y el riesgo de los árboles (Hauer y Peterson 2016, Roman *et al.* 2013).
- **Producir datos empíricos para la proyección de la población y modelos de servicios ecosistémicos.** La información incompleta acerca de la mortalidad de los árboles es reconocida como una fuente importante de incertidumbre en modelos que proyectan poblaciones del bosque urbano hacia el futuro para calcular los servicios ecosistémicos (McPherson 2014, McPherson *et al.* 2008, Morani *et al.* 2011, Roman *et al.* 2016).

---

Para evaluar si es adecuado usar a voluntarios para el monitoreo de árboles urbanos, se debe considerar la necesidad de datos de calidad y la capacitación de la brigada de campo.

---

---

Generar más datos de mortalidad, crecimiento y alometría de los árboles es crucial para mejorar la precisión de la proyección de la población y los modelos de servicios ecosistémicos.

---

Los servicios ecosistémicos proyectados también son sensibles a cambios en el crecimiento de los árboles (Ko *et al.* 2015b, Widney *et al.* 2016), sin embargo, hay muy pocos datos empíricos acerca del **crecimiento arbóreo** en entornos urbanos (Roman *et al.* 2015). La **alometría** de árboles urbanos —las relaciones de tamaño de los árboles (p. ej., ecuaciones para calcular la altura, las dimensiones de la copa y la biomasa a partir del tamaño del tronco)— es otro componente esencial de los modelos de servicios ecosistémicos y proyección de la población (Blood *et al.* 2016, McHale *et al.* 2009, McPherson *et al.* 2016, Troxel *et al.* 2013). Generar más datos de mortalidad, crecimiento y alometría, entre ciudades, programas y condiciones de sitio, es crucial para mejorar la precisión del modelo.

- **Detectar amenazas de plagas y enfermedades.** El monitoreo de plagas y enfermedades de árboles en el entorno urbano puede aportar valiosos avisos anticipados de amenazas para sistemas forestales urbanos y naturales. El Servicio Forestal de EE. UU. y la iniciativa *Healthy Trees, Healthy Cities* de *The Nature Conservancy* han ideado métodos de campo diseñados para detección de plagas y monitoreo de la salud de los árboles. También hay un módulo de **i-Tree** para llevar el registro de datos de detección de plagas (USDA Forest Service 2017c). Estas herramientas son similares a sistemas de detección de plagas para bosques rurales (Barger y Moorhead 2007) y este monitoreo puede estar dirigido a profesionales o ciudadanos científicos.
- **Evaluar resultados de plantaciones de árboles experimentales.** Las plantaciones de árboles experimentales se pueden usar para evaluar el desempeño de nuevas especies, nuevas variedades o respuestas a cambios en las condiciones del clima. Por ejemplo, las pruebas de campo del serviceberry (*Amalanchier* spp.), manzana silvestre (*Malus* spp.) y peral de flor (*Pyrus calleryana*) indicaron diversas tasas de crecimiento, estado y adecuación del sitio para distintas variedades (Gerhold 2007a, 2007b, 2008). Otros estudios han plantado de manera experimental especies que no se han probado previamente en una zona climática particular (McPherson y Albers 2014). Uno de esos experimentos, el proyecto *Climate-ready Trees* (McPherson *et al.* 2018), está plantando especies que se cree que son adaptables a las condiciones futuras pronosticadas en zonas climáticas de California. Para determinar el éxito o el fracaso de especies o variedades que son nuevas para una ciudad o región, es importante llevar registro de su mortalidad, crecimiento y salud a lo largo de varios años, posiblemente décadas.

### 1.1.1. Una nota breve sobre los términos mortalidad y supervivencia

Puesto que la mortalidad a menudo es uno de los principales resultados de interés en los estudios de monitoreo de árboles urbanos, aquí se hace una nota breve sobre el significado de los términos mortalidad y supervivencia. Se define mortalidad de árboles urbanos como una combinación de los árboles observados muertos y los que se removieron. Las observaciones de mortalidad se pueden expresar como la **tasa de mortalidad anual**, que es la proporción de árboles que mueren (o son removidos) en un año determinado. La **tasa de supervivencia anual** es el lado contrario de la mortalidad, la proporción de árboles que sobreviven en un año determinado (supervivencia anual = 1 - mortalidad anual).

---

Se define mortalidad de árboles urbanos como una combinación de los árboles observados muertos y los que se removieron.

---

Al llevar el registro de los árboles de un proyecto de plantación, la **supervivencia** es la proporción de los árboles que sobreviven desde su plantación hasta un tiempo particular (p. ej., supervivencia 10 años después de la plantación). Esos términos tienen su origen en definiciones estándar de demografía y biología de las poblaciones. La supervivencia, un término utilizado a menudo entre profesionales de dasonomía urbana, no tiene una definición estándar. Ver en Roman *et al.* (2016) más información acerca de cómo calcular la mortalidad anual, supervivencia anual y supervivencia, además de otras aplicaciones de conceptos demográficos a bosques urbanos.

## 1.2. Tipos de proyectos de monitoreo

Hay dos tipos básicos de proyectos de monitoreo de árboles urbanos en campo que se tratan en la *Guía de campo* y en la *Guía de recursos*: (1) monitoreo de la cohorte de árboles de edades relativamente similares y (2) monitoreo del arbolado de múltiples edades.

---

El monitoreo de la cohorte lleva registro de árboles plantados dentro del mismo programa o iniciativa.

---

- **Monitoreo de la cohorte de árboles de edades relativamente similares** (en adelante denominado monitoreo de la cohorte). Una **cohorte** es un grupo de árboles plantados alrededor de la misma fecha (p. ej., misma temporada de plantación o mismo año). El monitoreo de la cohorte por lo general pretende llevar registro de árboles plantados dentro del mismo programa o iniciativa. Con un estudio de cohorte, el número total de árboles plantados originalmente disminuye con el tiempo a medida que los árboles mueren o son removidos. Si se plantan **árboles de reemplazo**, entonces esas nuevas cohortes también se pueden monitorear.

---

El monitoreo del arbolado de múltiples edades lleva el registro de los árboles de todas las edades dentro de un área geográfica determinada.

---

- **Monitoreo del arbolado de múltiples edades.** Monitorear árboles dentro de una zona geográfica determinada (p. ej., ciudad, vecindario), sin importar quién o cuándo los plantó, es una nueva medición del inventario. Los inventarios pueden abarcar varias clases de edad como resultado de distintas campañas de plantación, intensidades de perturbaciones (p. ej., tormentas pasadas) y regímenes de manejo. El monitoreo del arbolado de múltiples edades podría estar dirigido a usos del suelo o tipos de sitio específicos (p. ej. jardines residenciales, árboles de las vías, parques de vecindarios). Con este tipo de proyecto, los árboles se pueden añadir (mediante plantación o regeneración natural) y remover (mediante la muerte en el lugar o la remoción por seres humanos) del inventario. Por lo tanto, el número total de árboles monitoreados podría aumentar o disminuir con el tiempo. Los nuevos árboles agregados al inventario (mediante la plantación o regeneración) se pueden analizar como incorporaciones. Los cambios del tamaño total de la población pueden reflejarse en la **tasa de crecimiento de la población** (que no debe confundirse con la tasa de crecimiento de los árboles). También pueden monitorearse los árboles de reemplazo para comprender la dinámica de la población de árboles. También pueden analizarse los cambios en la composición y la diversidad de especies para proyectos de monitoreo del arbolado de múltiples edades.

Cada uno de los dos tipos de monitoreo descritos antes se puede categorizar más según la proporción de árboles dentro del proyecto o el área geográfica que se monitorean. En un censo, todos los árboles en el proyecto de plantación o área geográfica están inventariados, mientras que en una muestra solamente se mide una selección de árboles. Por ejemplo, un inventario de árboles en la vía repetido que cubra a todas las vías en una ciudad particular sería un proyecto de monitoreo del arbolado de múltiples edades que constituye un censo de toda la ciudad. Pero un inventario de árboles en la vía repetido que implica solo unas cuerdas seleccionadas sería un proyecto de monitoreo del arbolado de múltiples edades basado en el muestreo por parcelas.

---

Las nuevas medidas de los árboles deben estar vinculadas con el primer registro de ese árbol o el sitio de plantación en la base de datos.

---



---

La unidad organizacional básica de la base de datos longitudinal puede ser el sitio de plantación o el árbol.

---

Para el monitoreo de la cohorte y el monitoreo del arbolado de múltiples edades, se pueden analizar las tasas de mortalidad, crecimiento y reemplazo de árboles, así como cambios de salud. No obstante, es esencial que las tres medidas que se vuelvan a tomar estén vinculadas con el primer registro de ese árbol o el sitio de plantación en la base de datos; esta es la esencia de las estructuras de bases de datos longitudinales para llevar el registro de los individuos a través del tiempo (ver la sección 2.5 acerca de consideraciones de base de datos longitudinal). Si no es posible vincular las medidas tomadas de nuevo o la pérdida del mismo árbol a través del tiempo, no será posible analizar los datos de mortalidad, crecimiento o salud de individuos arbóreos y compendiar los resultados de todos los árboles estudiados. Para algunos proyectos que buscan resumir los niveles de **existencias** (la medida en la que el espacio se llena con árboles) y las necesidades de plantación con el tiempo, el sitio de plantación (no el árbol) debe ser la unidad organizacional básica de la base de datos longitudinal. Cuando los sitios de plantación de árboles (incluso sitios potenciales) son la unidad central de interés en un proyecto de monitoreo, entonces los sitios vacantes son parte del inventario y pueden tener diferentes árboles residiendo a través de los años, pero su ubicación geográfica se mantiene constante. Llevar el registro de los sitios de plantación es pertinente en particular para la planificación y gestión de los árboles de las vías (van Doorn y McPherson 2018, también ver la sección 2.1.14). Ver en la sección 2.5.3 ejemplos de estructuras de bases de datos que implican llevar registro de los sitios y árboles de reemplazo.

### 1.3. Conexión de los objetivos de monitoreo con los métodos de campo

Cada uno de los objetivos indicados antes tiene necesidades de datos asociadas y es esencial vincular los objetivos de monitoreo con estrategias de recolección de datos. No articular los objetivos de monitoreo desde el principio con las variables a recolectar para cumplir esos objetivos y los planes para el análisis de datos puede conducir a la situación de “riqueza de datos, pero pobreza de información” del monitoreo medioambiental (Ward et al. 1986), donde los analistas terminan “inundados en una llovizna de detalles ecológicos” (Lindenmayer y Likens 2010a). En ocasiones, esto es el resultado de objetivos mal articulados, lo cual conduce a una sobrecarga de variables sin usos definidos para cada dato recolectado.

---

Los objetivos de monitoreo deben estar vinculados a estrategias de recolección de datos.

---

Como ejemplo de vínculos adecuados entre objetivos y métodos, se deben considerar los dos tipos de proyectos de monitoreo (sección 1.2): monitoreo de la cohorte y monitoreo del arbolado de múltiples edades. Monitorear los árboles de una cohorte es una forma de evaluar el desempeño de un programa de plantación. Por ejemplo, un programa de plantación en un vecindario pretende comprender las pérdidas durante la **fase de establecimiento** (los primeros años después de la plantación [Richards 1979]) y determinar posibles alteraciones del programa para mejorar la supervivencia y la vitalidad de los árboles. El programa también pretende comprender los efectos de los cuidados del árbol y las condiciones del sitio en la supervivencia. Dicho monitoreo de árboles recién plantados debe incluir recolección de datos de mortalidad, vitalidad y cuidado (p. ej., revisar si se están siguiendo las recomendaciones de cuidado de los árboles, como riego, uso de mantillo, clavado de estacas y poda). El programa también puede decidir registrar las características del sitio para cada árbol. Si voluntarios o pasantes con poca experiencia previa recolectan los datos, sólo son adecuadas algunas variables seleccionadas de características del sitio y observaciones de mantenimiento.

También podrían ser pertinentes para el proyecto los resultados de crecimiento y salud de los árboles según los objetivos del programa y las aptitudes o la capacitación de las brigadas de campo. El monitoreo de la cohorte también se puede usar para evaluar el crecimiento y la vitalidad de la plantación de árboles experimentales de nuevas especies o variedades o de especies plantadas comúnmente en diferentes condiciones de sitio. Esos proyectos también pueden evaluar la tolerancia de las especies a los cambios en las condiciones del clima o su resistencia a las plagas. Ampliar los objetivos de monitoreo más allá de los resultados de mortalidad requiere de variables adicionales del árbol y del sitio (ver Variables del árbol, sección 7 y Variables del sitio, sección 8).

A continuación, se debe considerar el monitoreo de arbolado de múltiples edades. Así como el Censo de EE. UU. lleva registro de los cambios en la población de seres humanos, un inventario de árboles en la ciudad se puede usar para describir patrones en el bosque urbano a lo largo del tiempo. Se puede usar un censo repetido o reinventario para comprender si las nuevas plantaciones van al ritmo de las pérdidas por muerte y remoción. Por ejemplo, un municipio busca evaluar la medida en la que una gran campaña de plantación de árboles en la vía está influyendo en el tamaño de la población general y en la distribución de clase de tamaño considerando la mortalidad vigente en toda la ciudad (en otras palabras, determinar si las tasas de plantación van a la par de las pérdidas). Al municipio también le interesa identificar los árboles que necesitan ser podados o removidos para proteger la seguridad pública y la infraestructura. El municipio debería hacer un inventario repetido de todos los árboles en la vía, tanto existentes como recién plantados, posiblemente visitando una fracción de los árboles cada año junto con un ciclo de inspección. Sería posible el análisis y las conclusiones acerca de tasas de mortalidad y plantación después del segundo censo (p. ej., un censo inicial y luego un segundo censo para medir de nuevo los mismos árboles algunos años después). También se puede usar un censo de árboles repetido para la detección de plagas y enfermedades o para llevar un registro de los efectos de eventos climáticos extremos en el crecimiento, la salud y la mortalidad de los árboles. Los objetivos del monitoreo podrían crear la necesidad de variables adicionales (p. ej., indicar si un árbol es un reemplazo) o cambiar cómo se analiza una variable (p. ej., brotes basales contados como nuevos árboles) (ver las secciones 2.1.15, 2.1.16, 2.1.17). Independientemente de los objetivos específicos, estos deben conectarse con los métodos de recolección de datos y los planes de análisis y documentarlos.

---

Los objetivos del proyecto deben vincularse a los métodos de recolección de datos y los planes de análisis y documentarlos.

---

Diferentes objetivos de monitoreo y usos de los datos también tienen diferentes necesidades de calidad de datos, con implicaciones para las características de las brigadas de campo calificadas. Por ejemplo, arboristas profesionales, no voluntarios, deben hacer evaluaciones del estado de la madera, el riesgo de los árboles y las necesidades de poda, con base en evidencias de baja calidad de datos para esas variables en inventarios de ciencia ciudadana (Bloniarz y Ryan 1996, Cozad 2005, Roman *et al.* 2017). También puede haber consideraciones de responsabilidad civil para quienes manejan el bosque urbano municipal que les exijan usar a arboristas certificados para evaluaciones de mantenimiento y riesgo de los árboles. Sin embargo, los datos recolectados por voluntarios podrían ser adecuados para otros propósitos administrativos. Los voluntarios de dasonomía urbana pueden aportar precisión razonable para la identificación del género, en particular para géneros comunes (Bancks *et al.* 2018, Bloniarz y Ryan 1996, Hallett y Hallett 2018, Hamilton *et al.* 2018, Roman *et al.* 2017). Si se necesita una identificación más precisa a nivel de especies, deben usarse brigadas de campo profesionales con excelentes aptitudes de identificación.

Al medir el **diámetro a la altura del pecho**<sup>1</sup> (DAP), los voluntarios por lo general están dentro de 2.54 cm (1 pulgada) de precisión, lo cual es aceptable para que los arboristas municipales describan distribuciones de clase de tamaño y contraten remoción de árboles, pero podrían no ser aceptables para estudios científicos de crecimiento arbóreo (Roman *et al.* 2017). Los datos recolectados por investigadores y profesionales no son infalibles, pero pueden ser más uniformes que los datos recolectados por voluntarios (Bloniarz y Ryan 1996, Crall *et al.* 2011). Independientemente de que el monitoreo de los árboles lo efectúen investigadores, profesionales, pasantes o voluntarios, examinar la magnitud y las fuentes de error ayuda a identificar mejores prácticas para capacitar brigadas, conducir trabajo de campo y manejar datos (Bancks *et al.* 2018; Hallett y Hallett 2018; Hamilton *et al.* 2018; Roman *et al.* 2017, 2018b; van Doorn 2014). En la sección 3 se habla de consejos para capacitación y manejo de brigadas de campo que pueden promover la calidad de los datos y el manejo eficaz de los datos.

Un gestor de bosque urbano que conduce proyectos de monitoreo de árboles dio la sugerencia a continuación a otros practicantes e investigadores que buscan establecer programas de monitoreo:

*“Tienen que saber para qué se necesita la información. Si se están tomando el tiempo para hacerlo, ¿con qué fin? Esto ayuda a determinar qué datos se recolectan. Saber quién hará el trabajo y asegurarse de que tengan tiempo y experiencia para hacerlo correctamente”.* (Roman *et al.* 2013)

---

<sup>1</sup>En Estados Unidos la altura estándar a la que se mide el diámetro del tronco es de 1.37 metros (4.5 pies) desde el nivel del suelo. En países en los que se emplea el sistema métrico se mide a 1.30 metros

## 1.4. Antecedentes

### 1.4.1. Elaboración de los estándares de monitoreo

La *Guía de recursos* fue elaborada por el grupo de trabajo *Urban Tree Growth and Longevity* (UTGL) e investigadores de dasonomía urbana afiliados al Servicio Forestal del USDA. El grupo de trabajo de UTGL, fundado en 2010, es parte de la Academia de Investigación y Educación de Arboricultura de la Sociedad Internacional de Arboricultura (Campbell *et al.* 2016, Scharenbroch *et al.* 2014). La misión del grupo de trabajo es fomentar la comunicación entre investigadores y profesionales; enriquecer el intercambio científico y mejorar la calidad, la productividad y la puntualidad de la investigación sobre mortalidad, crecimiento y longevidad de los árboles mediante la colaboración. Esta comunidad de práctica incluye a miembros (actualmente casi 400) que representan científicos, profesionales de dasonomía urbana y estudiantes.

La necesidad de protocolos de monitoreo de árboles urbanos y recolección de datos estandarizados se identificó en el primer simposio del UTGL en *The Mortom Arboretum* (Lisle, IL) en 2011. Como parte de ese evento, los asistentes participaron en una mesa redonda sobre prioridades de investigación. Varias de las prioridades principales se relacionaban con protocolos de monitoreo en campo integrales y estandarizados que permitieran el intercambio de datos y la colaboración (Leibowitz 2012). Esos protocolos podrían detectar el cambio a lo largo del tiempo y entre ciudades, a la vez que brindarían la flexibilidad requerida por diversos usuarios. Esa opinión fue compartida por quienes respondieron a una encuesta nacional de 32 organizaciones de dasonomía urbana local que ya se dedican al monitoreo de árboles urbanos. Se preguntó al personal de esas organizaciones acerca de los objetivos, los retos, los métodos y los usos de sus programas de monitoreo; esta información desembocó directamente en los nuevos protocolos. En lugar de volver a inventar la rueda y elaborar cada uno su propio protocolo de monitoreo, los encuestados expresaron interés en adoptar un protocolo comprobado (Roman *et al.* 2013) y así liberaron recursos escasos para otros fines e hicieron posible las comparaciones entre programas.

Al pedirles sus recomendaciones para nuevos protocolos estándar, los participantes en la encuesta sugirieron que el proceso debía ser incluyente e incluir a practicantes y que los protocolos debían mantenerse simples para los usuarios, en lugar de “complicados y académicos” (Roman *et al.* 2013). Los encuestados también sugirieron que los protocolos debían ser adaptables a distintas capacidades y necesidades organizacionales y señalaron que les sería de utilidad la orientación de investigadores y otras organizaciones. Según lo expresaron dos participantes:

*“Sería de utilidad que se elaboren los protocolos estandarizados con los diseños de programa y las capacidades de varios encuestados en mente, que se proporcione la información sugiriendo la pertinencia o idoneidad de los protocolos sugeridos para la diversidad de programas”.*

*“En nuestra pequeña organización no tenemos la capacidad para hacer esta investigación por nuestra cuenta y buscar y entrevistar a otros programas. Al proporcionar información sobre lo que hacen otros programas, sugerir protocolos y dar orientación, los investigadores podrían ayudarnos a mejorar nuestro trabajo”.* (Roman 2013)

Estos resultados de la investigación documentan la necesidad vital y el sólido apoyo a un estándar de monitoreo. La *Guía de campo* y la *Guía de recursos* responden a esta necesidad al brindar orientación y métodos de campo para la recolección de datos a largo plazo.

De 2013 a 2014, un grupo consultivo de varias docenas de profesionales en dasonomía urbana, investigadores y estudiantes efectuaron llamadas en conferencia y webinarios periódicos facilitados por el grupo de trabajo de UTGL para depurar los protocolos. Este enfoque fue fundamentalmente ascendente, con protocolos que responden a necesidades identificadas por silvicultores urbanos locales al incluir los miembros del grupo a gestores de bosques urbanos a lo largo del proceso. La dirección de UTGL enfatizó un método centrado en el coaprendizaje mediante la investigación y la práctica (Campbell *et al.* 2016).

Las sugerencias de los encuestados (Roman *et al.* 2013) dieron forma a un conjunto de principios rectores para la elaboración de protocolos que cumplieran las necesidades de la mayoría de los usuarios:

- **Mantenerlos simples.** Los protocolos debían ser directos, accesibles para practicantes y gestores y pertinentes para las organizaciones que cuentan con pasantes y voluntarios para la recolección de datos.
- **Hacerlos flexibles y fáciles de aplicar por una diversidad de usuarios.** Los profesionales de dasonomía urbana recolectan datos de monitoreo para una variedad de propósitos, así que los protocolos deben ser adaptables a distintas necesidades de manejo.

- **Buscar la opinión de los profesionales.** Para asegurar que los protocolos sean pertinentes para los arboristas locales, los municipios, las organizaciones sin fines de lucro y otros usuarios, el proceso de elaboración del protocolo debe contar con los aportes frecuentes de los profesionales.
- **Contestar preguntas de investigación clave.** Debe haber ejemplos claros de cómo los datos generados a partir de esta red de monitoreo pueden responder preguntas clave de investigación acerca de mortalidad, crecimiento, vitalidad y longevidad de los árboles urbanos.
- **Promover objetivos de manejo.** Los datos recolectados deben ser útiles para que los profesionales locales manejen sus bosques urbanos.

Con las opiniones de los muchos colaboradores del equipo de elaboración de protocolos de UTGL (ver la sección 11) y los muchos autores de la *Guía de campo* y la *Guía de recursos*, se hizo uso de los conocimientos de investigadores y profesionales con años de experiencia en el diseño y la conducción de estudios longitudinales de árboles urbanos y rurales (ver el Prólogo). Con esto se cumplió el principio rector de ser incluyentes e integrar a los profesionales. Se mantuvieron los protocolos simples y a la vez flexibles al establecer el conjunto de datos mínimos a registrar, el conjunto más pequeño de datos que se considera necesario para datos longitudinales de árboles urbanos (ver la Tabla 1 y la sección 6) y cuatro conjuntos de datos complementarios (ver las secciones 7, 8, 9, 10). Los conjuntos de datos complementarios son listas de variables que podrían ser pertinentes para una recolección de datos que requiere más tiempo y mayor nivel de aptitudes. Esta *Guía de recursos* tiene como propósitos responder preguntas de investigación y abordar los objetivos de manejo, entre otros, un análisis sobre cuáles objetivos se pueden lograr con el monitoreo de campo (sección 1.1) y ejemplos de cómo se conectan esas metas a los planes de recolección de datos (sección 1.4.3).

---

Las variables mínimas a registrar son el conjunto más pequeño de datos que se considera necesario para datos longitudinales de árboles urbanos.

---

#### 1.4.2. Conexiones con otros protocolos de inventario del arbolado urbano

Los métodos de campo descritos aquí y en la *Guía de campo* hacen uso de métodos existentes, entre otros, **i-Tree Eco**, **i-Tree Streets** y **Urban Forest Inventory and Analysis (UFIA)** del Servicio Forestal del USDA. La suite del software i-Tree es un conjunto de herramientas gratuitas que calculan los beneficios que aportan los árboles y los bosques en asentamientos urbanos. Dentro de la suite de i-Tree, las herramientas i-Tree Streets e i-Tree Eco integran la recolección de datos de campo sobre individuos arbóreos. i-Tree Eco se puede usar para evaluar inventarios completos o de muestreo por parcelas a lo largo de todo el paisaje urbano, incluidos todos los usos del suelo y tipos de sitio. Ambos programas cuantifican la estructura de poblaciones de árboles y modelan los servicios ecosistémicos que aportan los árboles (i-Tree 2017a, McPherson *et al.* 2005, Nowak *et al.* 2008).

UFIA es la expansión urbana (Cumming *et al.* 2007, Nowak *et al.* 2016a, USDA FS 2020) del inventario y monitoreo forestal continuo ordenado por el congreso que lleva a cabo el Servicio Forestal del USDA a lo largo de Estados Unidos mediante un sistema de parcelas nacional, denominado *Forest Inventory and Analysis* (FIA). El FIA tradicional no incluía la mayoría de los paisajes arbóreos urbanos, con excepción de áreas dentro de ciudades, poblados y suburbios que cumplen con la definición de **terreno forestal** de la FIA, es decir, áreas de por lo menos 0.4 ha (1 acre), 36.6 m (120 pies) de ancho, con el 10 por ciento cubierto de árboles y con sotobosque sin perturbaciones (Cumming *et al.* 2007, 2008; Oswalt *et al.* 2014).

**Tabla 1—Resumen de las variables incluidas en el Conjunto de datos mínimos a registrar para el monitoreo de árboles urbanos<sup>a</sup>**

Variable	Descripción
Identificación de la brigada de campo	Información sobre las personas que recolectaron datos de campo sobre este árbol
Nivel de experiencia de la brigada de campo	Nivel de experiencia de la persona más experimentada de la brigada de campo
Fecha de observación	Año, mes y día de recolección de los datos en campo
Identificador de registro del árbol	Identificador particular que permanece conectado al árbol durante el monitoreo futuro
Ubicación	Información acerca de la posición geográfica del árbol en el paisaje; varios protocolos disponibles
Fotografía del árbol	Una fotografía tomada de modo que incluya todo el árbol en el contexto de su ubicación inmediata y que muestre objetos de infraestructura construidos cerca
Tipo de sitio	Una descripción de la ubicación inmediata del árbol
Uso del suelo	Una descripción del modo en que los seres humanos usan los terrenos alrededor o adyacentes al árbol.
Especie	La especie del árbol que se monitorea
Estado de mortalidad	Registra si el árbol está vivo, muerto en pie, se removió o algún otro estado
Brotos basales	Crecimiento de ramas en la base del tronco o en las raíces (registro únicamente para árboles muertos en pie y tocones)
Vitalidad de la copa	Una evaluación integral de la salud de la copa en general que refleja la proporción de la copa que tiene problemas de follaje y pérdida importante de ramas
Diámetro del tronco	Diámetro del tronco del árbol registrado ya sea a 1.37 m (4.5 pies) o 30,5 cm (1 pie) de altura, según la forma del árbol, con muchas reglas especiales
Altura del diámetro del tronco	La altura exacta a la que se tomó la medida del diámetro del tronco registrada
Notas para revisión del supervisor	Problemas que no se pueden resolver en el campo; al ingresar una nota se marca el árbol para que lo revise el supervisor del proyecto.

<sup>a</sup> Se puede ver la tabla original en la Tabla 1 de la *Guía de campo*.

Esto significa que algunos parques urbanos y fragmentos de bosque con cubierta densa de árboles se incluyen en el sistema de parcelas del FIA tradicional, pero el FIA convencional no incluye árboles aislados a lo largo de vías, en estacionamientos o en prados. El UFIA fusiona métodos del FIA tradicional y de i-Tree Eco. Austin, Texas, fue la primera ciudad en tener datos completos del UFIA (Nowak *et al.* 2016a), y varios estados más han sido precursores del UFIA (Cumming *et al.* 2008). El programa UFIA se está expandiendo a 100 ciudades a través de Estados Unidos (USDA FS 2020). Es de destacar que las parcelas del FIA y el UFIA por lo general se observan en un sistema de panel rotativo (p. ej., todas las parcelas se visitan en un periodo de 7 años a una tasa de un séptimo por año y se repite de nuevo), mientras que todas las parcelas de i-Tree Eco para una ciudad determinada por lo general se recolectan en 1 o 2 años (aunque ciudades y estados particulares podrían seguir estrategias diferentes para i-Tree Eco y UFIA).

De estos tres protocolos de inventario (i-Tree Streets, i-Tree Eco, UFIA), solo el UFIA está diseñado específicamente para volver a medir las mismas parcelas exactas y recolección de datos longitudinales para llevar registro de individuos arbóreos. i-Tree Streets no proporciona protocolos para recolección de datos longitudinales.

---

Las parcelas sin referencias permanentes no se pueden encontrar confiablemente de nuevo.

---

Las parcelas recolectadas con i-Tree Eco en ocasiones se han vuelto a medir (p. ej., Lawrence *et al.* 2012, Nowak *et al.* 2004), pero Eco se diseñó para producir estimaciones de población acumulada y servicios ecosistémicos en un solo punto en el tiempo, no para monitorear cambios demográficos en los árboles con el tiempo. Las parcelas de i-Tree Eco que no tienen una referencia permanente (es decir, registrando cuidadosamente información acerca del centro de la parcela) no se pueden ubicar de manera confiable por brigadas de campo futuras. Por ejemplo, no se dieron referencias permanentes de las parcelas recolectadas en Filadelfia, Pensilvania, en 1996 y, cuando i-Tree Eco se repitió para esta ciudad en 2012, fue necesario trazar nuevas parcelas (Nowak *et al.* 2016b). Los diferentes límites de tamaño que definieron los árboles a incluir en cada inventario, además de diferentes lugares de muestreo para los años de 1996 y 2012, impidieron el análisis riguroso de cambios a nivel de individuo arbóreo a lo largo del tiempo. Otros análisis de parcelas de i-Tree Eco referenciadas permanentemente en dos o más años diferentes han podido reportar cambios en indicadores como las tasas de mortalidad y crecimiento, así como cambios en la composición de especies (Lawrence *et al.* 2012; Nowak *et al.* 2004, 2013b). Ver en el apéndice 3 descripciones de otros protocolos de inventario y monitoreo para árboles urbanos.

---

Se necesitan datos longitudinales para analizar la demografía de los árboles urbanos.

---

Como se mencionó antes, se necesitan datos longitudinales para analizar la demografía de los árboles urbanos, tales como el cambio en la mortalidad, el crecimiento y la salud a lo largo del tiempo. Aunque el UFIA llenará este vacío de datos a largo plazo en los siguientes años, con los datos estándar recolectados a través de áreas urbanas en Estados Unidos, es un protocolo muy concentrado que requiere que las brigadas de campo tengan certificación en los métodos, con datos minuciosos de árboles y parcelas (i-Tree 2017a). Además, los resultados del UFIA también serán más pertinentes a nivel regional y estatal, mientras que los silvicultores urbanos a menudo necesitan datos vinculados a iniciativas de plantación o programas de manejo específicos (p. ej., datos de árboles plantados por un organismo sin fines de lucro o una campaña de plantación municipal; datos de parques y centros recreativos en vecindarios administrados por un municipio). Los investigadores y profesionales de dasonomía urbana también podrían estar interesados en centrarse en un componente particular del bosque urbano de una ciudad, como los árboles en la vía, jardines o estacionamientos, debido a sus estructuras de gobierno, operaciones y características biofísicas distintivas (Celestian y Martin 2005, Mincey *et al.* 2013, Nguyen *et al.* 2017). En estos casos, es improbable que parcelas ubicadas al azar a lo largo de una ciudad o zona metropolitana completa, como los del UFIA o i-Tree Eco representen adecuadamente la población de interés (p. ej., árboles en la vía, árboles en jardines) porque la muestra podría estar dominada por los árboles en áreas naturales. Esto se debe a que los árboles en áreas naturales pueden representar una parte sustancial del bosque urbano total. Por ejemplo, para parcelas de i-Tree Eco en Filadelfia, Pensilvania, los árboles en parques forestales constituyeron más de un tercio de los árboles inventariados, aunque los parques forestales únicamente abarcaron aproximadamente el 9 por ciento del área de la ciudad (Nowak *et al.* 2016b). Aunque los parques forestales y las áreas naturales son componentes cruciales del bosque urbano total (Pregitzer *et al.* 2018), si quienes los manejan buscan datos que reflejen sus otras áreas del programa o misión, necesitan distintas estrategias de muestreo. Se necesitan métodos estándar y orientación práctica para los gestores e investigadores que desean embarcarse en sus propios proyectos de monitoreo de árboles urbanos.

Existen datos de árboles urbanos ya recolectados por profesionales locales, arboristas municipales y personal de organismos sin fines de lucro que manejan sus inventarios y programas de monitoreo para propósitos diferentes, como manejo de activos y del riesgo de los árboles, evaluación del desempeño de programas de plantación, evaluación de la diversidad de especies y distribución de clase de tamaño, además de integrar al público (Bond 2013, Harris *et al.* 2004, McPherson y Kotow 2013, Roman *et al.* 2013, Sjoman *et al.* 2012). Esos datos de inventario orientados al manejo no se recolectan necesariamente de modo favorable para el análisis de tasas de cambio en la demografía. Por ejemplo, si el diámetro del tronco se registra a la pulgada (2.54 cm) más cercana y no se indica la altura exacta a la que se mide el diámetro, una situación común en muchos inventarios de árboles municipales, entonces los datos no son lo suficiente precisos para sustentar el análisis del crecimiento del diámetro a la altura del pecho (es decir, el crecimiento radial del tronco), aunque los registros sí son útiles para que los arboristas municipales manejen los ciclos de inspección de árboles y las órdenes de trabajo de remoción. También es difícil llevar registro de la ubicación del árbol. En inventarios convencionales de árboles municipales, a menudo se ha registrado la ubicación de formas que impiden que las brigadas de campo encuentren todos los árboles a partir de los datos de varios años antes. Por ejemplo, los inventarios de árboles municipales o registros de plantación podrían usar solamente una dirección para denotar la ubicación, pero puede haber más de un árbol por dirección. Las brigadas de campo no podrían saber si un árbol que parece “faltar” se removió después del inventario previo o simplemente no se encontró porque la información de ubicación es insuficiente. Algunos métodos para registrar inventarios de árboles en la vía, como el método de dirección y código del lugar (ver la sección 2.4.1 de la *Guía de campo*), pueden ser difíciles de actualizar con cada nuevo año de recolección de datos, en particular a medida que se agregan y remueven árboles, lo cual altera el orden de códigos del lugar (ver en la sección 2.3 un análisis de los pros y los contras de varios métodos de ubicación para monitoreo). Además, los problemas de precisión y de calidad de los datos son diferentes en los datos longitudinales en comparación con los inventarios estáticos. En la sección 6 se explica más acerca del fundamento para registrar variables particulares de formas específicas para monitorear proyectos. Los practicantes en bosques urbanos que deseen evaluar la mortalidad, el crecimiento y la salud de los árboles podrían tener que modificar sus protocolos establecidos de recolección de datos para analizar los cambios con el tiempo.

---

La *Guía de campo* y la *Guía de recursos* establecen las bases para estudios a largo plazo, dirigidos por voluntarios y pasantes, la información de ubicación precisa para diversas circunstancias y las medidas uniformes del tamaño de los árboles para facilitar análisis de crecimiento. Además, puesto que se tiene en cuenta que hay una amplia variedad de necesidades de los usuarios y de recursos para monitorear, además de que ese monitoreo a largo plazo no necesariamente está integrado en el diseño de los inventarios de árboles de la mayoría de las ciudades, esta *Guía de recursos* ofrece consejos y estrategias para planificar y manejar la recolección de datos a largo plazo. Los estudios acerca de los cambios de bosques forestales a lo largo del tiempo con datos de campo son relativamente recientes en la literatura de dasonomía urbana, lo que significa que apenas se está prestando atención a los problemas de procedimiento de la recolección y el manejo de datos longitudinales.

---

### 1.4.3. Ejemplos de la *Guía de campo* en acción

Los métodos de campo descritos en la *Guía de campo* ya fueron usados y adaptados por investigadores y profesionales de dasonomía urbana. Aquí se dan ejemplos para dar orientación tangible de cómo funcionan estos estándares en la práctica.

- **Monitoreo de árboles en jardines residenciales.** Investigadores de Clark University, en colaboración con el Departamento de Conservación y Recreación de Massachussets, supervisaron a pasantes de pregrado al monitorear árboles plantados por el estado en jardines residenciales como proyecto de reforestación después de la remoción de árboles debido a la cuarentena por el escarabajo asiático de cuernos largos (*Anoplophora glabripennis* [ALB]) (Bird 2014, Elmes *et al.* 2018, Hostetler *et al.* 2013). Este fue un proyecto de monitoreo de la cohorte con el objetivo de evaluar qué factores están relacionados con los resultados de mortalidad de árboles juveniles, con interés particular en factores socioeconómicos y medioambientales construidos. El proyecto usó las variables mínimas a registrar y vinculó las ubicaciones de árboles con variables socioeconómicas del vecindario, además de características de árboles y del lugar, para analizar los resultados de mortalidad. Los estudiantes investigadores hicieron entrevistas a participantes en el estudio para evaluar las motivaciones residenciales para plantación de árboles, las percepciones de la pérdida de árboles por el ALB y las ventajas de la nueva iniciativa de plantación (Goldman 2017).
- **Auditorías de supervivencia de árboles de sombra.** El programa *Energy-Saving Trees* de la *Arbor Day Foundation* distribuye árboles de sombra gratuitos a residencias privadas en todo Estados Unidos en alianza con distritos de servicios públicos (Arbor Day Foundation 2018). Para evaluar la supervivencia, el personal de *Arbor Day Foundation* colaboró con el Servicio Forestal de Texas para auditar árboles donados en el área de Houston; silvicultores profesionales llevaron a cabo el trabajo de campo. Este fue un proyecto de monitoreo de la cohorte con el objetivo de proporcionar información compendiada acerca de mortalidad y crecimiento de los árboles y para determinar en qué medida estaban dando mantenimiento los participantes a los árboles en sus jardines. Además de las variables mínimas a registrar, brigadas de campo recolectaron datos acerca de prácticas de mantenimiento residenciales, tomando prestados métodos de los Protocolos de Reinventario de Árboles Plantados elaborados por investigadores de la Universidad de Indiana en Bloomington (Vogt y Fischer 2014).
- **Monitoreo de árboles en la vía con ciencia ciudadana.** El programa *Tree Checkers* en la *Pennsylvania Horticultural Society* empleó a voluntarios para monitorear árboles en la vía plantados recientemente en Filadelfia (Roman *et al.* 2018b). Esos voluntarios ya estaban participando en custodia de árboles mediante el programa de plantación *Tree Tenders*. Los objetivos del monitoreo eran generar tasas de mortalidad de los árboles plantados como un indicador del desempeño del programa, además de integrar a las comunidades locales en la custodia continua. El personal de *Tree Checkers* actualizó sus métodos con base en la *Guía de campo*. El Departamento de Conservación y Recursos Naturales de Pensilvania creó un proyecto similar de monitoreo con ciencia ciudadana con el fin de llevar registro de la supervivencia de árboles juveniles en la vía de proyectos de plantación que financió en todo el estado. Se hizo una prueba piloto en Harrisburg, PA (Pennsylvania Urban and Community Forestry Council 2018).

Además del conjunto de datos mínimos, estos dos proyectos recogieron información acerca de las prácticas de mantenimiento con base en acciones de custodia recomendadas de esos programas de plantación. De manera similar al ejemplo de *Arbor Day Foundation*, el personal del programa de plantación en Pensilvania quiso verificar qué tan minuciosamente seguían las instrucciones los participantes en el programa. *Tree Checkers* también acompañó la recolección de datos con acciones de mantenimiento de rutina, además de “boletas de calificación” para los residentes con recordatorios sobre la custodia. Todas esas tareas fueron efectuadas por voluntarios.

- **Prueba piloto sobre la calidad de los datos de los voluntarios.** Para evaluar el borrador de la *Guía de campo* y, en particular, su posible aplicación en brigadas de campo con capacitación mínima, se llevó a cabo un estudio acerca de la calidad de los datos de los voluntarios en inventarios de árboles urbanos (Roman *et al.* 2017). En este proyecto participaron ciudadanos científicos de cuatro ciudades (Lombard, IL; Grand Rapids, MI; Filadelfia, PA; Malmö, Suecia). Los resultados mostraron que la calidad de los datos de los voluntarios sería adecuada para algunos usos de inventarios y monitoreo de árboles, pero no para otros. Los resultados también indicaron cuáles variables tenían datos de calidad particularmente baja (p. ej., transparencia de la copa y estado de la madera) y deberían eliminarse de los protocolos, además de problemas particulares para otras variables como el DAP de los árboles polifurcados.
- **Parcelas para monitoreo de salud de árboles en la vía.** Para el monitoreo de la salud de árboles urbanos a largo plazo, se establecieron parcelas de árboles en la vía de la ciudad de Nueva York y Filadelfia, constando cada parcela de varios segmentos de cuerdas aledañas. Los objetivos del proyecto fueron comprender los cambios a largo plazo en poblaciones, composición y salud de árboles en la vía, incluida la vitalidad de la copa. Este proyecto fue una colaboración entre la Estación de Investigación Norte del Servicio Forestal del USDA y la iniciativa *Healthy Trees, Healthy Cities* de *Nature Conservancy*. El proyecto se creó para hacer reinventario de las parcelas muestreadas; hasta el momento, solo se han recolectado los datos de línea base. Además del conjunto de datos mínimos, los pasantes recolectaron datos de la salud del follaje. Científicos del Servicio Forestal y personal del programa de *The Nature Conservancy* supervisaron de cerca a los pasantes.
- **Inventario y monitoreo de árboles públicos en Hawái.** El *Citizen Forester Program* fue creado por la División de Silvicultura y Vida silvestre del estado de Hawái en un intento de integrar la participación de las comunidades en sus bosques urbanos y cumplir un objetivo estratégico fundamental del *Forest Action Plan* de Hawái, la creación de un inventario de árboles urbanos. El objetivo del inventario de árboles urbanos es facilitar el manejo, incluidos el mantenimiento y reemplazo de árboles y la planificación para desastres. Se capacita a voluntarios de la comunidad para que recolecten datos de árboles y trabajen con un líder del equipo, mientras que un arborista certificado se cerciora del control de calidad de los datos. Los árboles cartografiados en vías y parques públicos se muestran en una herramienta de mapas en línea (<https://pg-cloud.com/hawaii/>) que muestra tanto la especie como el DAP. Los creadores del programa utilizaron el diseño modular de la *Guía de campo* recolectando algunos datos mínimos a registrar, pero también incluyeron variables de mantenimiento y estado para cumplir sus objetivos.

- **Proyecto *Climate-ready trees*.** El objetivo del estudio de árboles preparados para el clima es evaluar la tolerancia de especies de árboles subutilizadas a factores estresantes relacionados con el cambio climático, en especial la sequía, mediante un registro de su mortalidad, crecimiento y salud (McPherson *et al.* 2018). El estudio se está llevando a cabo en tres regiones climáticas de California (Inland Valleys, Inland Empire y la Costa Sur de California) con una duración esperada de 20 años. Se seleccionaron árboles para pruebas debido a su aparente resiliencia a factores estresantes como el calor, la sequía, los fuertes vientos, la salinidad y las plagas, además de su idoneidad para entornos urbanos con respecto al peligro potencial para personas e infraestructura. Como parte de este proyecto de monitoreo de la cohorte, se plantaron duplicados de especies de árboles en sitios de referencia dentro de estaciones experimentales universitarias y en parques urbanos que permitirán comparaciones directas de crecimiento y supervivencia bajo una variedad de condiciones en el sitio. Además del conjunto de datos mínimos, se incorporaron al protocolo de monitoreo aspectos de los datos del árbol, del sitio y del manejo de árboles juveniles. Los árboles son monitoreados cada año en cuanto a su estado de mortalidad, crecimiento, (DAP, altura total, ancho de la copa) y adecuación como árboles urbanos (p. ej., características arborícolas y estructurales, problemas de salud, presencia de plagas y enfermedades, necesidades de mantenimiento).
- **Curso de pregrado de *dasonomía urbana*.** Para un curso de *dasonomía urbana* en la Universidad de California en Davis, los instructores usan componentes de la *Guía de campo* para enseñar métodos de inventario y monitoreo. Los objetivos de aprendizaje incluyen cómo usar equipo estándar, cómo hacer preguntas y contestarlas con datos y cómo conseguir datos precisos y replicables para evaluar los cambios con el tiempo. El material de la *Guía de campo* se adaptó para encargar a un grupo de alumnos la tarea de hacer un inventario de árboles y evaluación de sitio y que los alumnos usarán esos datos para redactar un informe de estilo científico (M.L. Cadenasso, com. pers.).

## 2. Pasos Iniciales

### 2.1. Planificación previa a la recolección, el manejo y el análisis de datos

---

Para establecer y continuar proyectos de monitoreo de árboles urbanos es necesario planificar con anticipación.

---

Para establecer y continuar proyectos de monitoreo de árboles urbanos es necesario planificar con anticipación. Tener los objetivos claros del proyecto, los protocolos de recolección y manejo de datos y los análisis pretendidos planificados de antemano es fundamental para todas las tareas de monitoreo de árboles (Lindenmayer y Likens 2010a). A continuación, se indican 18 pasos clave que todos los que dirijan un proyecto de monitoreo de árboles urbanos deben seguir antes de comenzar la capacitación y la recolección de datos.

#### 2.1.1. Articular objetivos claros y alcanzables para el proyecto de monitoreo de árboles urbanos

Esos objetivos determinarán las variables que se recolectarán y ayudarán a decidir si el proyecto debe incluir más que el conjunto de datos mínimos. Consultar en la sección 1.2 posibles objetivos de monitoreo de árboles urbanos y en la sección 1.3 ejemplos de conexión de los objetivos con los métodos.

#### 2.1.2. Finalizar la serie de variables que se recolectarán en el campo

Esto se determina según los objetivos del proyecto, el nivel de habilidad de la brigada de campo y los recursos disponibles (p. ej., fondos para equipo especializado y brigadas de campo profesionales). Los proyectos que empleen ciudadanos científicos podrían tener que adaptar sus objetivos para que se centren en los datos que los voluntarios con mínima experiencia previa pueden recolectar correctamente (Bancks *et al.* 2018; Hallett y Hallett 2018; Hamilton *et al.* 2018; Roman *et al.* 2017, 2018b). Los proyectos que empleen a arboristas certificados por la Sociedad Internacional de Arboricultura o investigadores especializados pueden registrar más variables, aunque no se debe suponer que los datos de esos expertos son infalibles o que siempre serán uniformes entre los observadores expertos (Bloniarz y Ryan 1996, Koeser y Smiley 2017, Roman *et al.* 2017, Westfall y Woodall 2007), ni que todos los expertos conocen todos los métodos de campo necesarios. Todas las variables recolectadas deben tener un propósito claro relacionado con los objetivos del proyecto y los planes de análisis de datos (sección 1.3). Puede ser contraproducente recolectar un conjunto exhaustivo de variables, la “lista larga”, porque un método así quita atención (y recursos) a las variables más importantes para los análisis pretendidos (Lindenmayer y Likens 2010a).

---

Puede ser contraproducente recolectar un conjunto exhaustivo de variables, la “lista larga.”

---

#### 2.1.3. Determinar el mejor método para registrar la ubicación de los árboles en el estudio

En esta *Guía de recursos* se ofrece orientación sobre métodos de ubicación de árboles en diversos tipos de sitio, incluyendo los pros y los contras de cada método (sección 2.3) y se dan protocolos más detallados para algunos de esos métodos de ubicación en la *Guía de campo* (sección 2.4).

Los mejores métodos de ubicación para el proyecto dependerán de los tipos de sitio que podrían encontrarse, la experiencia profesional de la brigada de campo y el equipo de recolección de datos disponible (en especial la recolección de datos en papel o dispositivo móvil). Se recomienda el uso de varios métodos complementarios para registrar la ubicación, incluidas las fotos de cada árbol cuando sea factible, para asegurar que en años futuros se puedan encontrar confiablemente individuos arbóreos.

#### **2.1.4. Hacer un plan para muestrear los árboles**

Aunque algunos proyectos podrían muestrear todos los árboles de una plantación coetánea o hacer un censo completo de todos los árboles en un área geográfica, esto podría no ser factible en cuanto a la logística, así que muchos proyectos de monitoreo tendrán que seleccionar una muestra. Por ejemplo, el proyecto de monitoreo podría usar una submuestra al azar o estratificada de todos los árboles plantados mediante una iniciativa particular en el transcurso de varios años. Como alternativa, el monitoreo podría asociarse con un inventario total de árboles en la vía o con un plan de reinventariar los árboles en años futuros, quizá asociado con ciclos de mantenimiento o inspección o segmentos de vías seleccionados al azar. Según los objetivos del proyecto, el diseño del muestreo también podría tener en cuenta especies objetivo, tipos funcionales de especies, áreas geográficas (p. ej., códigos postales, distritos de planificación) o características de los vecindarios. El diseño y el tamaño de la muestra también afectan las opciones de análisis para el proyecto. Se recomienda a los arboristas municipales y administradores de programas sin fines de lucro comunicarse con investigadores o alumnos de posgrado en universidades y con el Servicio Forestal para recibir asesoría con estrategias de muestreo estadístico para el proyecto específico.

#### **2.1.5. Calcular el tiempo necesario para recolección de datos y transporte**

Con base en la prueba piloto del conjunto de datos mínimos, para registrar esa pequeña gama de variables se requieren aproximadamente 3 minutos por árbol (Roman *et al.* 2017). Registrar información adicional sobre características del sitio requiere aproximadamente 5 minutos (Scharenbroch *et al.* 2017). Ninguno de esos cálculos incluye el tiempo de transporte, pero la extensión geográfica de tres ubicaciones puede influir drásticamente en el tiempo necesario para el trabajo de campo. Por ejemplo, monitorear cientos de árboles en la vía dentro de un solo vecindario requerirá poco tiempo de transporte y podría lograrse en cuestión de semanas, pero monitorear cientos de árboles de jardines privados o parcelas dispersas en una ciudad o región metropolitana grandes tendrán tiempos de transporte más largos y posiblemente tarden varios meses. En cuanto a estudios que incluyan árboles de jardines residenciales y otros inmuebles privados, comunicarse con los residentes o administradores del inmueble para tener acceso al lugar puede prolongar mucho el tiempo del trabajo de campo. Algunas ciudades también podrían tener dificultades por el tránsito excesivo en horas pico y los problemas para encontrar estacionamiento, por lo que el supervisor del proyecto debe seleccionar las estrategias más productivas para el tiempo dedicado al trabajo de campo (p. ej., comenzar antes de la hora pico) y el medio de transporte (p. ej., auto, bicicleta, transporte público).

### **2.1.6. Decidir cómo se definirá el término “árbol” para el proyecto de monitoreo**

No hay una definición generalizada de “árbol” en botánica o silvicultura (Gschwanter *et al.* 2009, Lund 1999). Ver en la sección 2.2 posibles definiciones de “árbol” en el monitoreo de árboles urbanos. Se debe seleccionar la definición de árbol para el proyecto de monitoreo particular y explicarla a las brigadas de campo. La confusión por este problema puede presentar errores sustanciales en el monitoreo, porque las brigadas podrían no tener claro qué plantas están “dentro” o “fuera” del estudio (Roman *et al.* 2014b, 2017). Esto puede causar problemas para cuantificar las tasas de mortalidad y los cambios netos en los números de árboles (es decir, las tasas de crecimiento de la población). De forma similar, los silvicultores urbanos podrían estar interesados específicamente en “árboles en la vía” o “árboles públicos”, pero el uso de esos términos puede variar de un municipio a otro e incluso dentro de un mismo municipio, por lo que los supervisores del proyecto deben definirlos de manera clara y sencilla (ver la sección 2.2).

### **2.1.7. Seleccionar el sistema de recolección de datos**

Los sistemas óptimos de recolección de datos diferirán según el propósito y las necesidades de cada proyecto. Aunque muchos silvicultores urbanos han cambiado a sistemas de recolección de datos en dispositivos móviles, en algunos casos podría ser preferible el papel (por ejemplo, al hacer un inventario de ciencia ciudadana con voluntarios que no tienen teléfonos inteligentes o tabletas). Además, aunque hay muchos paquetes de software para inventarios de árboles urbanos, por lo general no están diseñados para recolección de datos longitudinales (Boyer *et al.* 2016). Ver en la sección 2.6 más información sobre los pros y los contras de la recolección de datos en papel y con dispositivos móviles y un análisis más amplio de los paquetes de software.

### **2.1.8. Determinar el tipo de proyecto de monitoreo**

Como se comentó antes, en la *Guía de campo* y en la *Guía de recursos* hay dos tipos generales de proyectos de monitoreo (ver la sección 1.2): el monitoreo de la cohorte y monitoreo del arbolado de múltiples edades. Se debe tener en mente el tipo de estudio que se elija al compararlo con otros estudios de monitoreo. Por ejemplo, las tasas de mortalidad y crecimiento en un proyecto de monitoreo de la cohorte de árboles en la vía se deben evaluar con referencia a otros estudios de plantaciones coetáneas de árboles en la vía, de preferencia con un tiempo similar después de la plantación. Asimismo, es más adecuado comparar un inventario repetido de parcelas i-Tree Eco muestreadas con otros estudios de inventario repetido en parcelas.

### **2.1.9. Asegurar que los registros de línea base estén completos y tengan alta calidad de datos**

Los registros de línea base son el primer conjunto de datos de árboles relevante para el proyecto de monitoreo (el punto de partida desde el cual se harán comparaciones a futuro) y los buenos registros de línea base son esenciales para la recolección de datos continua. Para el monitoreo de la cohorte, los registros de línea base son datos al momento de plantación (Vogt *et al.* 2015b). Los registros “al momento de plantación” deben incluir la fecha de plantación, de preferencia una fecha real y no un año o estación (p. ej., primavera 2017). Para el monitoreo del arbolado de múltiples edades, los registros de línea base son el primer inventario. La fecha de plantación no es estrictamente necesaria para el monitoreo de arbolado de múltiples edades.

---

Los registros de línea base son el primer conjunto de datos de árboles relevante para el proyecto de monitoreo.

---

No obstante, también sería útil la fecha de plantación o más ampliamente la edad del árbol en esta situación, si se tiene. La edad del árbol se puede obtener de los registros de árboles municipales, de entrevistas con silvicultores urbanos y propietarios de casas y de incrementos en el núcleo del árbol. Los programas interesados en llevar registro de los ciclos de población también podrían desear registrar la fecha de remoción de los árboles. Si los registros de línea base no se recolectaron originalmente con el monitoreo en mente, en todos los proyectos de monitoreo se debe dedicar tiempo considerable a inspeccionar esos registros para asegurar que se puedan usar para el monitoreo. Por ejemplo, si los datos de ubicación solo incluyeron direcciones, entonces las brigadas quizá no puedan ubicar los individuos arbóreos en el campo (ver en la sección 2.3 un análisis de los pros y los contras de diversos métodos de ubicación). Las organizaciones podrían tener que adaptar su sistema de registros de línea base para que sea posible el monitoreo. Si los registros de línea base para ubicaciones, especies y otras variables de los árboles son incompletos o imprecisos, entonces los supervisores del proyecto y las brigadas de campo necesitarán limpiar los datos y los registros excesivamente confusos podrían ser inadecuados para el monitoreo a fin de cuentas. Es importante comprender la calidad de los datos de cada variable en los registros de línea base y asegurar que las observaciones con respecto a la calidad de los datos correspondan a las especificaciones para el proyecto de monitoreo, incluidos los umbrales de aceptabilidad para cada variable (ver la sección 2.1.13).

#### **2.1.10. Decidir si las brigadas de campo medirán en unidades métricas o las acostumbradas en EE. UU. y el nivel de precisión de las medidas**

Cerciorarse de la uniformidad y anotar siempre en la hoja de datos o en el sistema de recolección de datos para dispositivo móvil las unidades que se están usando. En todas las brigadas, en todo el equipo y a lo largo de los distintos años de monitoreo se deben usar las mismas unidades. Aunque las unidades métricas (p. ej., metros y centímetros) son la norma en la investigación científica, los gestores del bosque urbano en Estados Unidos comúnmente usarán unidades convencionales en EE. UU. (p. ej., pies y pulgadas) y un proyecto de monitoreo particular podría estar obligado a usar unidades determinadas debido al equipo disponible. De manera similar, decidir si se medirá la circunferencia del tronco o el DAP. Aunque en la investigación de ecología forestal la norma es registrar el diámetro del tronco, algunos silvicultores municipales y personal de organismos sin fines de lucro podrían preferir registrar la circunferencia a la altura del pecho debido al equipo disponible. Aunque se recomienda enfáticamente registrar el diámetro del tronco, se debe indicar si se registra la circunferencia para que se puedan hacer conversiones más adelante. Además, los supervisores del proyecto tendrán que decidir el nivel de precisión de medición que se necesita. Cuando se registra el DAP, se recomienda registrar al milímetro o décimo de pulgada más cercanos. No obstante, algunos profesionales en dasonomía urbana solamente tienen equipo para medir a la media pulgada o al cuarto de pulgada más cercanos. Ese equipo no es propicio para analizar tasas de crecimiento de individuos arbóreos, pero puede usarse para agrupar a los árboles en categorías de clase de tamaño. Si se usan medidas acostumbradas en EE. UU., se recomienda usar equipo con graduaciones de décimos de unidad, pues son más fáciles de registrar que otras escalas (p. ej., décimos de pulgadas en lugar de cuartos u octavos de pulgada para cintas de medir; décimas de pie en lugar de pies y pulgadas para postes de altura). En la *Guía de campo* también se especifica que siempre se debe registrar la altura del punto de medición del DAP para cada árbol.

---

Anotar las unidades de medida que se están usando.

---



---

Siempre debe registrarse la altura del punto de medición del DAP para cada árbol.

---

Esto se debe a que (a) aunque 4.5 pies (1.37 m) es la norma en Estados Unidos, se pueden usar diferentes alturas predeterminadas tanto dentro de Estados Unidos como alrededor del mundo (Brokaw y Thompson 2000) y (b) el DAP puede registrarse a diferentes alturas debido a la forma del árbol, como la bifurcación baja de árboles polifurcados (consultar en la sección 6.6 más información sobre los problemas para medir el DAP en entornos urbanos). Cualquiera que sea la unidad elegida, la decisión siempre se debe indicar en un diccionario de datos o **metadatos** que acompañen los datos brutos de campo.

#### **2.1.11. Decidir el nivel de detalle para la identificación de especies y códigos de especies**

En proyectos de monitoreo del arbolado de múltiples edades, las brigadas tendrán que identificar las especies de árboles en el campo, mientras que en proyectos de monitoreo de la cohorte, las brigadas tendrán que confirmar las especies con base en los registros al momento de la plantación. Algunos árboles son difíciles de identificar al nivel de especie, incluso para el ojo más acucioso. Los géneros urbanos comunes que son difíciles de identificar a nivel de especie incluyen los manzanos silvestres (*Malus* spp., código MALUS), los cerezos y ciruelos ornamentales (*Prunus* spp., código PRUNU) y los espinos (*Crataegus* spp., código CRATA). Estos se deben anotar solamente como géneros a menos que haya registros claros de la especie, híbrido o variedad que se plantó. Se debe tomar en cuenta que para las interfaces de dispositivos móviles con menú desplegable de especies de árboles esto significa que debe haber una opción para identificación de género únicamente (p. ej., MALUS, PRUNU y CRATA). Además, las brigadas de campo menos experimentadas podrían tener problemas con otros géneros, así que podría ser necesario sustentar una identificación a nivel de género a menos que los objetivos del estudio no permitan ese nivel de falta de refinamiento. Por ejemplo, si las brigadas están seguras de que el árbol es un arce, pero no están seguras de la especie, podrían registrar solo el género (*Acer* spp., código ACER). También es acertado tener la opción “se desconoce” para la identificación de género y especie que permita que las brigadas indiquen cuando no tengan certeza. Otra opción es agregar categorías como “latifoliada desconocida” y “conífera desconocida”. La identificación de la especie o el género, aunada a información sobre el tamaño del árbol, puede ser adecuada para hacer inferencias sobre la biomasa y los servicios ecosistémicos del árbol (McPherson *et al.* 2016). Para el monitoreo de la cohorte, los datos al momento de plantación podrían incluir especies e incluso variedades, de modo que ese nivel de detalle pueda incluirse en el análisis. Además, los proyectos tendrán que usar nombres de especie o género de manera uniforme (y nombres de variedades, si se usan). Cuando se usen códigos de especies, se recomiendan los códigos del programa UFIA (i-Tree 2017 a), ver la sección 2.8 de la *Guía de campo*.

#### **2.1.12. Decidir cómo investigará y resolverá la brigada las especies desconocidas**

La identificación de especies de árboles urbanos puede ser un reto, porque hay muchas especies nativas y exóticas. Las estrategias, guías o herramientas para identificar especies desconocidas dependerán del protocolo establecido por el supervisor con respecto a qué información registrar y qué documentación señalar para el supervisor. Las opciones para resolver especies desconocidas incluyen guías de campo para usar en el sitio, tomar muestras de hojas para examinarlas con más detalle en la oficina, tomar fotos detalladas para enviarlas a expertos y aplicaciones de hojas en dispositivos móviles para identificación de especies (ver en el apéndice 2 una lista de recursos de identificación de especies).

Puesto que los conocimientos técnicos especializados necesarios para usar guías de campo de identificación de especies difieren, las brigadas podrían necesitar capacitación para usar las guías. Los supervisores podrían desear elaborar una guía personalizada para su proyecto con especies comunes de árboles para la ciudad o región. Si se toman fotografías con fines de investigación, incluir imágenes de hojas; fruto, nuez o flor; corteza y el perfil completo del árbol. Estas fotos deben estar etiquetadas con el identificador de registro del árbol; si se usan hojas de datos en papel, es de utilidad una hoja de papel en blanco o pizarrón pequeño para mostrar el identificador de registro del árbol. Adicionalmente, la información sobre las condiciones medioambientales en las que está creciendo el árbol (p. ej., húmedas o secas), dónde está ubicado en el paisaje natural y si el árbol parece haber sido plantado o creció de manera natural puede ayudar a aportar información para la identificación de la especie. Si hay suficiente del espécimen del árbol presente y si se permite, las brigadas de campo podrían desear recolectar muestras de hojas físicas, en cuyo caso necesitarán bolsas de papel y un marcador permanente para anotar el identificador de registro del árbol.

### 2.1.13. Fijar umbrales de aceptabilidad para cada variable

Distintos proyectos tendrán distintas necesidades de precisión y exactitud de cada variable, como se sugirió en los comentarios anteriores sobre identificación de especies (sección 2.1.11). Como lo expresa Loshin (2011), al escribir sobre la calidad de los datos para empresas, “[el] umbral de aceptabilidad está en el punto en que el incumplimiento de las mediciones con las expectativas del usuario podría causar impacto comercial sustancial”. En el contexto de dasonomía urbana, los umbrales de aceptabilidad se relacionan con los usos pretendidos de los datos para manejo o investigación. Fijar niveles aceptables de incongruencia o error para cada variable brinda orientación al evaluar a las brigadas de campo durante la capacitación o verificaciones de **control de calidad** (ver las secciones 3.1.2 y 3.2). Por ejemplo, Roman et al. (2017) sugirió que las medidas de DAP por voluntarios que están dentro de  $\pm 1$  pulgada ( $\pm 2.54$  cm) de las medidas de expertos son aceptables para la mayoría de las aplicaciones de manejo, mientras que un umbral de tolerancia de DAP de  $\pm 0.1$  pulgada ( $\pm 0.254$  cm) es apropiada para la mayoría de las investigaciones científicas. En particular, el UFIA fija estándares de calidad de los datos para género, especie, DAP y muchas otras variables. Los programas FIA y UFIA mencionan la repetibilidad de la medición, la cual toma en cuenta el rango de diferencias aceptable entre mediciones (es decir, tolerancia) y la proporción aceptable de diferencias dentro de esa tolerancia (es decir, objetivos de calidad de medición [OCM]). Para que se logre el objetivo de calidad de los datos, se debe cumplir el umbral de tolerancia para una proporción de las observaciones. En Westfall y Woodall (2007) se describió una evaluación del apego a los OCM para desechos de madera gruesos y finos (que sirven como combustible para los incendios forestales); muchas variables no cumplieron los niveles de repetibilidad deseados. Kitahara *et al.* (2009) describieron la uniformidad entre equipos de campo y equipos de control para el Inventario Japonés de Bosques Nacionales y muchas variables tampoco cumplieron con los OCM fijados para el FIA. Por lo tanto, es importante señalar que incluso brigadas certificadas profesionalmente no producen datos impecables. Los umbrales de aceptabilidad para un proyecto determinado deben considerar las necesidades de calidad de los datos de los análisis pretendidos además de lo práctico de la reproducibilidad entre brigadas.

---

Los umbrales de aceptabilidad deben considerar las necesidades de calidad de datos y la reproducibilidad entre brigadas.

---

#### 2.1.14. Decidir si se lleva registro de sitios de plantación, árboles o ambos

Algunos proyectos de monitoreo llevarán registro de la mortalidad, el crecimiento y la salud de un grupo de árboles, sin consideración de las plantaciones de reemplazo cuando se remueven árboles. Otros proyectos podrían centrarse en sitios de plantación, como cepas en banquetas (también conocidos en algunas regiones como “cepas”), que podrían tener una serie de árboles a lo largo de los años, pero la ubicación geográfica del sitio de plantación permanece constante y el número máximo de árboles en el sitio es uno. Se lleva registro de ese sitio a lo largo del tiempo y se monitorea incluso cuando la cepa está vacía. Llevar registro de los sitios de árboles en la vía es pertinente para la planificación y el manejo (p. ej., necesidades de plantación) y podrían usarse para proyectos de monitoreo del arbolado de múltiples edades, en particular para monitorear reemplazos (ver la sección 2.1.15). Se puede recolectar información adicional (p. ej., conflicto con cables elevados de servicios públicos, características del suelo) acerca del sitio independientemente de la presencia o ausencia de un árbol para ayudar a documentar las actividades de manejo. Las decisiones respecto a llevar registro de sitios, árboles o ambos afecta la estructura de la base de datos longitudinal para un proyecto de monitoreo y la asignación de **claves primarias** y **claves únicas** (ver la sección 2.5.1)

#### 2.1.15. Decidir cómo tratar los árboles de reemplazo

Los árboles de reemplazo, definidos aquí como árboles plantados exactamente en el mismo lugar que árboles removidos, pueden ser de interés para el manejo de árboles en la vía, donde las ubicaciones posibles de árboles son relativamente fijas. Los contratos de plantación de árboles de las vías municipales podrían incluir un requisito de reemplazo, donde los contratistas serán responsables de reemplazar los árboles muertos dentro de cierta cantidad de años después de plantarlos. Asimismo, los programas no lucrativos que llevan registro de los árboles en la vía que ellos plantan pueden usar datos de monitoreo para generar solicitudes de reemplazo. Indicar que un árbol es plantación de reemplazo puede ser parte de estudios de monitoreo de la cohorte (si hay interés en llevar registro de los árboles de reemplazo, no simplemente la cohorte de plantación original). Llevar registro de los reemplazos para los proyectos de monitoreo de la cohorte o de monitoreo de arbolado de múltiples edades también puede ayudar a los silvicultores urbanos a darse cuenta de que determinados sitios están perdiendo árboles de forma continua y, por lo tanto, se podrían declarar inadecuados para plantación. Los investigadores también podrían estar interesados en llevar registro de las tasas de reemplazo, porque pueden revelar tendencias en niveles de existencias y preferencias de selección de especies además de aportar información para proyecciones de población arbórea (van Doorn y McPherson 2018).

#### 2.1.16. Decidir cómo tratar los “árboles zombis”

Según los criterios presentados en la *Guía de campo* para estado de mortalidad (ver la sección 2.9 de la *Guía de campo*), para que un árbol sea clasificado como muerto en pie no debe tener hojas verdes, ni yemas vivas ni tejido verde bajo la corteza. En la práctica es bastante fácil confirmar los primeros dos criterios para árboles pequeños, pero es mucho más difícil confirmar la ausencia de tejido verde, en particular en árboles más grandes. Dada la posibilidad de que árboles defoliados recientemente puedan tener recursos remanentes para volver a echar hojas y sobrevivir, no se pueden eliminar por completo las incongruencias en el estado de mortalidad. Por ende, surge el problema de los “árboles zombi”, los cuales se definen como árboles registrados como muertos en pie en una visita de campo (p. ej., tiempo 0) pero vivos en la siguiente visita de campo (p. ej., tiempo 1).

---

Los árboles de reemplazo son árboles plantados en el mismo lugar exacto de los árboles removidos.

---

Si se observan “árboles zombi” en el tiempo 1, una solución posible en la base de datos es crear una columna de estado de mortalidad corregido para el tiempo 0 y cambiar la designación a vivo. En otras palabras, un árbol que antes se pensó que estaba muerto en pie en el tiempo 0, se corregiría a vivo para reflejar la información que se obtuvo en el tiempo 1. Cuando se plantan árboles (o se regeneran de forma natural) pero luego se remueven antes de que se puedan agregar al proyecto de monitoreo, en otras palabras, un árbol que se plantó pero luego se removió tan rápido que las brigadas de campo de monitoreo no tuvieron oportunidad de observarlo, surge un problema similar pero independiente. A estas se les denomina “mortalidades fantasma” (Sheil 1995, van Mantgem y Stephenson 2005). Algunos estudios especifican la tasa de mortalidad fantasma y la reportan como parte de la tasa de error (van Doorn *et al.* 2011). Las instancias de “árboles zombi” y “mortalidades fantasma” son excepcionales en general, pero como pueden afectar los cálculos de tasa de mortalidad, los supervisores de proyecto deben pensar de antemano cómo tratar esas situaciones.

### 2.1.17. Decidir el uso de la variable de brotes basales

El uso de la variable de brotes basales (ver la sección 2.10 de la *Guía de campo*) podría ser diferente según los objetivos del proyecto. Monitorear los **brotes basales**, por ejemplo, podría cambiar la forma en que los gestores deciden codificar el estado de mortalidad (ver la sección 2.10 de la *Guía de campo*). Para fines de manejo, los árboles que están muertos en el tallo principal deben removerse en la mayoría de las situaciones, en especial los árboles muertos grandes que podrían causar daños a personas o infraestructuras, sin importar si hay brotes basales presentes. La definición de categorías de estado de mortalidad en la *Guía de campo* refleja esta noción del mundo real de un árbol “muerto”, con árboles que están muertos en el tallo principal, pero tienen brotes basales vivos, categorizado como muerto en pie. Sin embargo, técnicamente, si hay brotes basales presentes en un individuo arbóreo, ese organismo no está realmente muerto. Incluso puede surgir un árbol “nuevo” de los brotes. Por ejemplo, se han visto casos de árboles plantados recientemente que están muertos en el tallo principal, pero tienen brotes basales, se dejan así (es decir, no se remueven) en jardines residenciales, vías sin mantenimiento o parcelas experimentales, y luego vuelve a crecer el árbol completo de un brote. Esos árboles pueden tener copas grandes, pero podrían no crecer necesariamente en formas atractivas. En la Figura 1 aparece un ejemplo de un brote convirtiéndose en un árbol completo de un estudio de monitoreo de plantaciones experimentales de árboles preparados para el clima (McPherson *et al.* 2018). Aunque el árbol es el mismo organismo vivo, según esta forma de registrar el estado de mortalidad (ver la sección 2.9 de la *Guía de campo*), el tallo que emerge del brote basal se registraría como un árbol nuevo o de reemplazo. Al considerar estudios centrados en el crecimiento del DAP, sería de utilidad registrar el brote basal emergente como un nuevo árbol porque no tiene sentido comparar directamente los diámetros anteriores del tallo principal con el nuevo tallo que crece de un brote. Sin embargo, si un investigador quisiera registrar la mortalidad en el sentido más estricto (con árboles que tienen que estar “completamente muertos” para contar como mortalidad) entonces un árbol con el tallo principal muerto, pero brotes basales vivos se consideraría vivo. En este caso, un analista tendría que recodificar el estado de mortalidad para reflejar el uso diferente de la variable de brote basal.



**Figura 1**—*Parkinsonia* x “Desert Museum” (palo verde) plantada en la Universidad de California en Davis es un ejemplo de un brote basal que volvió a crecer en un tallo principal nuevo. En 2015, el *Parkinsonia* x “Desert Museum” (A, árbol al frente) estaba vivo y el tallo principal estaba intacto. Se registró el árbol con estado de mortalidad de vivo. Para 2016, el tallo principal se había roto (B) y estaba creciendo un pequeño brote. Se registró el árbol como un tocón, con brote basal presente. En 2018 el brote creció (C) y tenía muchas hojas y flores, lo que hizo que fuera el nuevo tallo principal. El brote recibió un nuevo identificador de registro del árbol y se registró como vivo en 2018 con una nota sobre el origen de su brote y el identificador de registro del árbol del tallo original. Tomar nota de estos detalles permite que esta situación se filtre más fácilmente según el análisis. Las notas para la variable de revisión del supervisor en el conjunto de datos mínimos se diseñaron para captar este tipo de situación inusual (ver la sección 2.13 de la *Guía de campo*).

---

Poder identificar los casos extraños pero inusuales permite que se tomen decisiones mejor informadas en los estudios de monitoreo.

---

Los desafíos de los brotes basales para interpretar los resultados de mortalidad son relativamente infrecuentes en el monitoreo de árboles urbanos y, no obstante, esos desafíos inusuales pueden contrariar a las brigadas de campo y a los analistas, así que se plantea este tema para animar a los supervisores de proyecto a considerar detenidamente cómo se manejarán los brotes basales en árboles que por lo demás están muertos. Poder identificar los casos extraños pero inusuales permite que se tomen decisiones mejor informadas en los estudios de monitoreo.

### **2.1.18. Diseñar una hoja de cálculo o base de datos para organizar los datos de monitoreo**

Una hoja de cálculo o base de datos bien diseñada es fundamental para organizar los datos recolectados y hacer posible el análisis. También es importante planificar cómo se organizarán los datos antes de iniciar la recolección.

Broman y Woo (2018) sugirieron lineamientos generales para la organización de datos en hojas de cálculo y muchas de sus recomendaciones probablemente sean conocidas por silvicultores urbanos que han manejado datos de inventarios de árboles. Sus pautas incluyen las siguientes: ser uniformes (en particular con las convenciones de nomenclatura de variables, códigos para variables categóricas y fechas), usar un código para valores faltantes (en lugar de dejar celdas en blanco) y crear un diccionario de datos (también llamado metadatos). El diseño de una hoja de cálculo o base de datos también implica establecer claves principales y únicas (ver la sección 2.5.1). Hay consideraciones adicionales para monitorear proyectos que produzcan datos longitudinales. En particular, es importante decidir la presentación tabular de los datos: formato vertical u horizontal (ver la sección 2.5.2). Para conjuntos de datos particularmente grandes o complejos, es aconsejable crear un conjunto de datos maestros almacenado en un depósito que conserven una o pocas personas seleccionadas para reducir al mínimo la posibilidad de contaminación. Para llevar a cabo el análisis, los datos deseados se podrían extraer del depósito en un archivo de trabajo. Todos los errores detectados en el archivo de trabajo se deben señalar a las personas responsables de conservar la copia maestra para resolver los problemas.

## 2.2. ¿Qué es un árbol?

La palabra “árbol” no tiene una definición botánica estándar (Gschwantner *et al.* 2009, Lund 1999). Aunque “árbol” por lo general se toma con el significado de plantas leñosas con crecimiento secundario (es decir, el grosor del tronco aumenta cada año al crecer hacia afuera) y una copa distinguible, hay varias formas de definir “árbol” o de delinear qué “árboles” supervisar para un estudio. Por ejemplo, las palmeras no se consideran “árboles” por definiciones de silvicultura habituales y sin embargo las palmeras se manejan como árboles en muchos bosques urbanos. Nótese que incluir las palmeras además requeriría de modificaciones en el registro de crecimiento y vitalidad, porque los métodos adecuados para árboles caducifolios y coníferas no se trasladan a las palmeras (Blair *et al.* 2019). Por ejemplo, estudios de monitoreo de palmeras que buscan caracterizar el crecimiento deberían considerar el crecimiento de altura total, puesto que el crecimiento del DAP y el crecimiento del ancho de la copa no son de importancia biológica.

Otras definiciones de “árbol” se relacionan con el número de tallos, considerándose típicamente a los árboles como plantas con un tallo principal y la altura a la madurez de la planta, siendo los árboles más altos que los arbustos. Los arbustos a menudo se distinguen de los árboles por sus troncos múltiples y menor altura, pero no hay necesariamente un límite de altura estricto. En la dasonomía urbana, una planta que se consideraría “arbusto” por el hábito de crecimiento (varios “troncos”) podría podarse para formar un “árbol”, lo cual aumenta la confusión. Los ejemplos incluyen el *serviceberry* (*Amelanchier* spp.), el *crape myrtle* (*Laegerstroemia* spp.) y la yuca gloriosa (*Yucca* spp.). Las diferencias con las que las plantas se incluyen en proyectos de monitoreo de bosques urbanos podrían hacer difíciles las comparaciones entre ciudades y programas, además de que eludir la definición de “árbol” para un proyecto puede llevar a incongruencias en los datos de campo.

---

Eludir la definición de “árbol” para un proyecto puede llevar a incongruencias en los datos de campo.

---

Una forma de definir “árbol” para efectos de un proyecto de inventario o monitoreo es fijar tamaños mínimos para la altura y el DAP que excluyan tanto a arbustos como a retoños, como es habitual en la investigación de silvicultura.

Inventarios con base en parcelas y estudios de censo repetidos en dasonomía urbana han seguido ese precedente. Por ejemplo, el FIA en bosques rurales tradicionalmente ha registrado los árboles con DAP de por lo menos 5 pulgadas (12.7 cm), con la incorporación reciente de vástagos hasta de solo 1 pulgada (2.54 cm) para microparcels (McRoberts *et al.* 2005). Se ha usado un método similar para el protocolo i-Tree Eco para parcelas de dasonomía urbana que requiere registrar todos los tallos leñosos de por lo menos 1 pulgada (2.54 cm) de DAP (i-Tree 2017a).

No obstante, el método que utiliza límites de tamaño para definir qué “cuenta” como un árbol también puede ser problemático y causar que especies comúnmente consideradas “arbustos” sean declaradas el “árbol” más común en bosques urbanos. Según un estudio i-Tree Eco en Filadelfia, PA, el *spicebush* (*Lindera benzoin*), por lo general considerada un arbusto, es el árbol más común (Nowak *et al.* 2016b). Un caso similar ocurrió en Chicago, IL, donde el espino cerval (*Rhamnus cathartica*) fue el árbol más común (Nowak *et al.* 2013a). Además, usar un límite de 1 pulgada (2.54 cm) en los bosques urbanos excluyó algunos árboles pequeños recién plantados que son sumamente importantes para gestores e investigadores que estudian la fase de establecimiento. De manera contraria, para algunos gestores e investigadores, estos árboles pequeños pueden ser menos importantes, porque aún no son lo suficientemente grandes para aportar beneficios medioambientales sustanciales. Una ventaja del límite de 1 pulgada (2.54 cm) es que este método puede ser relativamente fácil de comprender e implementar de manera uniforme para las brigadas de campo. Las remediciones de parcelas i-Tree Eco han usado satisfactoriamente el límite de 1 pulgada (2.54 cm) para evaluar el cambio a lo largo del tiempo cuando se referenciaron permanentemente las parcelas (p. ej., Lawrence *et al.* 2012, Nowak *et al.* 2004).

Una estrategia para evitar que las plantas que son vistas como “arbustos” sean registradas como “árboles” es limitar la recolección de datos a una lista de especies predeterminada, compuesta de especies consideradas en general por los investigadores y manejadores como “árboles”. Con este enfoque, las brigadas de campo recibirían una lista de especies que son elegibles para incluirlas en el estudio. Esta estrategia también puede adaptarse a la capacitación y productividad de las brigadas de campo, porque sus tareas de identificación se limitan a un grupo de especies predeterminado. El programa UFIA emplea esta estrategia además de un límite de DAP. En la *Guía de campo* del UFIA (i-Tree 2017a) hay listas de especies del UFIA para distintas regiones de Estados Unidos. Como alternativa, las brigadas podrían recibir una lista de especies a excluir que no se consideran “árboles” para efectos del estudio en cuestión. Por ejemplo, indicar a las brigadas que registren árboles con por lo menos 1 pulgada (2.54 cm) de DAP pero excluir a especies de arbustos determinadas (p. ej., excluir el *spicebush* en Filadelfia, PA, y el espino cerval en Chicago, IL).

Otra posible fuente de confusión sucede en estudios de monitoreo que están centrados en árboles de la vía. Lo que los silvicultores urbanos definen como un “árbol de la vía” puede ser diferente de una ciudad a otra e incluso dentro de una misma ciudad. Por ejemplo, los árboles en la vía podrían limitarse a árboles en espacios de las banquetas con cepas o franjas de plantación; esos espacios podrían ser el tipo dominante de árbol de la vía en redes de caminos con banquetas. No obstante, otras vías y calles sin banquetas podrían tener árboles plantados en jardines frontales que se consideran árboles de las vías por su ubicación dentro del **derecho de vía** público.

Incluso cuando hay una banqueta, un árbol ubicado al lado de la construcción de la banqueta, podría considerarse un árbol en una propiedad privada o un árbol en una vía municipal pública, según el contexto local. Un estudio de censo repetido de árboles en la vía en Oakland, CA, resolvió este problema con una definición muy restrictiva de los árboles en la vía: solamente se incluyeron los árboles ubicados entre la banqueta y el cordón de la calle (Roman *et al.* 2014b). Pero esta definición de árbol de la vía tan restrictiva es solo una opción cuando todas las vías tienen banquetas.

Para un estudio de monitoreo del arbolado de múltiples edades en vías, los gestores del proyecto tendrán que decidir (1) si “árbol” tiene un límite de DAP mínimo, lista de especies predeterminada o ambos y (2) si “árbol de la vía” se define como derecho de vía frente a relación con banquetas y camellones. Para monitoreo de la cohorte de árboles en la vía, “árbol” se puede definir de manera más simple como todos los individuos arbóreos plantados mediante un programa particular. Las especies elegibles se determinarían con base en las especies en los registros de plantación. Esos proyectos no necesitan tener un umbral de tamaño mínimo para que se incluyan los árboles en el estudio porque los árboles en consideración son todos los individuos del programa de plantación, sin importar su tamaño actual.

Cualquiera que sea la decisión, es importante elegir una definición de “árbol” y mantenerla constante a lo largo del estudio de monitoreo. La falta de una definición clara y constante de “árbol” podría llevar a una interpretación confusa de cambio con el tiempo debido a discrepancias por las cuales las plantas se incluyen y excluyen del estudio. Esto puede causar que las brigadas tengan diferentes conteos de población (Roman *et al.* 2017), o los analistas podrían tener que modificar los registros de línea base para hacer más uniforme el significado de “árbol” (Roman *et al.* 2014b), lo que dificultaría interpretar los descubrimientos sobre cambios en tamaño total de población y podrían introducir errores en los cálculos de mortalidad, crecimiento y salud. En la Tabla 2 se ofrecen definiciones posibles de “árbol” para diferentes tipos de proyectos de monitoreo.

### 2.3. Elegir el método de ubicación apropiado

---

El uso de varios métodos complementarios para registrar el lugar asegurará que los individuos arbóreos se puedan encontrar fácilmente.

---

La información de ubicación se usa para localizar confiablemente los mismos árboles a través del tiempo y conectar datos de campo del árbol con otros conjuntos de datos geoespaciales. La ubicación geográfica es uno de los datos más esenciales para el monitoreo; sin una ubicación precisa, no se puede encontrar un árbol para volver a medirlo y no se pueden conectar los datos de un árbol con observaciones futuras y pasadas. A continuación, hay lineamientos sobre métodos de ubicación apropiados para diversos tipos de sitios. Se recomienda seleccionar por lo menos dos métodos de ubicación complementarios. Si hay un problema con un método, el otro está disponible como respaldo para ayudar a brigadas futuras a encontrar un árbol. Por ejemplo, una brigada podría ubicar un árbol en vías utilizando la dirección y el código del sitio y además indicar coordenadas sumamente precisas de latitud y longitud con un receptor de sistema de posicionamiento global (GPS). Siempre que sea posible, según la capacidad del programa, se recomienda usar etiquetas de identificación, mapas del sitio a escala o unidades GPS de alta precisión (es decir, precisión del orden de menos de un metro). Se recomiendan enfáticamente las fotografías de cada individuo arbóreo, de preferencia que muestren características de estructuras semipermanentes en el fondo (p. ej., construcciones, señalamientos de tránsito, otra infraestructura construida), como clave visual para que brigadas de campo futuras encuentren el árbol (ver la sección 2.5 de la *Guía de campo*).

**Tabla 2—Definiciones de árbol para diversos tipos de proyectos de monitoreo<sup>a</sup>**

Tipo de proyecto de monitoreo	Nombre corto de definición de árbol	Descripción
Monitoreo de la cohorte	Árbol plantado en programa específico	El árbol se define por inclusión en una lista de plantación de un programa. Solamente se monitorean los árboles plantados mediante ese programa y todos se consideran árboles para incluirlos en el estudio, sin importar el tamaño o el hábito de crecimiento (p. ej., se incluyen incluso especies a menudo consideradas arbustos como los <i>crape myrtles</i> [ <i>Laegerstroemia</i> spp.], si están en la lista del programa).
Inventario de arbolado de múltiples edades (general)	DAP mínimo de 1 pulgada (2.54 cm)	Los árboles se definen como plantas leñosas con un diámetro mínimo de 1 pulgada (2.54 cm) a la altura del pecho. Este método se basa en i-Tree Eco y en el Inventario y Análisis del Bosque Urbano del USDA y tiene el beneficio de que es fácil de determinar de manera confiable en el campo para los recolectores de datos, pero podría excluir algunos árboles pequeños recién plantados mientras se incluyen especies que comúnmente se consideran arbustos.
	Lista establecida de especies	Los árboles están definidos por una lista establecida de especies que se deben incluir o excluir. Las especies que no son de interés explícitamente no se consideran “árboles” para el estudio en cuestión. Por ejemplo, un inventario repetido podría excluir plantas con hábito de crecimiento de arbustos (por ejemplo, grupos de bambú, <i>spicebush</i> , espino cerval, ligustro).
Inventario de arbolado de múltiples edades (árboles de la vía o de alineación)	Árboles entre la banqueta y la calle y en camellones.	El monitoreo se limita a cepas en banquetas y sitios del tipo de jardineras <b>solamente</b> si están ubicados entre la banqueta y la vía y árboles plantados en camellones. Esta es una definición muy restrictiva de árbol en vías (porque excluye los árboles en banquetas ubicados inmediatamente al lado de construcciones, pero incluye árboles en banquetas inmediatamente al lado del cordón de la calle). Esta definición podría aplicarse de manera más uniforme por las brigadas de campo a lo largo de muchos años de monitoreo.
	Árboles en banquetas y camellones	El monitoreo está limitado a estos tipos de sitio (sección 2.4): cepas en banqueta, franjas de plantación en banquetas y camellones. (Los árboles en prados no están incluidos, aunque estén en el derecho de vía). Esta definición es más pertinente en ciudades donde los árboles en la vía se manejan principalmente como los árboles en el espacio de la banqueta. Puede haber confusión entre las brigadas en cuanto a si deben registrar árboles ubicados en el espacio de la banqueta, pero adyacentes a construcciones (no a la calle). Por esta definición, esos árboles se registrarían, mientras que, con la definición en la fila anterior, no se registrarían esos árboles.
	Árboles dentro del derecho de vía	El monitoreo se basa en una distancia fija desde el centro de la calle, el cordón de la calle o el borde del lecho del camino (es decir, el derecho de vía) según la definición de derecho de vía para el municipio local. Todos los árboles dentro de este espacio se incluyen para monitoreo, sin importar si el uso del suelo es terreno público o privado o si el tipo de sitio es jardín frontal o banqueta. Esta podría ser la definición más pertinente para silvicultores municipales, pero puede ser difícil aplicarla en el campo porque las brigadas podrían no saber qué tan lejos se extiende el derecho de vía desde el centro del camino para cada vialidad. Esta definición también es más pertinente para ciudades y suburbios que no tienen banquetas. Esas ciudades a menudo consideran los árboles cerca del camino como árboles en la vía.

<sup>a</sup> Los supervisores del proyecto podrían tener que combinar definiciones, p. ej., usar una lista de especies y tamaño límite o usar una definición de árbol de la vía y tamaño límite.

Se debe tomar en cuenta que en la *Guía de campo* se abarcan los tres protocolos de ubicación a fondo. Aquí en la *Guía de recursos* se cubren métodos adicionales y detalles acerca de los pros y los contras de todos los métodos (Tabla 4 y el resto de la sección 2.3).

---

Ubicar árboles con coordenadas de GPS en el campo tiene inconvenientes, en particular cuando se usa equipo convencional.

---

Aunque generar coordenadas de latitud y longitud para cada árbol podría parecer la información ideal para una cartografía del arbolado urbano, no se debe apoyar únicamente en esas coordenadas. Cuando las coordenadas son generadas por geocodificación de direcciones, esas coordenadas por lo general caen en el centro de la parcela (es decir, no donde está ubicado realmente el árbol). Al usar equipo GPS en el campo, las lecturas pueden variar por varios metros si se usa equipo convencional, aunque algunos dispositivos pueden ofrecer precisión del orden de menos de un metro con posprocesamiento. Más adelante se analizan los problemas adicionales para generar coordenadas cartográficas con unidades GPS. Cada método de ubicación tiene sus propias fortalezas y debilidades y el supervisor del proyecto debe determinar los dos (o más) métodos más adecuados para el proyecto.

Se debe observar que aquí no se dan pautas detalladas para registrar ubicaciones con inventarios basados en parcelas. Las parcelas son un caso especial y los centros de parcelas generados al azar a menudo pueden ser difíciles de localizar. Para reubicar de manera confiable centros de parcela, se puede emplear una variedad de métodos: usar objetos de referencia, distancia y dirección hacia todos los árboles desde el centro de la parcela, descripciones de navegación por escrito al centro de la parcela, fotografías que muestren a una persona parada en el centro de la parcela y fotos tomadas desde el centro de la parcela hacia cada punto cardinal (consultar objetos de referencia en la Tabla 3 y la sección 2.3.9). Los centros y delimitaciones de parcelas con marcas permanentes son ideales (p. ej., usar banderas y estacas) pero podría no ser posible en paisajes urbanos con numerosos propietarios de inmuebles privados y la posibilidad de que el público interfiera con los marcadores. Para obtener más información sobre métodos de ubicación con base en la parcela, ver Doorn (2014) e i-Tree (2017a).

### 2.3.1. Método de dirección y código del sitio

Por lo general se usan las direcciones de inmuebles y los códigos del sitio para árboles en la vía (ver sección 2.4.1 de la *Guía de campo*) y es importante que se usen juntos porque el código del sitio está relacionado con la dirección. Por ejemplo, la dirección 100 Main Street podría tener árboles en los Códigos del sitio 1F y 2F (para indicar dos árboles en el frente del inmueble) y luego 102 Main Street tendría una numeración de código de sitio que comience de nuevo con 1F. Cuando hay varios árboles atribuidos a una dirección, el uso de una sola dirección puede causar dificultades para distinguir los individuos arbóreos entre sí. Registrar un código del sitio puede evitar la ambigüedad al identificar la posición relativa del árbol en el inmueble. Los pros y los contras de este método se analizan en la Tabla 4.

Según los objetivos del proyecto, registrar únicamente la dirección (sin código del sitio) podría ser útil de maneras no relacionadas con encontrar el árbol en el campo. Las direcciones pueden vincular la información del árbol con datos de la parcela o datos socioeconómicos de la Oficina del Censo o permitir que se envíe correo al residente para informarse del árbol en cuestión mediante encuestas cualitativas. En este caso, no se debe usar la dirección como un método de ubicación para encontrar el árbol, sino que se puede usar como información adicional para investigación o administración.

**Tabla 3—Métodos de ubicación de árboles urbanos y tipos de sitio pertinentes para cada método**

<b>Método de ubicación</b>	<b>Definición</b>	<b>Tipos de sitio pertinentes</b>
Dirección y código del sitio	La dirección es el número del inmueble y el nombre de la calle donde está ubicado un árbol, o del inmueble adyacente al árbol. El código de sitio es un código de identificación de ubicación para la dirección. Este método se usa con más frecuencia para los árboles en la vía. Por ejemplo, la F significa al frente de la dirección, L al lado del edificio, C en el camellón. Ver detalles adicionales sobre protocolos de dirección y código de sitio para árboles en la vía en la sección 2.4.1 de la <i>Guía de campo</i> .	Cepa en banqueta, franja de plantación en banqueta, camellón, jardín frontal, jardín trasero
Distancia a la esquina de la cuadra	Para árboles de las vías, este método implica medir la distancia en línea recta de una esquina del cordón de la calle a la siguiente esquina del cordón de la calle con un telémetro, cinta de paisajista, cinta de topógrafo u odómetro. Ver protocolos para este método en la sección 2.4.2 de la <i>Guía de campo</i> .	Cepa en banqueta, franja de plantación en banqueta, camellón
Digitalizar las ubicaciones en imágenes satelitales	Una imagen de satélite impresa o digital del área de estudio está marcada en el campo para mostrar la ubicación del árbol de estudio. La ubicación se convierte en formato digital con un programa computacional. Ver protocolos para este método en la sección 2.4.3 de la <i>Guía de campo</i> .	Todos los tipos de sitio
Etiqueta de identificación	Etiqueta de identificación con un código o número, comúnmente pegada a árboles juveniles con cinchos de plástico o clavada en árboles grandes.	Todos los tipos de sitio, pero de utilidad particular en las áreas naturales
Coordenadas del sistema de posicionamiento global (GPS)	Coordenadas de ubicación del árbol (p. ej., latitud y longitud). Asegurarse de indicar la precisión promedio reportada por la unidad de GPS (p. ej.: $\pm 3$ m, $\pm 10$ m, etc.), unidades, sistemas de coordenadas y punto base.	Todos los tipos de sitio
Plano del sitio del paisaje	Un plano del sitio dibujado a escala que ilustra árboles y otras referencias en el paisaje. Los planos del sitio del paisaje por lo general son dibujados por un arborista profesional o arquitecto paisajista, pero hay herramientas en línea y libros para ayudar a participantes menos experimentados a hacer mapas del paisaje.	Todos los tipos de sitio, pero de especial utilidad para jardines y parques con mantenimiento
En, desde y hacia calles	Un sistema para indicar el segmento específico de la cuadra donde está ubicado un árbol, más adecuado para inventarios de árboles de las vías en un sistema de calles cuadrado. “En” es la calle donde está el árbol, “desde” es la calle en sentido descendente de la dirección, “hacia” es la siguiente calle en sentido ascendente de la dirección. También se puede registrar el lado de la calle (es decir, numeración non o numeración par, lado norte o lado sur de la cuadra). Ver detalles y ejemplos en la sección 2.4.1 de la <i>Guía de campo</i> .	Cepa en banqueta, franja de plantación en banqueta, camellón, jardines frontales
Fotos	Este método implica tomar una foto de todo el árbol con suficiente fondo que dé contexto de la ubicación, como infraestructura identificable (es decir, casa, arbotante, hidrante, esquina de la calle). Se deben tomar fotos nuevas en cada visita de campo para captar los cambios en el paisaje y ayudar a brigadas futuras a encontrar el árbol.	Todos los tipos de sitio
Objetos de referencia	La distancia y la orientación hacia los objetos en el paisaje que es improbable que no se muevan en varias décadas. Por ejemplo, un objeto de referencia para un árbol de jardín podría ser la esquina noroeste del exterior de la casa. Las brigadas de campo entonces medirían la distancia y orientación de la brújula del árbol hacia esa esquina de la casa. Este método se basa en protocolos formulados para inventarios con base en parcelas como i-Tree Eco. Consultar protocolos detallados en i-Tree (2017a).	Jardines; parques con mantenimiento

**Tabla 4—Pros y contras del método de dirección y código del sitio**

Pros	Contras
Fácil de recolectar en el campo para datos de línea base.	Aporta información con baja precisión para monitoreo futuro.
No requiere de equipo adicional.	Puede haber ambigüedad si se remueven o añaden árboles con el tiempo.
Coincide con los métodos de inventario de árboles en la vía de muchas ciudades.	En casos de demolición o reconstrucción de estructuras, las direcciones y los códigos de sitio pueden hacerse irrelevantes  Los límites de los inmuebles y los números de dirección en ocasiones pueden ser difíciles de discernir en el campo.

### 2.3.2. Método de distancia a la esquina de la cuadra

El método de distancia a la esquina de la cuadra se usa para árboles en la vía y funciona mejor en sistemas de vías cuadrículados con calles rectas. En este método, la distancia se mide a lo largo del borde del cordón de una calle hasta cada árbol (ver la sección 2.4.2 de la *Guía de campo*). Además de las medidas de distancia, las brigadas de campo deben registrar las intersecciones de las calles de los puntos inicial y final y el lado de la calle que están midiendo con respecto a la línea central (derecha o izquierda); esta información es similar al método de en, desde y hacia calles (Tabla 4). El método de distancia a la esquina de la cuadra es más eficiente cuando se usa odómetro, pero se puede hacer con una cinta de medir larga. También se podrían usar telémetros digitales si el entorno del paisaje urbano no tiene muchas obstrucciones (p. ej., tránsito de peatones). Una forma eficiente de manejar el flujo de trabajo sería registrar todas las distancias de los árboles primero y luego volver y registrar otra información como especies y DAP.

El método de distancia a la esquina de la cuadra fue formulado por TreeKIT (Silva *et al.* 2013) y se ha usado ampliamente en la ciudad de Nueva York, donde las distancias entre los árboles se pueden traducir en posiciones en el mapa usando el sistema de software personalizado creado especialmente para el censo de árboles en la vía de ciencia ciudadana de la ciudad (Crown *et al.* 2018). El método también se adaptó ahí para hacer posibles las mediciones en vías curvas, calles sin salida y otras vías que no están en cuadrícula.

Toma más tiempo establecer el método de distancia a la esquina de la cuadra que el método de dirección y código del sitio, pero proporciona información de ubicación detallada para ayudar a brigadas de campo futuras a encontrar el mismo árbol sin las ambigüedades del método de dirección y código del sitio (Tabla 5).

En el método de distancia a la esquina de la cuadra se toman las tres medidas a partir de un punto de partida imaginario que es el borde del cordón de la calle proyectado. La medida de la distancia para cada árbol en esa cara de la cuadra se toma con respecto a ese punto de partida (p. ej., árbol a 6.1 m (20 pies) del borde proyectado, segundo árbol a 12.2 m [40 pies m]). Sin embargo, Silva *et al.* (2013) estableció el método originalmente para medir los intervalos entre árboles.

**Tabla 5—Pros y contras del método de distancia a la esquina de la cuadra**

Pros	Contras
Proporciona información muy precisa para monitoreo futuro.	Toma tiempo establecerlo, en particular para el primer año (datos de línea base).
Si se usa un odómetro o telémetro es muy fácil medir largas distancias.	Si se usa una cinta de transección, es ineficiente en cuadras largas porque podría ser necesario enrollar y extender la cinta de nuevo. Si se usa un telémetro, los peatones y otras obstrucciones podrían interferir con las medidas.
Es fácil agregar árboles nuevos porque las medidas a los árboles son independientes entre sí.	Si hay un error al extender la cinta de transección al principio, ese error afectará todas las medidas.  Se necesita software a la medida o elaborar manuales que requieren mucho tiempo para traducir las medidas de la distancia en coordenadas de un mapa.  Puede ser difícil poner en práctica sistemas en vías que no están en cuadrícula (p. ej., calles curvas, calles sin salida) o para sistemas de cuadrícula con frentes de cuadra extremadamente largos.  Se necesita equipo que algunas organizaciones podrían no conseguir fácilmente.

En su método original, la primera medida se toma anotando la distancia entre el punto de partida y el punto central del primer árbol. La medida en el odómetro se “pone en ceros” y la segunda medida se toma midiendo desde el punto central del primer árbol al punto central del segundo árbol. Este procedimiento se repite para árboles subsiguientes en la cuadra. La última medida se toma entre el punto central del último árbol y el punto final, (es decir, la esquina proyectada de calles perpendiculares). Un problema con este método para las remediciones futuras es que agregar nuevos árboles al inventario cambiará las distancias anteriores entre los árboles. Por lo tanto, se recomienda el uso del método de distancia a la esquina de la cuadra con el que se registran las distancias al punto central de cada árbol sin restablecer la medida. No obstante, siempre que se tomen cuidadosamente las medidas de distancia, debe ser fácil cambiar de un método al otro.

### **2.3.3. Método de digitalización de las ubicaciones en imágenes satelitales**

El método de digitalización de las ubicaciones en imágenes satelitales implica tomar como referencia una imagen satelital impresa del área de estudio en el campo. Esas imágenes muestran los contornos superiores de las copas de los árboles, las vías y las estructuras cercanas. Al usar esos objetos como referencia, se marca la ubicación del árbol de estudio en la imagen con una pluma o marcador. Más adelante, la ubicación se convierte a formato digital en una computadora con software como ArcGIS, Google Maps o Google Earth. Un método de “alta tecnología” más directo es llevar un dispositivo móvil al campo cargado con una aplicación espacial (p. ej., ESRI Collector o My Maps de Google) que permite trazar puntos en la imagen satelital mientras se está en el campo. Esto reduce el tiempo de procesamiento de los datos en la oficina.

El uso de imágenes satelitales funciona bien en muchas situaciones de árboles en la vía y prados, pero podría ser difícil en áreas boscosas naturales y en prados con vegetación densa y en banquetas donde las copas se traslapan. Cuando la información de la ubicación original se basó en dirección y código del sitio, fue posible hacer un cálculo aproximado de dónde podría estar ubicado el árbol para hacer remediciones subsiguientes. Las herramientas en línea como los convertidores de direcciones en latitud y longitud permiten trazar la ubicación aproximada del inmueble en una imagen satelital. En el campo, la brigada podría afinar dónde está ubicado el árbol con base en la ubicación real de la copa. Se debe observar que también es mejor usar imágenes satelitales relativamente recientes (de 1 o dos años atrás, si es posible) y que los eventos de construcción, tormentas y de otra índole pueden cambiar drásticamente el aspecto de la imagen del paisaje.

Consultar en “Coordinadas con GPS” (sección 2.3.5) más adelante los escollos relacionados con el uso de receptores de GPS con el método de alta tecnología de llevar un dispositivo móvil al campo equipado con receptor de GPS. En la tabla 6 se analizan los pros y los contras del método de digitalizar ubicaciones en imágenes satelitales.

### 2.3.4. Método de etiquetado

En parcelas de bosques rurales a menudo se etiquetan los árboles con números de identificación o códigos particulares que permiten a las brigadas de campo verificar la identidad de individuos arbóreos (van Doorn 2014). Esas etiquetas a menudo se clavan en los troncos de árboles maduros. La etiqueta puede mostrar el identificador de registro del árbol. Aunque las etiquetas de identificación se usan con mucha menor frecuencia en la dasonomía urbana, se han integrado a algunos proyectos, incluido un estudio de programas con alta supervivencia en los primeros años después de la plantación (Roman *et al.* 2015). Esas etiquetas se ataban holgadamente alrededor de una rama del árbol.

**Table 6—Pros y contras del método de digitalización de las ubicaciones en imágenes satelitales**

Pros	Contras
Hay imágenes satelitales de fuente abierta disponibles que hacen que este método sea potencialmente económico.	Para el método de baja tecnología con papel, toma mucho tiempo elaborar copias de imágenes satelitales para llevar al campo y procesar los datos después.
La precisión de los sistemas de posicionamiento global (GPS) en los dispositivos móviles varía, pero si las brigadas usan dispositivos de vanguardia, este método puede aportar información de posición sumamente precisa para monitoreo futuro y reduce el tiempo de procesamiento.	El método de alta tecnología podría requerir la adquisición de dispositivos móviles y software comercial que podrían ser de costo prohibitivo.
Permite la creación de un mapa de posiciones de los árboles útil para análisis, visualización y remediación.	Requiere conocimientos técnicos para procesar los datos después de marcar los árboles en el campo en imágenes satelitales.
	El uso de dispositivos móviles con GPS tiene limitaciones que producen poca precisión de la posición, en especial en “cañones urbanos” entre construcciones y bajo copas gruesas y densas.
	Se necesitan imágenes satelitales relativamente recientes (de 1 o 2 años atrás) y las imágenes pueden ser obsoletas si el paisaje cambió drásticamente por construcciones o tormentas.

El mantenimiento de las etiquetas de identificación en inspecciones repetidas incluye asegurar que el árbol no esté creciendo sobre la etiqueta, que la etiqueta no esté apretando el tallo y que el identificador siga siendo legible (p. ej., que no esté decolorado por el sol). Las brigadas deben estar preparadas para encontrar un árbol determinado utilizando métodos de ubicación alternativos, aunque se haya retirado o dañado la etiqueta. Los pros y los contras de este método se analizan en la Tabla 7.

### 2.3.5. Método de coordenadas de GPS

La precisión de la ubicación en un receptor de GPS puede variar de ser demasiado vaga para distinguir entre dos árboles hasta lo suficiente refinada para que puedan identificarse individualmente árboles plantados uno al lado del otro. Los sistemas de posicionamiento global diferencial (DGPS) brindan mejor precisión, de alrededor de 15 m (49.2 pies) de los GPS comunes, a aproximadamente 10 cm (2.9 pulgadas) en el mejor de los casos. No todos los dispositivos son aptos para utilizar DGPS y los que sí por lo general son más caros y su costo es a menudo prohibitivo para programas con bajo presupuesto. Los supervisores deben ponderar las ventajas y desventajas entre la precisión y el costo para lograr los objetivos de su programa. Independientemente del dispositivo que se use, se debe registrar la precisión de las lecturas (mostrada como  $\pm$  metros o pies) junto con las coordenadas de GPS. Los dispositivos necesitan un campo visual despejado con los satélites, y por lo tanto se topan con problemas de “cañones urbanos” caracterizados por tener problemas para localizar satélites bajo copas de árboles grandes y densas o en zonas del centro de la ciudad donde las señales podrían reflejarse en sentido contrario de construcciones altas. Las zonas en el centro de la ciudad con construcciones altas a menudo tienen limitaciones de precisión, como Manhattan, en la ciudad de Nueva York (Silva et al. 2013). No obstante, para zonas urbanas con construcciones menos altas, el “cañón urbano” no es problema. En la Tabla 8 se analizan los pros y los contras del método de las coordenadas de GPS.

### 2.3.6. Método de plano del sitio del paisaje

Los mapas del sitio son particularmente pertinentes para parques, jardines y jardines residenciales en vecindarios. En esos lugares, distinguir entre árboles en áreas extensas de prado puede ser difícil y los registros de plantación o inventario que solo reportan la ubicación en términos generales (es decir, “10 árboles en el lado sur del edificio”) no permiten que las brigadas de campo futuras ubiquen individuos arbóreos.

**Tabla 7—Pros y contras del método de etiqueta de identificación**

Pros	Contras
Elimina la ambigüedad sobre cuál árbol está en el registro.	Requiere equipo adicional.
Funciona bien para árboles en áreas naturales donde es poca la interacción con el público (y el riesgo de vandalismo).	Las etiquetas se pueden vandalizar o dañar, remover o perderse.
Puede funcionar bien para árboles en parques y a lo largo de vías siempre que las etiquetas se ajusten periódicamente a medida que crecen los árboles.	Requiere medidas de mantenimiento periódico para evitar que el árbol crezca sobre la etiqueta y evitar que la etiqueta estrangule el árbol.  Las etiquetas clavadas en troncos por lo general no son una opción viable para árboles urbanos grandes que podría ser necesario remover y astillar algún día (las etiquetas de aluminio son seguras para las motosierras). Pero las etiquetas alrededor de ramas pueden funcionar bien para árboles pequeños plantados recientemente.

**Tabla 8—Pros y contras del método de coordenadas del sistema de posicionamiento global (GPS)**

Pros	Contras
Los dispositivos de alta resolución ofrecen precisión de ubicación del orden de menos de un metro.	Se necesita equipo adicional y equipo de costo particularmente alto para la precisión del orden de menos de un metro.
Se puede usar para generar mapas para análisis geoespacial y visualización de sitios.	No todos los dispositivos brindan el nivel de precisión necesario.
	Recibir una señal en una zona urbana puede ser difícil, en especial en cañones urbanos y bajo copas de árboles gruesas y densas, lo cual produce poca precisión de la ubicación.

Los mapas de sitio de paisajes se pueden hacer en dos estilos diferentes; a escala y no a escala. Los mapas de sitio a escala se han usado en casos de estudio que han mostrado alta supervivencia (Roman *et al.* 2016). Esos mapas, junto con las etiquetas de árboles, permitieron a los investigadores encontrar fácilmente individuos arbóreos a lo largo de muchos años de trabajo de campo. No obstante, toma mucho tiempo hacer esos mapas y por ello son inusuales. Para un proyecto de alto perfil en parques, campus o vías, podría haber oportunidades de que los municipios o los organismos no lucrativos contraten a arquitectos paisajistas o arboristas para que elaboren mapas del sitio a escala utilizados para monitoreo o ciclos de mantenimiento e inspección. Si no hay mapas a escala disponibles, los mapas no a escala también pueden ser muy útiles. Por ejemplo, los mapas del sitio no a escala que muestran dónde están plantados los árboles con respecto a otras estructuras características permitieron que las brigadas de campo encontrarán los árboles de jardín plantados mediante un programa de árboles de sombra en Sacramento, CA (Roman *et al.* 2014a). No obstante, en ese estudio solo uno de cada tres árboles del programa estaba en la mayoría de las casas, y las claves visuales (p. ej., estacas y lazos de vivero que eran distintivas del programa) ayudaron a confirmar que las brigadas estaban paradas a un lado del árbol correcto. Los mapas de sitio a escala habrían evitado algunos casos de confusión, pero los mapas no a escala fueron suficientes para la mayoría de los inmuebles. Los pros y los contras del método del mapa de sitio se analizan en la Tabla 9.

### 2.3.7. Método en, desde y hacia calles

El método de información en, desde y hacia calles permite que se agrupen los registros de árboles a nivel de la cuadra de la ciudad, lo cual puede ser de utilidad tanto para el manejo como para la logística de la brigada de campo. El “en” calle significa la calle donde está en efecto el árbol (que puede ser diferente de la dirección de la parcela).

**Tabla 9—Pros y contras del método de mapa del sitio**

Pros	Contras
Los mapas del sitio proporcionan información muy precisa de ubicación para monitoreo futuro.	Los mapas de sitio a escala son laboriosos y requieren conocimientos y aptitudes específicas.
Limitan la ambigüedad si se remueven o agregan árboles con el tiempo.	Los mapas de sitio a escala son costosos y requieren mucho tiempo.
Podrían requerir de equipo de campo adicional y software para mapas a escala.	Los mapas no a escala podrían pasar por alto características importantes si se hacen mal.

El “desde” calle significa la calle más cerca a la dirección con el número más bajo, mientras que el “hacia” calle significa la siguiente calle que se encuentra (en el sentido de las direcciones ascendentes). Conocer las calles en, desde y hacia puede ayudar a las brigadas a volver a la ubicación más rápido y permite que los supervisores planifiquen eficientemente la ruta de muestreo para ese día. Este método puede complementar el método de dirección y código del sitio (ver la sección 2.4.1 de la *Guía de campo*) y se requiere un componente del método de distancia a la esquina de la cuadra. Los pros y los contras de este método se analizan en la Tabla 10.

### 2.3.8. Fotografías como un método de ubicación

Se recomienda enfáticamente que todos los proyectos de monitoreo incluyan una foto de cada árbol siempre que sea posible, de preferencia que muestre el árbol completo con el entorno de estructuras reconocibles u otras características de referencia permanentes en el fondo como una casa o poste de servicios públicos (ver la sección 2.5 de la *Guía de campo*). Esto permite que las brigadas de campo usen claves visuales en el paisaje para asegurarse de estar parados en el mismo árbol de previas investigaciones de campo. Se deben tomar nuevas fotos cada vez que se visita el árbol para captar los cambios en el árbol y las estructuras en el entorno. Una foto puede servir como respaldo crucial para otros métodos de ubicación descritos previamente y puede ayudar a resolver ambigüedades en otros registros. Aunque se ha descubierto que las fotos son sumamente útiles para la ubicación de árboles en la mayoría de las partes con construcciones del bosque urbano, como a lo largo de calles y en jardines residenciales, las fotos de individuos arbóreos podrían no ser pertinentes en áreas naturales (sin embargo, las fotos del centro de la parcela podrían ser útiles. Además de usarlas para reubicar un árbol en investigaciones posteriores, las fotos de cada árbol pueden ayudar a captar errores enormes de observación cuando la calidad de los datos es cuestionable pero no hay posibilidad de volver al campo (p. ej., la especie o el DAP parecen imposibles para esa área de estudio).

Las fotos de cada árbol por lo general son más fáciles de manejar en una gran escala cuando los teléfonos inteligentes u otros dispositivos móviles se usan para trabajo de campo, de modo que cada foto se pueda vincular al registro correspondiente al árbol en la base de datos. Cuando no es factible usar la recolección de datos con dispositivos móviles, como quiera se pueden tomar fotos, pero tienen que organizarse para asegurar que cada foto esté vinculada con un árbol específico.

**Tabla 10—Pros y contras del método de en, desde y hacia calles**

Pros	Contras
Fácil de recolectar en el campo.	No es un método independiente; este método se debe usar junto con el de códigos del sitio (ver la sección 2.3.1) o las medidas de distancia a la esquina de la cuadra (ver la sección 2.3.2).
No requiere de equipo adicional.	
Es compatible con el método de inventario de árboles de las vías de muchas ciudades.	
Permite la planificación eficiente de las rutas diarias de recolección de datos.	

Por ejemplo, una foto con un miembro de la brigada de campo parado a un lado del árbol, sosteniendo un pizarrón con el identificador del registro del árbol o el número de foto generado automáticamente por la cámara, se puede registrar en la hoja de recolección de datos. Como alternativa, se podría tomar una foto, primero, de la hoja de recolección de datos para mostrar el registro del árbol y, en segundo lugar, del árbol en sí. Después, las fotos podrían etiquetarse y organizarse con herramientas de manejo de fotos (p. ej., Google Photos, Flickr, Tropy). Sin ese tipo de organización minuciosa, es tarea difícil encontrar una foto en el campo cuando es necesario. Ver en la Tabla 11 un análisis de los pros y los contras de las fotos como método de ubicación.

Aunque un supervisor de proyecto decida no tomar fotos de cada individuo arbóreo, se recomienda usar fotos para el propósito menos amplio de identificación de la especie de árbol: que las brigadas de campo tomen fotos de especies desconocidas (ver la sección 8 de la *Guía de campo*).

### 2.3.9. Método de objetos de referencia

Las brigadas de campo registran la distancia y la dirección desde el objeto de referencia (un objeto que sea probable que permanezca en el mismo lugar durante varias décadas) hacia el árbol. Algunos ejemplos de objetos de referencia incluyen hidrantes, postes de cables elevados de servicios públicos, marcadores de estudio del Estudio Geodésico Nacional (NGS) y registros de alcantarillas. En parcelas i-Tree Eco, la información del objeto de referencia se registra con respecto al centro de la parcela, y luego se registran las posiciones también con respecto al centro de la parcela. Los objetos de referencia a menudo son más difíciles de encontrar en áreas naturales porque es menos probable que exista infraestructura construida en las cercanías. Para parcelas de áreas naturales, los objetos de referencia pueden ser los árboles más grandes en el sitio o las especies más inusuales. Otro método para las áreas naturales es instalar marcadores como estacas o barras de acero en el centro de la parcela. Ver más detalles sobre protocolos para registrar objetos de referencia con parcelas i-Tree Eco en i-Tree Eco (2017a).

Los malos objetos de referencia incluyen elementos que son fáciles de mover, hay varios y están próximos entre sí o no son fáciles de identificar por el tamaño o ubicación.

**Tabla 11—Pros y contras de usar fotos como un método de ubicación**

Pros	Contras
Dan claves visuales y respaldo para monitoreo futuro y que las brigadas puedan estar seguras de que están registrando el árbol correcto.	El manejo de las fotos es más simple cuando se usa un dispositivo móvil con recolección de datos integrada con las fotos, pero esa tecnología puede ser de costo prohibitivo.
Es un complemento eficaz para todos los demás métodos de ubicación descritos en la <i>Guía de recursos</i> .	Al tomar fotos fuera de un sistema de recolección de datos móvil, etiquetar y organizar las fotos puede tomar mucho tiempo.
Por lo general es rápido y fácil tomar fotos durante el trabajo de campo.	
Registro visual de cambios en el crecimiento, la salud y el contexto medioambiental del árbol que se puede usar en presentaciones o capacitación de brigadas de campo.	

No obstante, incluso para objetos de infraestructura relativamente comunes como arbotantes, hay formas de facilitar que las brigadas futuras localicen el objeto. Por ejemplo, en una investigación de parcelas i-Tree en Filadelfia, se imprimió una imagen satelital de Google Maps y se llevó al campo. Las brigadas usaron un marcador dorado para indicar sus tres objetos de referencia junto con la distancia y la orientación hacia cada objeto. Además, la brigada tomó cuatro fotos mientras estaba parada en el centro de la parcela viendo hacia el norte, el sur, el oriente y el poniente, y una quinta foto de un miembro de la brigada parado en el centro de la parcela. Cuando los investigadores volvieron a las parcelas para revisar la calidad de los datos, pudieron determinar fácilmente el centro de la parcela. Ver en van Doorn (2014) más análisis de problemas de calidad de datos en parcelas forestales permanentes, incluidas estrategias para prevenir y responder a esos desafíos.

Los riesgos para la estabilidad de objetos de referencia incluyen la reconstrucción de una zona urbana o la urbanización de un área natural. Es posible que se hayan removido todos los árboles de esas áreas reconstruidas o urbanizadas durante la construcción, pero a veces se preservan los árboles (Ames y Dewald 2003, Briber *et al.* 2015) y puede ser difícil vincularlos con los datos originales de parcela y de árbol. En la Tabla 12 se analizan los pros y los contras del método de objetos de referencia

## 2.4. Tipo de sitio y uso del suelo

En la *Guía de campo* se define tipo de sitio como una descripción del área que rodea inmediatamente la ubicación de un árbol y el uso del suelo como una descripción de la forma en que los terrenos alrededor o a un lado del árbol son usados por los seres humanos (ver las secciones 2.6 y 2.7 de la *Guía de campo*). El uso del suelo ha sido definido de manera más amplia en la planificación urbana como “la ocupación o uso del suelo o zonas acuáticas para cualquier actividad humana o con cualquier fin” (The Institute for Local Government 2010; ver también en Anderson *et al.* 1976 y Lambin *et al.* 2006 información adicional sobre definiciones y conceptos de uso del suelo).

Las categorías de tipo de sitio incluyen cepa en banqueta, franja de plantación en banqueta, camellón y jardín frontal. Las categorías de uso del suelo incluyen residencial unifamiliar (adosado y no adosado), comercial, institucional y cementerio. Las variables del tipo de sitio y uso del suelo están relacionadas, pero son distintas. Por ejemplo, un árbol ubicado en una cepa en banqueta (tipo de sitio) podría ser adyacente a un inmueble que es residencial, comercial o institucional (uso del suelo).

**Tabla 12—Pros y contras del método de objetos de referencia**

Pros	Contras
No depende de la ubicación actual de los árboles.	Podría ser difícil encontrar objetos de referencia particulares que parezca probable que persistan con el tiempo, en particular en áreas naturales.
Se apoya en métodos de parcelas para áreas naturales en la ecología forestal.	La reconstrucción pone en riesgo que los objetos de referencia se eliminen o se muevan, causando ambigüedades. Los objetos de referencia lejos del árbol objetivo o centro de la parcela son difíciles de localizar. Se necesita equipo de campo adicional (p. ej., cintas de transección o telémetros para obtener las distancias y brújulas para orientarse).

De forma similar, un árbol ubicado en un entorno similar a un parque con mantenimiento (tipo de sitio) podría estar dentro de un parque público, un campus universitario o un cementerio (uso del suelo). Consultar categorías adicionales de tipo de sitio y uso del suelo para ejemplos del mundo real en la Tabla 8 de la *Guía de campo* y el apéndice 1 de esta *Guía de recursos*.

Hay dos motivos principales para registrar el tipo de sitio: (1) cada tipo de sitio tiene métodos recomendados para registrar la ubicación de los árboles y (2) la mortalidad, el crecimiento y la salud pueden variar a través de categorías de tipo de sitio. Las categorías de tipo de sitio indican amplia información sobre el área circundante del espacio de plantación (áreas duras contra áreas con vegetación) y controles sobre incorporación y remoción de árboles (plantación dominada por los seres humanos contra regeneración natural). Se usa el término entorno de áreas duras para describir árboles urbanos circundados por superficies duras construidas por seres humanos, a menudo impenetrables (p. ej., asfalto, concreto) pero también pueden incluir materiales penetrables modernos (p. ej., pavimentos permeables). Cada categoría de tipo de sitio incluye métodos recomendados para registrar la ubicación (Tabla 13). Esta información tiene el objetivo de ayudar a los supervisores de proyecto, quienes deben decidir qué método de ubicación es el mejor para cada proyecto. En la Tabla 13, el tipo de sitio está separado según los árboles en un área dura, un paisaje con mantenimiento (área con vegetación) o un área natural.

Aunque no se incluyen los métodos de coordenadas de GPS, fotos y etiqueta de identificación para las categorías de tipo de sitio en la Tabla 13, esto se debe a que estos tres métodos son adecuados para todos los tipos de sitio. Sin embargo, cualquiera de estos tres métodos se debe usar en conjunto con otro método complementario, como se describe en la sección 2.3.

**Tabla 13—Categorías de tipo de sitio con notas de manejo y métodos recomendados para registrar ubicaciones. Se pueden tomar coordenadas de GPS, usar fotos y etiquetas de identificación en todos los tipos de sitio.**

Categoría (código)	Descripción	Métodos recomendados para registrar la ubicación
<b>Árboles en entornos de áreas duras</b>		
Las plantaciones y remociones de árboles en estos tipos de sitio están dominados por los seres humanos.		
Cepa en banqueta (CB)	El árbol está ubicado en un hoyo con tierra en la banqueta. La cepa puede estar en cualquier parte del espacio de la banqueta (p. ej.: a un lado del cordón de la banqueta, a un lado de una construcción). Este tipo de sitio por lo general está hecho para un solo árbol.	Dirección y código del sitio; método de distancia a la esquina de la cuadra; imagen satelital con sistema de posicionamiento global (GPS)
Franja de plantación en banqueta (FP)	El árbol está ubicado en una franja de plantación a un lado de la banqueta. Esta franja de plantación puede estar en cualquier parte del espacio de la banqueta (p. ej., entre la banqueta y el cordón de la banqueta, entre la banqueta y la construcción). A las franjas de plantación les caben varios árboles en hilera (aunque solo tengan un árbol) La longitud de una franja de plantación por lo general es de por lo menos 3.05 m (10 pies), aunque podría haber excepciones o distintas descripciones de tamaño en algunas ciudades.	Dirección y código del sitio; método de distancia a la esquina de la cuadra; imagen satelital con GPS

**Tabla 13 (continúa)—Categorías de tipo de sitio con notas de manejo y métodos recomendados para registrar ubicaciones. Se pueden tomar coordenadas de GPS, usar fotos y etiquetas de identificación en todos los tipos de sitio.**

<b>Categoría (código)</b>	<b>Descripción</b>	<b>Métodos recomendados para registrar la ubicación</b>
Camellón (C)	El árbol está ubicado en un espacio de plantación en el centro de la calle entre los carriles de circulación. Incluye camellones al centro de la calle, rotondas y cepas triangulares.	Dirección y código del sitio; método de distancia a la esquina de la cuadra; imagen satelital con GPS; mapa del sitio del paisaje
Jardinera (J)	El árbol está ubicado en una jardinera elevada.	Dirección y código del sitio; método de distancia a la esquina de la cuadra; imagen satelital con GPS
Otras áreas duras (OAD)	El árbol está ubicado en un área dura que no es una banqueta o camellón, como en cepas en estacionamiento.	Imagen de satélite con GPS, distancia y orientación hacia objetos de referencia, mapas del sitio del paisaje
<b>Árboles en jardines con mantenimiento, área con vegetación</b>		
Las plantaciones y remociones de árboles en estos tipos de sitio están dominados por los seres humanos.		
Jardín frontal (JF)	El árbol está ubicado en el jardín al frente de un edificio (en el lado de la calle del edificio). Esto incluye jardines laterales (aunque algunos estudios podrían registrar los jardines laterales por separado). Los jardines frontales por lo general están asociados con inmuebles residenciales pero también podrían asociarse con otros tipos de uso del suelo.	Distancia y orientación hacia objetos de referencia, mapas de sitio del paisaje; imagen satelital con GPS
Jardín trasero (JT)	El árbol está ubicado detrás de una construcción. Los jardines traseros por lo general están asociados con inmuebles residenciales, pero también podrían estar en la parte trasera de otros tipos de uso del suelo.	Distancia y orientación hacia objetos de referencia, mapas de sitio del paisaje; imagen satelital con GPS
Parque con mantenimiento (PM)	El árbol está ubicado en un parque con mantenimiento o lugar similar a un parque, como un parque municipal, campus escolar o cementerio. Esta categoría es específicamente para árboles en prados y otras áreas con vegetación; los árboles de parques ubicados en áreas duras pertenecen a la categoría de "otras áreas duras con mantenimiento". Nota: parque con mantenimiento es un tipo de sitio y uso del suelo.	Distancia y orientación hacia objetos de referencia, mapas de sitio del paisaje
Otra área con vegetación con mantenimiento (OM)	El árbol está ubicado en un área con vegetación no descrita por las categorías de jardín y parque con mantenimiento. Se debe usar esta categoría con moderación.	Distancia y orientación hacia objetos de referencia, mapas de sitio del paisaje
<b>Árboles en áreas naturales</b>		
Las adiciones y remociones de árboles para este tipo de sitio por lo general son naturales (p. ej., regeneración y muerte naturales en el lugar).		
Área natural (NAT)	El árbol está ubicado en un parque natural, área de espacio abierto o lote baldío con vegetación que tiene mínima intervención humana. Esto incluye parches de bosques remanentes y otras áreas naturales o sin mantenimiento, sin importar el tipo de inmueble (p. ej., aquí se incluyen pedazos de bosque en un inmueble residencial o institucional). Las áreas naturales incluyen bosques, praderas, zonas forestales y otros hábitats naturales o con manejo mínimo. Algunos supervisores de proyecto podrían decidir separar los diversos tipos de hábitats naturales pertinentes (p. ej., bosque contra pradera). Nota: área natural es tanto un uso del suelo como un tipo de sitio.	Distancia y orientación hacia objetos de referencia

Nótese que “área natural” y “parque con mantenimiento” son tipos de sitio y usos del suelo. Un árbol ubicado en uno de estos tipos de sitio no tendrá automáticamente el mismo uso del suelo y viceversa. Tomando ejemplos de la *Guía de campo* (Tabla 8), considérese un árbol en un prado con vegetación de un centro recreativo municipal. Ese árbol tendría “parque con mantenimiento” para tipo de sitio y uso del suelo. Ahora considérese un árbol ubicado en el prado con vegetación de un complejo de hospitales. Ese árbol tendría como tipo de sitio “parque con mantenimiento” y como uso del suelo “institucional”. Aunque algunos protocolos de inventarios de arbolado urbano combinan el sitio y las características del inmueble en un “uso del suelo” variable (p. ej. iTree 2017a), se recomienda mantener separados el tipo de sitio y uso del suelo porque describen distintas características, es decir, el entorno de crecimiento inmediato del árbol contra la forma en que usan el inmueble los seres humanos.

## 2.5. Consideraciones de la base de datos longitudinal

---

Un administrador o ingeniero de base de datos puede ayudar a asegurar que el diseño de la base de datos sea propicio para los objetivos de monitoreo.

---

Aunque hay pautas generales para organizar hojas de cálculo y bases de datos (ver la sección 2.1.18), aquí se analizan algunas consideraciones específicas para los datos longitudinales del arbolado urbano: seleccionar un identificador de registro del árbol adecuado, claves primaria y única, elegir la estructura de datos vertical u horizontal y llevar registro de los sitios de plantación y árboles de reemplazo.

Ver más pautas sobre claves y estructura de base de datos en Boyer et al. (2016), que incluye un modelo de datos propuesto para monitoreo de árboles urbanos, o ver referencias más generales sobre el diseño de bases de datos relacionales y hojas de cálculo (p. ej., Broman y Woo 2018, Harrington 2009, Hernández 2013). Los supervisores de proyectos también podrían querer consultar a un administrador o ingeniero de base de datos para asegurar que el diseño de la base de datos sea propicio para los objetivos de monitoreo, puesto que apenas se ha hecho una mención superficial aquí sobre diseño y administración de base de datos.

### 2.5.1. Selección de claves primarias y únicas

En el diseño de bases de datos, las claves permiten a los usuarios identificar, clasificar y acceder a la información. Aquí se habla de dos tipos de claves: claves únicas y claves primarias.

Una clave única (CU) también llamada restricción única, define la particularidad de la entidad que se está almacenando en el registro. Por ejemplo, en bases de datos de información de seres humanos, cada persona debe tener una identificación particular, como el número de licencia de conductor o número de empleado. Por lo tanto, con las bases de datos de árboles urbanos, el registro de cada árbol debe tener un identificador de registro particular que permanece con ese árbol (y solamente ese árbol) durante el monitoreo futuro. En el conjunto de datos mínimos, el identificador de registro del árbol es un ejemplo de una clave única (ver la sección 2.3 de la *Guía de campo*). Ver ejemplos de identificadores de registro de árboles en la Figura 2. Una clave única se puede derivar de una etiqueta de árbol (cuando la hay) o registros de plantación. Para proyectos de monitoreo de la cohorte, la clave usada para definir la particularidad de un árbol determinado podría vincularse a los registros de plantación. Puede haber varias claves únicas definidas en una tabla. Por ejemplo, un árbol de la vía monitoreado como parte de un inventario municipal podría tener, además de un identificador de registro del árbol por el arborista de la ciudad, uno designado por una organización externa que da mantenimiento a los árboles (p. ej., un contratista).

---

En el diseño de bases de datos, las claves permiten a los usuarios identificar, clasificar y acceder a la información.

---



**Figura 2—**(A) Etiqueta de árbol en la Universidad de Pensilvania en Filadelfia, PA. La esquina inferior derecha de la etiqueta tiene un identificador de registro del árbol que refleja una celda de una cuadrícula que corresponde a un mapa de un campus y un número de árbol dentro de la celda de la cuadrícula. Foto de J.P. Fristensky, usada con permiso. (B) Árbol de la vía con etiqueta prendida, plantado por *University City Green*, Filadelfia, PA. Aquí el identificador de registro del árbol es el número de identificación usado en el vivero. Foto de L.A. Roman, Servicio Forestal del USDA. (C) Mapa del sitio de inventario para *Casey Trees* en Washington, D.C. El identificador de registro del árbol es una secuencia numérica de árboles en esta área específica. Imagen de J.R. Sanders, usada con permiso.

Podría ser valioso llevar registro de ambos identificadores de registro de árboles para permitir intersectarlos en las bases de datos de ambas organizaciones. Algo más a considerar es que una o más columnas o campos pueden formar una clave única. Se puede formar una clave única de manera compuesta con dos o más campos (p. ej., el número de árbol, número de sitio o año de observación), siempre que la combinación sea única. En consecuencia, una clave única puede abarcar varias columnas. Algunos usuarios podrían elegir combinar los campos que forman una clave única en una nueva columna y designar eso como la clave única. En los ejemplos a continuación, se designan claves únicas que abarcan varias columnas resaltando los nombres en gris oscuro.

Se recomienda que el identificador de registro del árbol, como clave única para un individuo arbóreo, solo se debe usar para ese árbol específico y, cuando se muera o remueva un árbol, ese identificador se debe discontinuar para evitar confusiones en el futuro con un árbol nuevo en la misma ubicación.

Una clave principal es uno de los datos más fundamentales para llevar registro de individuos arbóreos a lo largo del tiempo y es esencial para manejar datos longitudinales. La clave principal es un valor único para cada registro en la base de datos, independientemente de lo que representa el registro (Harrington 2009, Hernández 2013). Dos registros de árboles no pueden tener la misma clave principal, o se puede usar una (y solamente una) clave en una tabla. Las claves principales no deben tener valores nulos, es decir, todos los registros deben tener una clave principal. Solamente puede haber una columna de clave principal para una tabla determinada, mientras que puede haber muchas columnas de claves únicas definidas en una tabla. En la práctica, una clave principal identifica la fila de una base de datos y por lo tanto no debe estar repetida ni cambiar dentro de la base de datos. La clave principal también sirve para unir tablas dentro de la estructura de una base de datos relacional de la manera más fácil y robusta posible. Las bases de datos relacionales contienen varias tablas y la clave principal permite que se vinculen esas tablas. Las claves principales deben ser algo que no cambie nunca (o casi nunca) (Silberschatz *et al.* 2011). En los ejemplos a continuación, las claves principales están resaltadas en gris claro.

Una **clave externa** es una columna o grupo de columnas en una tabla que suministran un vínculo entre los datos de la misma tabla (en este caso una clave externa repetitiva) o dos tablas diferentes. Una clave externa hace referencia a la clave principal de otra tabla y con ello suministra el vínculo entre las tablas. Esto es de utilidad particular en tablas de formato largo para vincularlas con visitas anteriores y árboles de reemplazo.

Aunque las claves principal y única podrían sonar bastante similares, son muy distintas. En la práctica, las claves únicas a menudo (aunque no siempre) se producen usando atributos que tienen algún significado natural en el sistema, reflejando valores o secuencias de números que tienen cierta relevancia. Por ejemplo, en bases de datos de información de seres humanos, los números de licencia de conductor pueden ser claves únicas, o en bases de datos de monitoreo de árboles urbanos para llevar registro de cohortes, la secuencia numérica de una etiqueta de vivero podría ser la clave única (y, por ende, el identificador de registro del árbol). En contraste, las claves principales a menudo (aunque no siempre) se producen dentro de la base de datos y no tienen mayor relevancia o significado fuera de la base de datos (Larsen 2011). Consultar en Harrington (2009), Hernández (2013), Larsen (2011) y Silberschatz *et al.* (2011) más acerca de diseño y claves de bases de datos.

---

Una clave principal es uno de los datos más importantes para manejar datos longitudinales.

---



---

Las claves únicas a menudo reflejan atributos que son significativos o naturales en el sistema, mientras que las claves principales por lo general son números de registro que no tienen significado más profundo fuera de la base de datos.

---

## 2.5.2. Estructura de datos vertical contra horizontal

---

Los datos con formato vertical y horizontal son dos opciones para organizar la estructura de una base de datos u hoja de cálculo que contiene datos longitudinales.

---

Los datos longitudinales se pueden presentar en formato horizontal o vertical (Long 2012). Los **datos en formato vertical**, también conocido como datos en pila, tienen el mismo árbol representado a través de varias filas y cada observación recibe su propia fila (Tabla 14). En la Tabla 14, *Reg\_id* es un número generado por una secuencia y representa la clave principal. La clave única está formada por *Árbol\_id* y *Año*. La combinación de estas dos debe ser única. En formato vertical, aunque solo hay un árbol etiquetado *Árbol\_id #23*, el mismo árbol puede estar repetido en varios registros porque se registró más de una medida (p. ej., *Árbol\_id #23* se midió en 2010 y luego en 2015). Se podrían usar restricciones o lógica de validación de datos para aplicar las claves únicas y reducir los errores al mínimo. Por ejemplo, por instrucciones del administrador, la base de datos podría rechazar valores de *Año* menores de 2010 si no hubo campañas de recolección de datos antes de 2010.

En contraste, para los **datos en formato horizontal**, también conocidos como datos no apilados, *Año* se combina con las variables recolectadas (p. ej., DN) para generar nombres de columnas como DN.cm.2010 y DN.cm.2015 (Tabla 15). Cada árbol está representado por una sola fila y las observaciones a lo largo del tiempo abarcan varias columnas. Como en el formato de datos verticales, la clave principal es un número generado por una secuencia (*Rec\_id*), pero la clave única está compuesta del número de identificación del árbol (*Árbol\_id*) y *Año* en que se hicieron las observaciones. En este ejemplo, *Árbol\_id* sucede para identificar de manera particular el registro en la base de datos (es decir, fila de la tabla) y en teoría podría designarse como la clave principal, pero como quiera se recomienda tener las claves primarias y las claves únicas separadas. Como se mencionó en la sección 2.5.1, en términos generales, las claves primarias por lo general se generan dentro de la base de datos sin relevancia para el mundo real o significado más profundo. Al crear claves principales cuyo valor no tiene significado más profundo, si sucede un error, como por ejemplo un identificador de registro del árbol incorrecto, la clave principal no se corromperá.

**Tabla 14—Ejemplo de datos presentados en formato vertical<sup>a</sup>**

cp	cu		
Reg_id	Árbol_id	Año	DAP.cm
1	23	2010	2.5
2	24	2010	31.2
3	25	2010	3.2
4	23	2015	6.7
5	24	2015	31.5
6	25	2015	3.9

<sup>a</sup> La clave principal (cp) es la identificación de registro (*Reg\_id*) y la clave única (cu) se basa en una combinación de *Árbol\_id* y *Año* y por lo tanto abarca varios campos. Por separado, *Árbol\_id* y *año* no son únicas, pero su combinación sí lo es. Los administradores de bases de datos podrían decidir combinarlas en una columna.

**Tabla 15—Ejemplo de datos presentados en formato horizontal<sup>a</sup>**

cp	cu		
Reg_id	Árbol_id	DAP.cm.2010	DAP.cm.2015
1	23	2.5	3.5
2	24	31.2	31.5
3	25	3.2	3.9

<sup>a</sup> La clave principal (cp) es el número de identificación de registro (Reg\_id) y la clave única (cu) es el número de identificación del árbol. Las medidas de diámetro del tronco se recolectaron en 2010 y 2015.

Entre los gestores de bases de datos, se prefiere el formato vertical al horizontal por diversos motivos. El formato vertical se requiere a menudo para análisis y diagramas avanzados y es idóneo para lenguajes de programación vectorizados como R (R Core Team 2017). Si hay muchas variables o muchos años de datos, el almacenamiento tabular de datos puede llegar a ser difícil de manejar, en especial con el formato horizontal. Cuando se recolectan y registran datos, podría ser favorable pasar de simple software tabular, como Microsoft<sup>®</sup> Excel, a un sistema de base de datos relacional más robusto. Un formato vertical también es más robusto para agregar o remover variables en el protocolo de recolección de datos, como sucede en ocasiones con la evolución de un proyecto de monitoreo a largo plazo. Se debe tomar en cuenta que es posible convertir de formato horizontal a formato vertical y viceversa después de que se recolectaron los datos, siempre que la clave principal se haya conservado para todas las observaciones, resaltando la importancia de que se mantenga la clave principal separada de la clave única. Se puede usar un formato vertical para el conjunto de datos maestros y convertirlos a formato horizontal para recolección o análisis de datos si eso es necesario.

Como se enfatizó al inicio de la sección 2.5, los profesionales de dasonomía urbana que no conocen estos tipos de problemas con las bases de datos, quizá deseen consultar a un experto en bases de datos para asegurarse de que sus datos de monitoreo estén estructurados de la manera más útil para los análisis pretendidos.

### **2.5.3. Registro de sitios de plantación y árboles de reemplazo**

Algunos proyectos podrían decidir llevar registro de árboles y de sitios de plantación, en especial para el monitoreo de árboles en la vía u otras áreas duras para las cuales los sitios de plantación se mantienen relativamente fijas en el espacio. Los sitios de plantación con árboles que se han removido permanecen vacíos o se vuelven a ocupar con un árbol nuevo. Un sitio de plantación puede ser ocupado por distintos árboles a través de los años. Los sitios de plantación vacíos y las tasas de reemplazo podrían interesarle a los gestores e investigadores porque tienen implicaciones para los niveles de existencias y trayectorias de población.

Las Tablas 16 y 17 ilustran cómo llevar registro de sitios de plantación y árboles de reemplazo en datos con formato horizontal y vertical. En ambos ejemplos, Sitio\_id se refiere a un sitio de plantación específico, mientras que Árbol\_id se refiere a un árbol específico.

**Tabla 16—Una tabla de datos en formato horizontal muestra cómo llevar registro de sitios de plantación y de árboles de reemplazo<sup>a</sup>**

cp	cu						
Reg_id	Sitio_id	Árbol_id.2010	DAP.cm.2010	Árbol_id.2015	DAP.cm.2015	Árbol_nuevo.2015	Reemplazado.2015
1	1	23	2.5	59	2.2	Sí	Sí
2	2	24	31.2	24	31.5	No	No
3	3	25	3.2	25	3.9	No	No
4	4	NC	NC	60	2.6	Sí	No

<sup>a</sup> Reg\_id representa la clave principal mientras que la clave única abarca varias columnas y se compone de Sitio\_id y Árbol\_id.2010. Los nombres variables para observaciones y medidas (Árbol\_id, Especie y DAP.cm) se combinan con Año para reflejar cuándo se hicieron las observaciones.

**Tabla 17—Una tabla de datos en formato vertical muestra cómo llevar registro de sitios de plantación y de árboles de reemplazo<sup>a</sup>**

cp	cu					
Reg_id	Sitio_id	Árbol_id	Año	DAP.cm	Árbol_nuevo	reemplazo
1	1	23	2010	2.5	No	No
2	2	24	2010	31.2	No	No
3	3	25	2010	3.2	No	No
4	4	NC	2010	NC	NC	NC
5	1	59	2015	2.2	Sí	Sí
6	2	24	2015	31.5	No	No
7	3	25	2015	3.9	No	No
8	4	60	2015	2.6	Sí	No

<sup>a</sup> Reg\_id representa la clave principal mientras que la clave única abarca varias columnas y se compone de Sitio\_id, Árbol\_id y Año.

En el formato horizontal de datos (Tabla 16) Árbol\_id se registra en columnas separadas cada vez que se observa (p. ej., Árbol\_id.2010 se refiere a árboles registrados en 2010). Si un árbol específico es nuevo en el sitio, se designa “sí” en la columna Árbol nuevo.2015, así como Reg\_id #1 y Reg\_id #4. Los árboles se pueden designar como nuevos ya sea que ocupen un sitio que antes estaba lleno o vacío. Si es necesaria la distinción entre ocupación del sitio, una columna adicional como reemplazo.2015 (Tabla 16) puede aportar más especificidad, como en el siguiente ejemplo. De manera similar, si interesan las plantaciones en sitios de plantación que antes estaban vacíos, se puede agregar una nueva columna para recolectar esa información.

El primer registro (Reg\_id #1) en la Tabla 16 es un ejemplo de un sitio donde se reemplazó un árbol después de la primera visita. Originalmente estaba Árbol\_id #23 en 2010 con DAP de 2.5 cm pero fue reemplazado con un árbol de DAP de 2.2 cm con Árbol\_id #59. Puesto que el árbol era nuevo en el sitio, se agregó en la columna Árbol\_nuevo.2015. Por claridad, se agregó otra columna (reemplazo.2015) para designar que el Árbol\_id #59 reemplazó a un árbol que había ocupado el sitio en la medición anterior; esto permite consultas sencillas para encontrar todos los árboles de reemplazo si interesa la tasa de reemplazo.

La Tabla 16 también ilustra la diferenciación entre sitios y árboles. El cuarto registro (Reg\_id #4) representa un sitio que no tenía un árbol en 2010 (es decir, sitio vacío). Se debe observar en este contexto que sitio vacío se refiere específicamente a un sitio de plantación que no está ocupado, es decir, que no tiene un árbol. En el contexto de los árboles en la vía, a veces a un sitio vacío se le llama una cepa vacía. Puesto que Sitio\_id era una variable en la tabla, la brigada pudo registrar que se visitó Sitio\_id #4 pero no había un árbol presente. Siguiendo las mejores prácticas establecidas por Broman y Woo (2018), en lugar de dejar esas celdas en blanco, se usa “NC” para mostrar que no se dejaron en blanco por accidente. Cuando volvió una brigada en 2015, se observó un árbol en ese sitio (Árbol\_id.2015 #60) y se midió (2.6 cm DAP). De nuevo, por claridad y facilidad de consulta, se agregó una columna (Árbol\_nuevo.2015) para designar que un árbol se observó por primera vez en 2015. Sin Árbol\_nuevo.2015, no sería claro a partir de Reg\_id #4 si se visitó el sitio en 2010 y no se encontró un árbol o si nunca se había visitado el sitio. También se puede agregar una columna para designar sitios vacíos en un año determinado (p. ej., Sitio\_vacío.2010, Sitio\_vacío.2015), si interesa calcular el porcentaje de sitios ocupados o niveles de existencias). Un inconveniente del formato de datos horizontal es que este procedimiento de llevar registro de árboles nuevos es propenso a errores porque la base de datos aumenta con los años de monitoreo sucesivos.

El mismo conjunto de datos en el formato vertical se verá diferente, pero la distinción entre sitio y árbol se mantienen igual (Tabla 17). En lugar de que se formen columnas compuestas por variables recolectadas en un año en particular (p. ej., DAP.cm.2010, DAP.cm.2015), las columnas que contienen la variable (p. ej., DAP.cm) y los años en que se recolectó esa variable forman filas diferentes.

También se pueden organizar los datos en una base de datos relacional. Dividir los datos en una cantidad de tablas relacionadas ofrece algunas ventajas. Los datos solo se almacenan una vez, así que no es necesario hacer cambios en múltiples registros. Las bases de datos relacionales brindan flexibilidad adicional para adiciones futuras, aunque no se estén usando otros registros para los registros adicionales. Por ejemplo, una tabla con información del sitio de plantación puede incluir todos los sitios de plantación posibles, aunque no haya árboles correspondientes en una tabla del árbol. En la Tabla 18, los datos presentados en formato vertical constan de dos subtablas en una base de datos relacional: la tabla principal (Tabla del sitio) describe información del sitio de plantación y la tabla subordinada (Tabla del árbol) describe información del árbol. Puesto que el sitio de plantación y la información de los árboles están en tablas separadas, distintos árboles pueden ocupar el sitio a través de los años. Reg\_id es la clave principal en cada tabla subordinada.

**Tabla 18—Las tablas de datos en formato vertical muestran cómo llevar registro de sitios de plantación y árboles de reemplazo en una base de datos relacional<sup>a</sup>**

**Tabla del sitio**

cp	cu			
Reg_id	Sitio_id	Visita_número	Año	Suelo_prof.cm
10	1	1	2010	50
11	2	1	2010	70
12	3	1	2010	100
13	1	2	2015	45
14	2	2	2015	30
15	3	2	2015	100
16	4	1	2015	40

**Tabla del árbol**

cp	cu		ce		
Reg_id	Sitio_tabla_reg_id <sup>a</sup>	Árbol_id	Árbol_nuevo	Reemplazo_árbol_reg_id	DN.cm
20	10	23	No	NC	2.5
21	11	24	No	NC	31.2
22	12	25	No	NC	3.2
23	13	59	Sí	20	2.2
24	14	24	No	NC	33.0
25	15	25	No	NC	3.9
26	16	60	Sí	NC	2.6

<sup>a</sup> Sitio\_tabla\_reg\_id también es una clave externa (ce). En la Tabla de sitio y la Tabla del árbol, la clave principal (cp) es la id de registro (Reg\_id). En la Tabla del sitio, la clave única (cu) es la combinación de Sitio\_id y Visita\_número. De manera similar, en la Tabla del árbol, la cu es la combinación de Sitio\_tabla\_reg\_id y Árbol\_id. La Tabla del árbol está vinculada a la Tabla del sitio por medio de la clave externa (Sitio\_tabla\_reg\_id). Sitio\_tabla\_reg\_id hace referencia a la clave principal en la Tabla del sitio (Reg\_id, no Sitio\_id).

En la Tabla del sitio, la clave única está compuesta de Sitio\_id y Visita\_número. Sitio\_id y Visita\_número son parte de lo que hace único cada registro. La Tabla del sitio y la Tabla del árbol están vinculadas por una clave externa (Sitio\_tabla\_reg\_id en la Tabla del árbol). Sitio\_tabla\_reg\_id hace referencia a la clave principal en la Tabla del sitio (Reg\_id, no Sitio\_id). En la Tabla del árbol, la clave única está compuesta de Sitio\_tabla\_reg\_id y Árbol\_id.

El registro #12 en la Tabla del sitio (Tabla 18) muestra que el sitio #3 se muestreó en 2010. Puesto que Sitio\_tabla\_reg\_id proporciona el vínculo de la Tabla del árbol a la Tabla del sitio, se puede buscar Sitio\_tabla\_reg\_id #12 para ver si se registraron árboles en el sitio #3. Ciertamente, el registro #22 muestra que se midió el árbol #25. Para buscar la profundidad del suelo del árbol #25, se podría seguir el vínculo Sitio\_tabla\_reg\_id de vuelta al registro #12 en la Tabla del sitio para ver que la profundidad del suelo era de 100 cm. El registro #15 en la Tabla del sitio muestra que en 2015 el sitio #3 se muestreó una vez más. El árbol #25 seguía presente, así que se midió (Reg\_id #25).

Las claves externas aportan el vínculo entre tablas. En la Tabla del árbol, Sitio\_tabla\_reg\_id es una clave externa para el registro de la Tabla del sitio principal. Indica la clave principal en la Tabla del sitio. Por ejemplo, Reg\_id #20 se refiere a Sitio\_id #1 porque la clave externa (Sitio\_tabla\_reg\_id) indica Reg\_id #10 en la Tabla del sitio.

Una clave externa también presenta una forma de llevar registro de los árboles de reemplazo. Por ejemplo, Reg\_id #23 en la Tabla del árbol muestra una anotación para reemplazo\_árbol\_reg\_id (#20). reemplazo\_árbol\_reg\_id es una clave externa que vincula el registro #23 (que tiene la información para el árbol #59) al registro #20 (que tiene la información del árbol #23). En otras palabras, en 2010, la brigada muestreó el sitio #1 y midió un árbol etiquetado Árbol\_id #23, pero en 2015 encontraron un árbol distinto en su lugar, determinaron que era un árbol de reemplazo y lo etiquetaron Árbol\_id #59. El campo reemplazo\_árbol\_reg\_id también ayuda a distinguir entre árboles plantados en sitios vacíos y árboles que reemplazan a otros árboles (es decir, reemplazos). Por ejemplo, el registro #26 de la Tabla del árbol muestra que Árbol\_id #60 es un árbol recién plantado en un lugar nuevo (es decir, no es un árbol de reemplazo) porque solo tiene información para 2015, está incluido en la columna de Nuevo\_árbol y la columna reemplazo\_árbol\_id se mantiene vacía.

## 2.6. Sistema de recolección de datos

Los datos de monitoreo de árboles urbanos tomados en el campo se pueden recolectar con dispositivos móviles o en papel. Hay pros y contras para cada método. A pesar de los avances tecnológicos para efectuar inventarios de árboles con dispositivos móviles, muchos proyectos de monitoreo podrían seguir usando papel por las limitaciones de recursos para adquirir hardware y software o, para proyectos de ciencia ciudadana, la recolección de datos en papel podría hacer más accesible la participación para todos los residentes. No obstante, los inconvenientes de la recolección de datos en papel incluyen la posibilidad de errores de transcripción durante la recolección de datos y la necesidad de copiar o escanear con regularidad las hojas de datos originales como respaldo (Tabla 19). En el apéndice 2 de la *Guía de campo* se proporciona una plantilla de hoja de recolección de datos de las variables mínimas a registrar.

**Tabla 19—Pros y contras de usar la recolección de datos en papel**

Pros	Contras
Método de bajo costo y poca tecnología.	Toma más tiempo respaldar los datos (p. ej., copiar o escanear las hojas de datos contra descargar un archivo electrónico).
Si se utiliza un método de ciencia ciudadana, las hojas de datos en papel pueden ser más cómodas para algunos voluntarios (p. ej., residentes de edad más avanzada o que no tienen teléfonos inteligentes).	La captura de datos en una computadora toma mucho tiempo y presenta la posibilidad de errores de transcripción.
La captura de datos en una computadora podría brindar la oportunidad de que un transcriptor revise todos los datos e indique si hay datos inusuales.	No hay forma de limitar las variables para evitar errores fuera de límites.
Se cuenta con un respaldo impreso de los datos cuando fallan las computadoras.	
Flexibilidad con el flujo de trabajo para las brigadas de campo (es decir, las brigadas que usan sistemas móviles a menudo tienen que anotar un árbol a la vez, pero con el papel, las brigadas pueden medir y registrar toda la información de la ubicación y luego todas las medidas de DAP u otras opciones para maximizar el flujo.	

En Boyer *et al.* (2016) se encuentra una evaluación minuciosa de paquetes de software que podrían ser útiles para el monitoreo de árboles urbanos, incluidos muchos paquetes de recolección de datos móviles. Sin embargo, ninguno de los sistemas evaluados en ese informe servía para la recolección de datos longitudinales y el monitoreo repetido. Desde la publicación de ese informe, dos sistemas de software (OpenTreeMap de Azavea y Urban Forest Cloud de Plan-It Geo) han comenzado a ofrecer opciones para monitoreo de cohortes. Al seleccionar qué software usar para un proyecto de monitoreo, se recomienda evaluar cuidadosamente los requisitos de software y los usuarios potenciales (con Boyer *et al.* 2016 como guía para ambas cuestiones). Las opciones de software existentes evaluadas en ese informe incluyen software de dasonomía urbana patentados, software específico no orientado a la silvicultura patentado y software sin costo y de código abierto. Algunos programas de dasonomía urbana patentados pueden adaptarse para el monitoreo, pero más adaptación implica mayor costo financiero.

Entre los diversos requisitos de un sistema de software de monitoreo, se destacan dos cuestiones: datos de ubicación y administración de datos longitudinales. Los paquetes de software existentes podrían no estar estructurados para registrar datos de ubicación con los métodos descritos en la sección 2.3 o podrían no estar estructurados para permitir el registro de por lo menos dos formas de ubicación, que se recomiendan como forma de tener información de respaldo. También se recomiendan enfáticamente las fotos de individuos arbóreos para la mayoría de los estudios de monitoreo forestal. Sin embargo, vincular fotos a registros de individuos arbóreos y la capacidad de exportar fotos en masa no son funciones incluidas en todos los paquetes de software evaluados en Boyer *et al.* (2016). Además, los paquetes de software disponibles para inventarios de arbolado urbano podrían no ser propicios para el análisis de datos longitudinales. Cuando el software de dasonomía urbana patentado está diseñado para manejar tareas para las brigadas de mantenimiento, nuevos datos de un árbol podrían reemplazar literalmente los datos anteriores para que el usuario vea la información sin conservar los registros longitudinales de manera que permita el cálculo de mortalidad y crecimiento o llevar registro de los reemplazos y nuevas plantaciones. Esos datos en ocasiones podrían seguir existiendo en la base de datos del software, pero podría ser complicado que los gestores accedan a los registros y los conecten a través del tiempo. No obstante, la recolección de datos móviles tiene ventajas, entre otras, eliminar el paso de transcripción de hojas de datos y la posibilidad de permitir que se vinculen fotos a los registros de los árboles. En la Tabla 20 se hace una síntesis de los pros y los contras de usar software móvil de recolección de datos.

## 2.7. Alianzas entre investigadores y profesionales

Para llevar a cabo estudios productivos de monitoreo de árboles urbanos, ayuda tener alianzas sólidas entre investigadores y profesionales. Ambos aportan aptitudes y experiencia esenciales. Los investigadores saben cómo diseñar muestras de estudio, analizar datos con estadísticas rigurosas y conectar esas cuestiones con objetivos claros de investigación, mientras que los profesionales en dasonomía urbana tienen experiencia a fondo en el manejo de sus árboles y pueden generar preguntas e ideas innovadoras para interpretar los resultados. Forjar alianzas entre investigadores y profesionales también puede dar lugar a resultados que sean procesables para los manejadores de bosques urbanos, así como informes internos del programa o presentaciones a profesionales locales, además de artículos en publicaciones revisadas por sus homólogos.

---

Las alianzas de colaboración entre investigadores y profesionales pueden fortalecer los estudios de monitoreo de árboles urbanos.

---

**Tabla 20—Pros y contras de usar software móvil de recolección de datos**

Pros	Contras
Pueden permitir que las brigadas de campo vean ubicaciones de árboles en un mapa o imagen satelital si el dispositivo tiene plan de datos o la capacidad para descargar mapas y datos de ubicación de árboles.	El software, los dispositivos móviles y el acceso a planes de datos podrían ser prohibitivos por su costo.
Las opciones de captura de datos pueden restringirse para cada variable con el fin de evitar errores fuera de límites para las variables continuas y dar un conjunto limitado de opciones para las variables categóricas (p. ej., el DAP no puede exceder 100, las especies y el estado de mortalidad se seleccionan en menús desplegados).	Si se utiliza un método de ciencia ciudadana, las hojas de datos en papel pueden ser más cómodas para algunos voluntarios. El brillo en la pantalla de un dispositivo móvil también puede presentar dificultades en algunas condiciones climáticas.
Podrían permitir que se relacionen fotos con registros de individuos arbóreos en la base de datos.	Podría ser necesario cargar la batería del dispositivo móvil cada noche y llevar una fuente de energía adicional al campo. Además, se deben descargar los datos con frecuencia para evitar pérdidas de datos.
	Pueden requerir planes de datos costosos para que cada dispositivo pueda registrar las coordenadas de mapas y cargar datos.
	Podrían no contar con opciones de exportación masiva de datos y archivos (p. ej., fotos).

Consultar en Campbell *et al.* (2016) un análisis de diversas formas de coproducción de información en la interfaz de investigadores y profesionales de la dasonomía urbana. Los ejemplos de colaboraciones entre investigadores y profesionales para el monitoreo de bosques urbanos incluyen el análisis de supervivencia y crecimiento en iniciativas de plantación de San Francisco, CA (Martin *et al.* 2016), ciudades en Florida (Koeser *et al.* 2014), Indianápolis, IN (Vogt *et al.* 2015a), Sacramento, CA (Ko *et al.* 2015a, Roman *et al.* 2014a,) y East Palo Alto, CA y Filadelfia, PA (Roman *et al.* 2015). Estos estudios han desarrollado la ciencia básica de la supervivencia y crecimiento de árboles urbanos a la vez que producen datos útiles para que los manejadores locales los apliquen a sus programas.

## 3. Manejo del trabajo de campo

### 3.1. Consejos para capacitar brigadas de campo

---

Capacitar y supervisar activamente a las brigadas de campo promueve la calidad de los datos.

---

Cuando los organizadores de un proyecto de monitoreo han solidificado los objetivos del proyecto, han decidido las estrategias de muestreo y recolección de datos y han contratado a las brigadas de campo, es tiempo de capacitar a las brigadas. Con base en la experiencia colectiva de manejo de cientos de brigadas de campo, mientras más tiempo se dedique a la capacitación y a la asistencia técnica durante la temporada de campo, es mayor la probabilidad de que los datos sean más uniformes y haya menos problemas de calidad de los datos. Diseñar y seguir un protocolo de capacitación ayudará a orientar estas labores. Si el tiempo de capacitación es limitado (es decir, se dispone de un día o menos), hay que centrarse en las partes más difíciles como el diámetro del tronco y las especies. Ver agendas y actividades de capacitación de muestra en el apéndice 4.

#### 3.1.1. Capacitación bajo techo

Parte de la capacitación puede suceder bajo techo. Se recomienda hacer énfasis en los siguientes puntos con la capacitación bajo techo.

- **Presentar un resumen de la *Guía de campo* con un enfoque en las secciones más difíciles.** Durante la capacitación, los supervisores pueden presentar un resumen de la guía e ir más a fondo en las secciones más difíciles. No debe suponerse que todos los miembros de la brigada leyeron la *Guía de campo* completa de antemano. Asignar tiempo a repasar algunas subsecciones (quizá incluso leer algunas juntos en voz alta) podría asegurar que todos los miembros de la brigada hayan repasado información importante.
- **Mostrar todo el equipo.** Los aprendices deben familiarizarse con todo el equipo que usarán en el campo (es decir, para qué se usa cada elemento, cómo se llama, qué unidades usar, cuáles son los posibles escollos) y todo el material escrito que tendrán que llevar con ellos al campo (p. ej., guías de campo o fichas de ayuda). Las brigadas deben practicar el uso de este equipo al aire libre, pero primero deben conocer sus herramientas bajo techo. Por ejemplo, las brigadas podrían practicar la medición de los diámetros de sus muñecas entre sí en el aula antes de practicar las mediciones del DAP en los árboles al aire libre. El supervisor puede asegurarse de que todos estén leyendo correctamente la cinta para medir el diámetro (por lo general llamada cinta diamétrica) (ver en las secciones 3.3 y apéndice 4 la actividad “Cintas diamétricas y muñecas”). Esta cinta especializada es la mejor pieza de equipo para medir troncos de 1 pulgada (2.54 cm) o más. Para el equipo electrónico, los aprendices también deben aprender a calibrar equipo electrónico y seguir un protocolo de la frecuencia con que se calibra. Por ejemplo, si se mide la altura de los árboles (ver en la sección 7 las variables del árbol), los hipsómetros deben calibrarse a diario porque dependen de la temperatura ambiente.

- **Actividades de práctica para promover el aprendizaje activo.** El objetivo de esas actividades es ver de antemano el trabajo que harán las brigadas en el campo. Por ejemplo, los aprendices pueden hacer hojas de cálculo de práctica y aprender a registrar la ubicación con dirección y código del sitio, practicar el uso de odómetros para registrar el método de distancia a la esquina de la cuadra o practicar la medición del DAP de sus muñecas entre sí. El supervisor también puede capacitar bajo techo la identificación de especies con imágenes de árboles acompañadas de muestras de hojas, lo cual se complementará con la práctica de identificación de especies al aire libre más adelante. En el apéndice 4 (“Cintas diamétricas y muñecas” y “Examen rápido de dirección y código del sitio”) hay ejemplos de actividades.
- **Hablar de seguridad.** La sesión bajo techo también es un buen momento para hablar de cuestiones de seguridad y protocolos relacionados con la seguridad. Esos protocolos podrían diferir entre organizaciones y ciudades, pero en general deben incluir prácticas seguras para conductores y peatones, todas las amenazas específicas del lugar (p. ej., enfermedades contagiadas por garrapatas, plantas venenosas que podrían causar urticaria) y cómo reportar un incidente. Se debe pedir a los aprendices que firmen los descargos de responsabilidad correspondientes o los formularios de cobertura de seguros. El equipo de seguridad se debe adaptar a la zona donde esté trabajando la brigada. Los chalecos de seguridad de colores brillantes dan visibilidad para el tránsito y pueden hacer que las brigadas tengan un aspecto más oficial para peatones y residentes. Se recomienda el uso de cascos si hay riesgo de que caigan materiales. Los equipos de primeros auxilios se pueden adaptar para que incluyan remedios para situaciones como picaduras de abeja y hiedra venenosa. Los supervisores de proyecto deben seguir hablando de la seguridad con las brigadas de campo durante toda la temporada de campo. Los supervisores también deben enfatizar que no se tolerarán el acoso sexual ni la intimidación. Hay muchos recursos con pautas de seguridad en internet e incluyen los siguientes temas: enfermedad por calor, estrés y seguridad (CDCP NIOSH, n.d. a; NWCG, n.d.; NWS, n.d.), riesgos de conducción (CDCP NIOSH, n.d. b) y equipo de protección personal (USDL OSHA, n.d.).
- **Hablar de cómo interactuar con el público.** El trabajo de campo de dasonomía urbana a menudo implica interacciones con peatones y residentes. En el caso de monitoreo de la cohorte, el trabajo de campo también podría implicar interacciones con residentes que recibieron árboles. Los supervisores deben entrenar a las brigadas de campo en lo que deben decir durante esas interacciones, como explicaciones breves de los objetivos del estudio y con quién se puede comunicar el público para obtener más información. Dicha capacitación para brigadas de campo no solo es importante para mantener las buenas relaciones públicas de las organizaciones que representan las brigadas, sino que también puede ayudar a promover la calidad de los datos. El flujo de trabajo del registro de las medidas de árboles puede perturbarse por las conversaciones con residentes y peatones de modo que es importante tener una estrategia de antemano para abordar esas interacciones de manera amable y eficiente. Podría ser útil contar con un libreto que sigan las brigadas de campo durante esas conversaciones o una hoja informativa para que la distribuyan. Algunos residentes podrían querer consejos para plantar árboles, darles mantenimiento o removerlos, así que las brigadas deben ir preparadas con información de contacto o folletos de programas locales pertinentes. Dyson *et al.* (2019) dan consejos adicionales para hacer investigación en propiedad privada.

---

Las conversaciones sobre la seguridad son parte importante de la capacitación de las brigadas de campo.

---

---

La capacitación de las brigadas de campo debe incluir conversaciones explícitas sobre fuentes de error y cómo responder a errores que se descubran.

---

- **Hablar de las fuentes de error.** Se recomienda tener una conversación explícita con los aprendices sobre posibles fuentes de error. El objeto de esta conversación es exhortar a las brigadas de campo a imaginar formas en las que podrían cometer errores, explicar cómo reducir esos errores y hablar de cómo responder a los errores si se descubren luego de cometerlos. En el apéndice 4 hay un ejemplo de actividad sobre este tema (“Fuentes de error”).

### 3.1.2. Capacitación al aire libre

Una sesión de capacitación al aire libre incluiría poner en práctica lo que se aprendió. Este es un buen momento para asegurarse de que las brigadas se sientan seguras con el equipo y lo usen correctamente. Se recomienda incluir los siguientes puntos en la sesión de capacitación al aire libre:

- **Todos deben practicar hacer observaciones, tomar medidas y registrar datos.** Todos los miembros deben practicar midiendo el mismo grupo de árboles para que se puedan comparar los resultados y analizar las diferencias. A menudo un aprendiz no se da cuenta de las suposiciones que producen errores sistemáticos, así que los miembros de la brigada podrían no prever dónde necesitan ayuda. Los miembros de la brigada deben rotarse los papeles para hacer observaciones, tomar medidas y registrar datos. Hay que asegurarse de que haya uniformidad en las observaciones entre las personas y los equipos. Los datos no necesitan ser idénticos necesariamente para todos los aprendices, pero deben estar dentro de límites razonables para los objetivos del estudio (ver 2.1.13). Por ejemplo, Roman *et al.* (2017) propuso que las medidas del DAP dentro de  $\pm 1$  pulgada (2.54 cm) de las medidas de expertos son adecuadas para la mayoría de las aplicaciones de manejo de bosques urbanos, mientras que una tolerancia de  $\pm 0.1$  pulgadas (0.254 cm) es apropiada para la mayoría de las aplicaciones de investigación. En ese estudio, ciudadanos científicos registraron valores del DAP dentro de  $\pm 1$  pulgada (2.54 cm) de diferencia de las de los expertos en el 93.3 por ciento de los árboles de un solo tallo y dentro de  $\pm 1$  pulgada (0.254 cm) de los expertos en el 54.4 por ciento. Con una capacitación breve y un poco de práctica al aire libre, la mayoría de los pasantes o brigadas de voluntarios deben ser por lo menos uniformes, si no es que mejores. Si los datos de esta sesión de capacitación se registran y dan al supervisor, entonces podrían usarse para hacer gráficas rápidas que ilustren el nivel de acuerdo entre las brigadas (p. ej., para diámetro del tronco y vitalidad de la copa). Un ejercicio así puede demostrar áreas donde los aprendices necesitan más ayuda además de servir como experiencia de aprendizaje sobre de la calidad de los datos.
- **Práctica de decir y repetir los datos recolectados.** Se recomienda que los registradores de datos adquieran el hábito de repetir lo que el medidor diga antes de anotarlos (o capturarlo en un dispositivo móvil). Esto es de especial importancia cuando hay sonidos urbanos fuertes o peatones que distraen. Por ejemplo, una persona que mide un árbol puede decir “DAP de 8.9 cm a los 1.30 m” y el registrador respondería “Escuché 8.9 cm a 1.30 m”. Esto da a la persona que mide la oportunidad de corregir al registrador si es necesario. Este proceso también obliga a quien mide a reducir la velocidad y seguir el ritmo del registrador (ver la descripción de la posible división del trabajo en la sección 3.2).

---

Para mantener la integridad de los datos, quienes los registran deben repetir lo que diga quien mide antes de anotarlos.

---

---

Las estrategias para capacitación en identificación de especies dependerán de las necesidades de calidad de los datos, así como de la experiencia previa de las brigadas de campo.

---

- **Práctica de identificación de especies.** Además de practicar todo el protocolo de recolección de datos en algunos árboles, se podría dedicar tiempo adicional a practicar la identificación de especies. El supervisor podría ir a caminar con la brigada en un vecindario o parque que tenga muchas especies que podrían encontrar durante la temporada de campo. Al encontrarse con una especie que ya se vio, se pide a la brigada que la identifique. ¿Cómo lo saben? ¿Qué características les ayudan a identificarlo? Se refuerzan las características de las hojas, la corteza o los frutos de la especie del árbol que hacen que se distinga de otras especies de aspecto similar. Se llevan todos los recursos portátiles de identificación de árboles y se practica su uso en el campo (ver en el apéndice 2 una lista de recursos de identificación de especies de arbolado urbano). Asegúrese de que las brigadas sepan qué hacer cuando encuentren especies desconocidas, incluso consultar en recursos en internet o impresos, pedir ayuda al supervisor o registrar el árbol como “especie desconocida” (ver la sección 2.8 de la *Guía de campo*). El tiempo necesario para la identificación de especies dependerá del nivel de capacitación previa de la brigada, así como de la importancia de los datos de especies con alta precisión para el proyecto. Si es suficiente la identificación a nivel de género, entonces se necesita dedicar menos tiempo a esta capacitación. Si es fundamental la identificación a nivel de especies, entonces se debe dedicar más tiempo a esta capacitación y el supervisor debe considerar contratar brigadas de expertos o usar fotos para la validación de especies (ver la sección 2.8 de la *Guía de campo* y Roman *et al.* 2017). Para estudios de monitoreo de la cohorte, las brigadas no necesitan conocer todas las especies posibles en un área, sino únicamente el grupo de especies plantadas para esa cohorte; esas brigadas usan datos de especies con definición previa de los registros de plantación para confirmar que están en el árbol correcto, en lugar de identificar una especie determinada “desde cero”.
- **Practicar con la plataforma de recolección de datos prevista.** Ya sea que se usen hojas de datos de papel o un dispositivo móvil, se debe hacer que las brigadas practiquen la recolección de datos con el sistema que usarán durante toda la temporada de campo. Se deben revisar sus anotaciones para asegurarse de que estén registrando los datos correctamente. Hay que conocer las fortalezas de los miembros de la brigada para la captura de datos, de modo que si una persona tiene mejor letra o es más apto para el uso de una aplicación móvil, esa persona podría asumir primero el papel correspondiente (consultar en la sección 3.2 las funciones en la brigada de campo).
- **Dar bastante tiempo para hacer preguntas.** Se debe incluir el tiempo suficiente para que las brigadas hagan preguntas mientras practican la recolección de datos en el campo. No se debe apresurar su tiempo de práctica. Se debe preguntar a los aprendices qué variables les parecieron más difíciles de recolectar y cuáles les parecieron más fáciles; luego se deben practicar o demostrar de nuevo según sea necesario.
- **Proporcionar asistencia técnica en el primer día de recolección de datos.** Los supervisores, líderes de brigada o capacitadores deben acompañar a las brigadas en su primera salida. Ese personal de supervisión debe estar presente para contestar preguntas técnicas rápido y dar orientación, no para recolectar datos por el grupo.

Esta recolección de datos supervisada es de especial importancia para brigadas de campo sin experiencia (p. ej., ciudadanos científicos, pasantes con poco trabajo de campo previo), pero también es importante para brigadas de campo con más experiencia para asegurar que estén siguiendo los protocolos específicos creados para un proyecto de monitoreo particular. En proyectos de monitoreo particularmente orientados a datos de alta calidad, las brigadas de campo podrían ir acompañadas de supervisores o capacitadores durante su primera semana completa de recolección de datos durante una temporada de trabajo de campo.

### 3.2. Consejos para manejar y apoyar a brigadas de campo

El manejo eficaz de brigadas de campo es una función fundamental del supervisor del proyecto. Invertir tiempo y recursos en planificación de más alto nivel puede hacer que las brigadas sean más eficientes con su tiempo en el campo y se sospecha que también lleva a datos de más alta calidad. Se recomienda que consideren los siguientes puntos:

- **Estacionalidad de la recolección de datos.** Se deben considerar los árboles caducos y el tiempo que tardan en brotar las hojas y los cambios de hoja en el otoño, lo cual puede afectar la determinación del estado de mortalidad y la vitalidad de la copa. Si los datos se recolectan demasiado pronto en el año, las hojas podrían no haber brotado por completo todavía, mientras que recolectar datos demasiado tarde podría significar que las hojas ya se están poniendo café. En esas circunstancias, las brigadas podrían no poder distinguir la estacionalidad contra la pérdida de vitalidad. Si el estudio pretende medir cambios de crecimiento y salud a través de los años, entonces se deben llevar a cabo mediciones aproximadamente en la misma época del año y por lo general después de que hayan terminado de crecer las hojas para ese año. Los cálculos conservadores del tiempo que tomarán las investigaciones de campo son preferibles porque seguir en la temporada siguiente podría no ser adecuado. Se debe planificar de antemano calculando la duración del trabajo de campo con base en el tiempo por árbol y el transporte para asegurar que las encuestas de campo se puedan hacer en la temporada deseada (ver la sección 2.1.5).
- **Planificar la ruta día a día.** Se deben planificar minuciosamente las rutas de transporte cada día para el trabajo de campo disperso por una ciudad. Esto hará que los días sean mucho más eficientes y permitirá que las brigadas cuenten más árboles cada día (ver la sección 2.1.5). Se necesitarán rutas diferentes según el medio de transporte (p. ej., auto, transporte público, bicicletas). Las rutas de transporte deben incluir la secuencia óptima de árboles o parcelas a visitar, así como direcciones entre sitios. Las brigadas de campo o el supervisor de proyectos deben asignar tiempo de oficina para planificar sus rutas de transporte (p. ej. usar Google Maps). Para las ciudades con problemas de tránsito particularmente pesado, se debe considerar programar que el trabajo de campo comience antes de la hora pico de la mañana o usar bicicletas o transporte público en lugar de autos. Para árboles de jardines residenciales, se debe considerar el trabajo de campo en las noches o los fines de semana, cuando sea más probable que los residentes estén en casa y den acceso (y se ajusten los tiempos de transporte esperados según corresponda).
- **Incluir la frecuencia de la transferencia de datos y respaldos en el protocolo de administración de la brigada de campo.** Si se registran datos en papel en el campo, se deben capturar los datos a diario (idealmente) o como mínimo cada semana. Con la captura frecuente de datos se puede resolver cualquier discrepancia o confusión mientras el sitio está claro en el recuerdo de la brigada o puede ser posible volver a ir al sitio. Cuando las hojas están completas, deben quedar en un lugar seguro en la oficina en lugar de hacer que la brigada continúe llevándolas al campo.

---

La planificación cuidadosa de rutas de transporte de la brigada de campo puede dar lugar a una recolección de datos más eficaz.

---

Hacer escaneos como respaldo. Los respaldos diarios son preferibles para el registro de datos electrónicos. Cambiar el nombre al archivo al día en que se descargó, en caso de que archivos futuros estén corruptos y haya la necesidad de revertir al último archivo funcional de datos. Si los datos registrados se cargan automáticamente a un sistema de nube, el supervisor debe asegurarse de que los datos capturados estén completos.

- **Hacer que el registrador de datos coteje contra las medidas anteriores.** Si se están volviendo a medir árboles, es de utilidad para el registrador tener las medidas anteriores para cotejarlas cuando haya confusión acerca de un árbol y para identificar errores (van Doorn 2014) mientras estén todavía en el campo donde puedan corregirse (ver “Crear un protocolo de control de calidad” más adelante). Para esto será necesario tener medidas anteriores disponibles como referencia ya sea en papel o electrónicamente. Por ejemplo, un escenario donde la brigada está midiendo un árbol que se midió 5 años antes. El registrador debe conocer la información de ubicación y especies y también debe tener la foto del árbol (si está disponible) como ayuda para encontrar el mismo individuo arbóreo. La persona que mida el árbol no debe conocer todos los datos anteriores como diámetro del tronco y vitalidad de la copa para que no haya prejuicios en la medición en curso. Sin embargo, para asegurar que se mida correctamente el DAP justo en el mismo punto en el tronco, el registrador necesitará decir a quien mida qué altura se usó con los datos anteriores.
- **Hacer reuniones con las brigadas de campo con regularidad.** El supervisor y los miembros de las brigadas de campo deben reunirse con regularidad para hablar de los avances y resolver todos los problemas que hayan surgido. Los temas por tratar incluyen dificultades con el equipo, resolver especies desconocidas, compartir anécdotas de interacciones con el público y reiterar protocolos de seguridad. Idealmente, esas reuniones del equipo deben ser cada semana y juntarse con otro trabajo de oficina para las brigadas, como escanear hojas de datos y planificar rutas de transporte para la siguiente semana.
- **Optimizar los tamaños de las brigadas según las personas disponibles y las necesidades de datos.** Aunque podría parecer que tener más miembros de brigada es mejor, en cierto punto un tamaño grande de la brigada es ineficiente. El principal factor limitante es la velocidad del registrador, porque con demasiadas personas tomando medidas y pasando datos se puede dar lugar a errores o problemas de comunicación.
  - **Una brigada de dos personas.** Por lo general, la unidad mínima de brigada cómoda es de un registrador y una persona que mida. Además de la eficiencia de dos pares de manos para llevar el dispositivo de registro y las herramientas de medición, este tamaño de brigada da la oportunidad de una revisión de control de calidad sin prejuicios. Una brigada de dos personas también tiene beneficios por motivos de seguridad en caso de una emergencia o lesión. Además, las evaluaciones de la copa (p. ej., vitalidad de la copa) se benefician de tener dos pares de ojos inspeccionando y promediando los resultados y el diámetro del tronco se beneficia de las mediciones cuidadosas del diámetro del tronco y de la altura al punto de medición, que requieren de dos pares de manos.

---

Las reuniones periódicas de las brigadas de campo con el supervisor son importantes para manejar la logística, analizar problemas, resolver problemas con los datos y reiterar procedimientos de seguridad.

---

Tener una brigada pequeña podría significar que el registrador espere datos para capturarlos, aunque es posible que el registrador se haga cargo de otras tareas, como fotografiar el árbol. El registrador también debe implementar protocolos de control de calidad en el campo, pedir repetición de medidas cuando sea necesario (ver más adelante en esta sección el punto con consejos para establecer un protocolo de control de calidad).

- **Una brigada de tres personas.** La ventaja de tener un miembro adicional en la brigada es que el registrador se mantiene ocupado con el flujo de datos. Esto también significa que el registrador tiene más datos que considerar rápidamente y debe estar muy organizado y preparado para establecer el tiempo de captura de datos a un ritmo productivo, pero no apresurado. Ayuda a hacer que los recolectores de datos ocupen el lugar de registro para que sepan a qué ritmo dictar datos y en qué orden (p. ej., estado de mortalidad primero, luego vitalidad de la copa, luego diámetro del tronco o el flujo que parezca funcionar mejor para ese proyecto). Si es posible, los recolectores de datos deben alinear todos los datos para un árbol y dictar la información mientras tengan la atención completa del registrador. Luego el registrador puede dirigir su atención al siguiente árbol. De manera alternativa, la tercera persona puede hacerse cargo de tareas que requieran mínima interacción con el registrador, como fotografiar el árbol y ayudar con el DAP. La tercera persona también podría estar a cargo principalmente de hablar con los residentes, para dejar que las otras dos personas se mantengan concentradas en los datos. Una tercera persona también sería de especial utilidad si se están recolectando datos complementarios (secciones 7, 8, 9, 10).
- **Una brigada de cuatro (o más) personas.** Una brigada sí puede ser demasiado grande. En algunos casos, es mejor dividirla en varios grupos e inventariar parcelas o árboles en paralelo. Sin embargo, dependiendo de las capacidades e intereses individuales, podría ser conveniente tener una brigada de cuatro personas. Los miembros de una brigada de cuatro podrían ir juntos en auto a un vecindario y tener parcelas o segmentos de vías preasignados cerca unos de otros, de manera que trabajen en paralelo, pero próximos. También podrían ser adecuadas cuatro personas si el monitoreo se combina con otro trabajo de mantenimiento de árboles en el campo. Con el monitoreo de la cohorte, la organización de plantación local podría desear que las brigadas de campo hablen sobre el cuidado de los árboles con los residentes o hacer tareas básicas de mantenimiento de árboles junto con la recolección de datos (Roman *et al.* 2018b). En una brigada con cuatro personas, dos de ellas podrían hacer la recolección y anotación de los datos mientras que otras dos podrían concentrarse en los cuidados de los árboles e interactuar con los residentes.
- **Crear un protocolo de control de calidad.** El control de calidad es un sistema para mantener un estándar de calidad de los datos verificando una muestra de los datos recolectados contra las especificaciones. El objetivo de un protocolo de control de calidad es proporcionar un conjunto de pasos tangibles que ayudan a reducir errores no aleatorios. Hay diferentes incrementos de tiempo a lo largo del proceso de recolección de datos que pueden servir como verificaciones de la calidad de los datos. Muchos de los puntos de los que se habla a continuación se basan en la experiencia de científicos del *Hubbard Brook Experimental Forest* (en las Montañas Blancas de New Hampshire) que han recolectado y administrado datos de árboles durante décadas.

Aunque estas sugerencias provienen de proyectos de monitoreo de investigadores y alumnos de posgrado, con datos orientados al análisis académico y publicaciones científicas, también podrían ser valiosas estas sugerencias para los silvicultores urbanos de municipios y organizaciones sin fines de lucro.

- **Cada día:** antes de irse de una vía, parcela u otra zona de muestreo, un miembro de la brigada debe revisar que se hayan llenado todos los campos de la hoja de datos y que se hayan registrado todos los árboles. Por ejemplo, al registrar todos los árboles de la vía en una cuadra de la ciudad, las brigadas deben volver y contar cuántos árboles había en esa cuadra, como una forma de verificar que no les hayan faltado árboles o hayan contado dos veces algún árbol (Roman *et al.* 2017). Se puede aplicar una estrategia similar a las parcelas.
- **Cada semana:** el supervisor debe dedicar tiempo a atender las notas para revisión del supervisor (ver la sección 2.13 de la *Guía de campo*) en los datos recolectados, ya sea cada día, cada semana o cada dos semanas. No se debe dejar esta tarea para el final de la temporada de campo. Es más eficiente revisar los problemas cuando los datos están frescos en la memoria de la brigada.
- **Cada temporada:** el supervisor debe hacer revisiones al principio de la temporada de campo, de preferencia durante la primera semana, para darse cuenta de errores importantes. Por ejemplo, las brigadas podrían tener problemas específicos de identificación errónea de especies o cometer errores reiteradamente con el equipo (p. ej., leer la cinta al revés; ver la sección 2.12.2 de la *Guía de campo*). Darse cuenta pronto de esos errores permite a las brigadas mejorar su trabajo y podría dar tiempo para volver a recolectar información de árboles o parcelas con datos inexactos. Se debe tener contacto con las brigadas periódicamente a lo largo de la temporada de campo para asegurarse de que sigan recolectando datos de alta calidad. Los programas FIA y UFIA proporcionan protocolos (USDA FS 2016, 2017) sobre revisiones de calidad de los datos, con expertos y brigadas muy experimentadas que revisan datos recolectados por silvicultores profesionales de temporada. No obstante, es importante recordar que estas son brigadas de campo profesionales con niveles de recursos que podrían estar fuera de lo que pueden proporcionar programas de dasonomía urbana con recursos limitados.
- **Umbral de valor de datos:** antes de que inicie el proyecto, el supervisor debe establecer umbrales de aceptabilidad para lo que es un nivel aceptable de un cambio en las mediciones previas que distinguirían un cambio biológico de una equivocación (van Doorn 014). Para medidas cuantitativas como el DAP, esto puede ser un porcentaje o cantidad por encima o por debajo del DAP (ver la sección 2.1.13). Si se lee una medida fuera de ese umbral, el registrador pediría que se repita la medición, sin revelar el problema. Se registra la siguiente medición, sin importar si es mayor o menor que la primera medición para no introducir un perjuicio. Se puede aplicar la misma estrategia a evaluaciones cualitativas como la vitalidad de la copa. El supervisor puede establecer umbrales como un cambio de vitalidad de dos clases de los datos previos.

---

El control de calidad es un sistema para mantener un estándar de calidad de los datos verificando una muestra de los datos recolectados contra las especificaciones.

---

Por ejemplo, en el *Hubbard Brook Experimental Forest*, el protocolo pide que el registrador vea la calificación de vitalidad registrada en la investigación anterior para asegurarse de que la vitalidad actual de árbol no se registra erróneamente como vivo cuando se haya registrado previamente como muerto (ver el análisis de “árboles zombis” en la sección 2.1.16). Además, todo cambio de dos clases en la vitalidad de la copa, en cualquier dirección, requiere una evaluación repetida porque a veces se inspecciona la copa del árbol equivocado.

- **Dedicar tiempo al manejo activo del proyecto.** Supervisar brigadas de campo no es trabajo secundario. Los encargados del programa que asuman responsabilidades de supervisión de brigada deben estar conscientes de que el trabajo empieza de 2 a 4 semanas antes de que comiencen las brigadas y termina de 2 a 4 semanas después de que las brigadas terminan (si no es que más) por el tiempo que toma preparar y organizar la temporada de campo. Para asegurar que las brigadas de campo puedan dar el uso más productivo a su tiempo y recolectar datos abundantes, el supervisor del proyecto debe tener un plan claro para toda la temporada. Esto incluye preparaciones para las actividades de capacitación. Durante la temporada de campo, el supervisor tendrá que pasar tiempo considerable comunicándose con la brigada y contestando preguntas, atendiendo notas para revisión del supervisor y en reuniones de control periódicas con la brigada. Contratar un supervisor temporal del equipo de campo por el verano puede permitir al personal del programa continuar con el trabajo que hacen con regularidad. Por ejemplo, los alumnos de posgrado con años de experiencia en campo podrían ser el supervisor temporal mientras que los alumnos de pregrado son los pasantes de la brigada de campo. Para equilibrar los costos financieros, podría ser necesario contratar menos pasantes para la brigada de campo y que pueda haber un supervisor temporal. Los programas con recursos limitados deben estar conscientes de que si un miembro del personal permanente habitual asume la tarea de supervisar a las brigadas de campo, esa persona deberá tener cargas de trabajo reducidas en otras áreas.
- **Consideraciones adicionales para proyectos de ciencia ciudadana.** Los proyectos de monitoreo de árboles urbanos iniciados por profesionales en dasonomía urbana en ocasiones emplean a ciudadanos científicos para el trabajo de campo (Roman *et al.* 2013). Hay consideraciones adicionales para manejar de manera eficaz a esas brigadas de campo con voluntarios. Como son brigadas sin sueldo, es fundamental asegurar que se valore su tiempo y que la experiencia de recolección de datos sea significativa, de manera que se sientan animados a ofrecerse como voluntarios de nuevo. Con el monitoreo de árboles urbanos, los días de trabajo en campo podrían organizarse como “fiestas de cartografía” de 1 día, en las que los voluntarios reciban una capacitación rápida en monitoreo seguida de recolección de datos en parcelas preasignadas. Este método ha sido usado en la ciudad de Nueva York, NY (Silva *et al.* 2013). En otro ejemplo, los eventos de cartografía en Portland, Oregon, incluyen arboristas que circulan en bicicleta para ofrecer ayuda con la identificación de especies y otra solución de problemas (di Salvo 2016). Para monitoreo de la cohorte, la recolección de datos puede hacerse en conjunto con el mantenimiento de los árboles o conversaciones con residentes acerca de la custodia. Si ese es el caso, entonces los voluntarios necesitarán capacitación adicional sobre cómo abordar esas conversaciones con residentes y cómo llevar a cabo el mantenimiento correspondiente.

---

Supervisar brigadas de campo  
no es una tarea secundaria.

---

Por ejemplo, los voluntarios de la sociedad Hortícola de Pensilvania, en Filadelfia, PA, tocan a las puertas cuando hacen monitoreo de árboles urbanos para hablar del riego correcto, aplicación de mantillo y técnicas de colocación de estacas con los residentes que solicitaron árboles (Roman *et al.* 2018b). Luego, los voluntarios dejan “boletas de calificaciones” a los residentes en las que anotan si se aplicaron correctamente las técnicas de mantenimiento. Al trabajar con ciudadanos científicos, es importante dar reconocimiento a los voluntarios que dedican tiempo considerable al proyecto de monitoreo agradeciéndoles en boletines de noticias o con ceremonias de premiación. Si se usa una aplicación móvil, el proyecto de ciencia ciudadana podría asumir métodos lúdicos, mediante los cuales los voluntarios ganen insignias u otras recompensas divertidas por sus servicios (Bowser *et al.* 2014, Crown *et al.* 2018). En el sitio web de Ciencia ciudadana federal y Caja de herramientas para colaboración abierta (citizenscience.gov) hay recursos adicionales para diseñar e implementar proyectos de ciencia ciudadana exitosos. Algunos ejemplos publicados de proyectos de ciencia ciudadana en dasonomía urbana (que incluyen problemas de calidad de datos), son Roman *et al.* (2017), Bancks *et al.* (2018), Crown *et al.* (2018), Hallett y Hallett (2018), Hamilton *et al.* (2018) y Roman *et al.* (2018b).

### 3.3. Sugerencias de equipo de campo

En la *Guía de campo* (apéndice 3) se incluye una lista del equipo para recolectar el conjunto de datos mínimos. Las decisiones de equipo específico diferirán según las necesidades del proyecto con base en el tamaño de los árboles que se miden, el contexto social del área de estudio (es decir, árboles privados frente a públicos) y los recursos financieros del estudio. Se recomienda hablar con otros líderes de proyecto para recopilar ideas de qué equipo usar según los objetivos y el presupuesto de monitoreo. Más adelante se incluyen consideraciones para medir el DAP (de las variables mínimas a registrar) así como altura total del árbol y ancho de la copa (de los datos del árbol).

- **Sobre medición del diámetro del tronco.** Como se mencionó antes, la cinta diamétrica es la herramienta más común para medir el diámetro del tronco en la ecología forestal. Esta herramienta forestal especializada tiene unidades regulares en un lado, que se pueden usar para medir la circunferencia, y unidades de diámetro en el otro lado. Esto usa la fórmula clásica de geometría:  $\text{circunferencia} = \text{diámetro} * \pi$ . Sin embargo, no todos los proyectos de inventario y monitoreo forestal urbano usan la cinta diamétrica. Cuando los árboles que se miden son bastante pequeños -menos de 1 pulgada (2.54 cm) de DAP -las **forcípulas** de ingeniería son más adecuadas (en particular las digitales). Rodear con la cinta diamétrica un árbol muy pequeño es bastante complicado y hay que sostener la cinta en ángulo para leer el valor. Las forcípulas también pueden ser adecuadas para troncos sin obstrucciones (es decir, amarres de entutorado, enredaderas) que dificultarían rodear el tronco con una cinta diamétrica. Además, hay muchos tipos de cinta diamétrica a la venta, de diversos materiales (p. ej., tela, acero inoxidable) y anchos de cinta. Para árboles de mayor diámetro, hay cinta diamétrica con ganchos de sujeción en el extremo, de manera que se pueden situar los ganchos en la corteza mientras una persona envuelve con la cinta el árbol, lo cual permite que una persona mida un árbol grande sin ayuda (p. ej., cintas de tela o acero de 6.1 cm o 20 pies de largo, cintas de leñador de uso pesado de más de 15.24 m o 50 pies). La cinta diamétrica de tela (en lugar de la de acero inoxidable) puede ser más fácil para rodear árboles de pequeños a medianos.

---

La cinta diamétrica es la herramienta más común para medir el diámetro del tronco en la ecología forestal.

---

Sin embargo, cuando las brigadas usan cintas diamétricas, tienen que ser cuidadosos para no estirar la tela; la cinta diamétrica debe colocarse al ras sobre la corteza alrededor del tronco, pero no ajustada. Los supervisores del proyecto deben asegurarse de que las cintas diamétricas usadas previamente no se hayan estirado tanto como para ser imprecisas. Para árboles más pequeños (pero de más de 1 pulgada o 2.54 cm de DAP), hay cintas diamétricas de bolsillo más delgadas (p. ej., cintas delgadas de 1.83 m o 6 pies). Notablemente, las varas de Biltmore (una herramienta forestal para medición aproximada del DAP), no son propicias para una remediación precisa del DAP. Asimismo, las cintas diamétricas o las forcípulas con resolución aproximada (p. ej., las unidades que se muestran solo incluyen 0.5 pulgada) son inadecuadas para proyectos que pretenden medir el DAP a través del tiempo; la resolución de esos dispositivos de medición no es lo suficientemente fina para reflejar el crecimiento relativamente lento de los troncos de los árboles. Para proyectos que usan unidades habituales de EE.UU., se recomiendan cintas diamétricas que tengan unidades en pulgadas y décimas de pulgada. Para proyectos que usen unidades métricas, se recomiendan cintas diamétricas con centímetros y milímetros (ver la sección 2.1.10)

Además del DAP, los protocolos en la *Guía de campo* piden que se registre la altura a la que se midió el diámetro (ver *Guía de campo*, sección 2.12.1). Aunque esa altura podría tomarse con el lado de las unidades regulares de la cinta diamétrica, por lo general es más fácil tener una pieza de equipo diferente únicamente para medir esa altura. Se recomienda una cinta de medir rígida calidad contratista (similar a las cintas de medir que muchas personas tienen para uso en el hogar) o una vara de altura cortada a la medida a 1.37 m (4.5 pies) de un material como el PVC. Sin embargo, si se usa una vara de altura cortada a la medida, sería necesario que tenga marcas para otras alturas, para situaciones en las que se mida el diámetro más abajo o más arriba de 1.37 m (4.5 pies). Si se usan unidades comunes de EE. UU. las marcas podrían estar a cada décimo de pie (y no en graduaciones de pies y pulgadas). También se podría usar una vara de altura manual (en ocasiones llamada mira) para medir la altura hasta el punto del DAP. Cualquiera que sea la herramienta de medir que se use para determinar la altura hasta el punto del DAP, siempre se deben anotar las unidades de medida en la base de datos definitiva.

Las brigadas **no** deben usar “altura al pecho” de su cuerpo como referencia de altura, aunque algunas brigadas puedan estar familiarizadas con este método por cursos y experiencias de campo previas. Ese método puede ser aceptable cuando se necesiten medidas aproximadas de DAP (p. ej., registrar el DAP dentro de un rango de clase de tamaño de varias pulgadas), pero no es adecuado para el DAP cuando se pretende tomar medidas de crecimiento repetidas.

- **Sobre la medición de la altura del árbol.** Las opciones de herramientas para medir la altura total del árbol incluyen una vara de altura manual (también llamada varilla telescópica o mira), el clinómetro usado en conjunto con cinta de medir y el hipsómetro con láser digital. La selección del equipo dependerá de la altura general de los árboles. Para árboles pequeños (<7.6 m o 25 pies) se recomienda una vara de altura, porque las brigadas pueden ver claramente a dónde llega la parte alta del árbol en la vara. Los clinómetros o hipsómetros digitales son más adecuados para árboles de tamaño medio a alto, y ese equipo tiene diversas opciones de costo y precisión.

- **Sobre la medición del ancho de la copa.** Las opciones para medir el ancho de la copa incluyen cinta de medir de contratista u hogar e hipsómetros láser digitales. Para los árboles pequeños, una cinta de medir es fácil de usar y bastante adecuada. Cuando la copa del árbol es lo suficientemente grande para que la cinta de medir sea difícil de manejar, los dispositivos electrónicos como los hipsómetros son preferibles. Ver más información acerca de opciones para registrar el ancho de la copa en los datos del árbol (sección 7).
- **Usar las mismas herramientas de medición con todas las brigadas a lo largo del tiempo.** Para la uniformidad, es importante que todas las brigadas usen el mismo equipo y las mismas unidades de medida. Los proyectos iniciados en unidades comunes de EE. UU. deben mantenerse en esas unidades a través de años de monitoreo sucesivos, e igual para unidades métricas. Las remediciones para estudios del crecimiento, en particular, requieren el uso del mismo equipo que en la recolección previa de datos. Si es inevitable mezclar equipo (p. ej., usar equipo prestado de distintos colaboradores debido a los costos limitados, medir árboles muy pequeños con varas de altura manuales y algunos árboles muy altos con hipsómetros), es importante asegurarse de calibrarlo. En otras palabras, mida los mismos árboles con ambas piezas de equipo para asegurarse de que las diferencias entre ambos estén dentro de un margen de error razonable.

---

Es importante que todas las brigadas usen el mismo equipo y las mismas unidades de medida.

---

## 4. Conclusión

En esta *Guía de recursos* se han descrito técnicas de diseño e implementación de proyectos de monitoreo de árboles urbanos en el campo. El punto principal es que se necesita planificación avanzada para asegurar que los proyectos de monitoreo transcurran sin tropiezos con recolección de datos bien organizada y producir hallazgos que en última instancia sean útiles para los objetivos del proyecto. Las secciones restantes de esta *Guía de Recursos* abordan los antecedentes de la selección de las variables para el conjunto de datos mínimos, las variables a considerar para proyectos que van más allá de las variables mínimas a registrar, así como diversa documentación de apoyo relacionada con el monitoreo de árboles urbanos (p. ej., recursos para identificación de especies, glosario, actividades para capacitación). Colectivamente, esos recursos deben permitir que se adapten los proyectos con diversos objetivos y niveles de experiencia del personal. Aunque la recolección de datos de arbolado urbano a largo plazo es un área relativamente reciente de estudio académico y de manejo de recursos, se pueden aprovechar las largas tradiciones de monitoreo de árboles en ecosistemas rurales y aprender de las experiencias de investigadores y profesionales que han sido pioneros del monitoreo de árboles en zonas urbanas.

---

## **Parte II: Conjuntos de datos para el monitoreo de árboles urbanos**

---

## 5. Estructura de los conjuntos de datos

Se organizaron los protocolos de monitoreo dentro de un conjunto de datos mínimos a registrar y cuatro conjuntos de datos complementarios. Esta estructura permite a los profesionales e investigadores de dasonomía urbana adaptarlos a sus propias necesidades según los objetivos y la capacidad organizacional del proyecto de monitoreo. Consulte en la sección 1.4.3 ejemplos de protocolos en acción con adaptación a objetivos de monitoreo locales.

Los conjuntos de datos están organizados así:

- **Conjunto de datos mínimos:** las variables básicas necesarias para cualquier proyecto de monitoreo de árboles urbanos incluyen la identificación de las brigadas de campo, nivel de experiencia de las brigadas, especies, ubicación, tipo de sitio, uso del suelo, estado de mortalidad, vitalidad de la copa y diámetro del tronco (sección 6).
- **Datos del árbol:** tamaño, crecimiento y salud del árbol, incluida la altura total, el ancho de la copa, la presencia de plagas y enfermedades y tareas de mantenimiento. Incluye variables relacionadas con el manejo de árboles maduros (sección 7).
- **Datos del sitio:** las características del sitio que rodea al árbol, incluido el sitio de plantación, entorno construido y suelos (Urban 2008) (sección 8).
- **Datos del manejo de árboles juveniles.** Prácticas recomendadas dirigidas a las organizaciones locales sobre el cuidado de árboles, y acciones de corresponsabilidad observadas en el campo, además de información acerca de los programas e instituciones que plantan y cuidan árboles (sección 9).
- **Datos de la comunidad.** Información socioeconómica acerca de la comunidad que se encuentra en las cercanías al árbol, extraída de bases de datos existentes (p. ej., Oficina del Censo de EE. UU.) para variables que incluyen ingreso medio, valor de la vivienda y densidad de población. Los datos de la comunidad no requieren trabajo de campo adicional pero sí requieren personal con conocimientos especializados en SIG (Sistemas de Información Geográfica) (sección 10).

La *Guía de campo* únicamente ofrece protocolos detallados para el registro del conjunto de datos mínimos. La *Guía de recursos* proporciona listas de variables para cada uno de los cinco conjuntos de datos con descripciones generales, pero sin protocolos de campo detallados; en lugar de eso, se proporcionan citas de otros recursos para los lectores interesados en incorporar esas variables a su proyecto. También se facilitan explicaciones de la razón por la cual se seleccionaron algunos de los métodos en el conjunto de datos mínimos.

Para la mayoría de los gestores de bosques urbanos e incluso muchos estudios de investigación, el conjunto de datos mínimos debería ser suficiente para cumplir los objetivos del programa de monitoreo, como evaluar el desempeño en términos de mortalidad y crecimiento o llevar registro de los cambios en los conteos totales de las poblaciones de árboles.

Como se enfatizó en la sección 1.3, se insta a quienes diseñan estudios de monitoreo, a ser precavidos cuando añadan otras variables. Se debe tener la certeza de que cada variable recolectada tiene un uso intencional, que los métodos coinciden con los objetivos del proyecto de monitoreo y que las brigadas de campo tienen la capacitación y las aptitudes adecuadas para llevar a cabo tareas de recolección de datos.

Además, las variables incluidas en cada conjunto de datos no incluyen todas las variables posibles que podrían recolectarse al monitorear árboles urbanos. Se recomienda a quienes estén interesados en establecer estudios de monitoreo con trabajo de campo intenso, en particular para variables de árboles y de sitios, explorar los demás protocolos de inventario y monitoreo de árboles que se incluyen en el apéndice 3.

Para cada uno de los conjuntos de datos se incluyen posibles objetivos de estudios de monitoreo que podrían lograrse al usar ese conjunto de datos (o partes de ellos). También se clasificaron los conjuntos de datos en categorías para representar distintos grados de dificultad, lo cual permite la adaptación de los protocolos según los niveles de habilidad de la brigada de campo y los recursos disponibles, en términos de tiempo de la brigada y procesamiento posterior al trabajo de campo.

- **Nivel 0: básicos.** Estos son los datos más fáciles de recolectar y las brigadas con mínima capacitación los pueden obtener en campo. En proyectos que usan voluntarios y pasantes con poca capacitación, se recomienda usar solamente el conjunto de datos mínimos.
- **Nivel 1: moderados.** Estos son datos de campo más extensos, con una serie de variables del árbol, del sitio y del manejo de árboles juveniles, además de las variables mínimas a registrar. Los pasantes y voluntarios podrían recolectar estos datos, pero se requiere capacitación más a fondo de la brigada de campo y el registro requiere más tiempo en cada árbol.
- **Nivel 2: difíciles.** Esta recolección de datos de campo avanzada requiere personas con experiencia previa y equipo especializado. Estas opciones implican más conocimientos de fondo que las opciones de básicos y moderados, pero su registro no necesariamente toma más tiempo en campo.
- **Nivel 3: expertos.** Esta recolección de datos requiere de capacitación a nivel de expertos y análisis en áreas de especialidad, como el manejo de árboles de riesgo, pruebas de suelos y ciencias sociales. Para algunos componentes también se requiere el procesamiento de datos y análisis estadístico fuera del trabajo de campo. Se recomienda que este nivel de recolección de datos se lleve a cabo en colaboración con expertos, como científicos, investigadores o arboristas certificados.

Puesto que los datos de la comunidad no implican trabajo de campo, no se tienen categorías para ese conjunto de datos; no obstante, requiere acceder a información socioeconómica de bases de datos existentes y por lo tanto están organizados según las fuentes (p. ej., Oficina del Censo de EE. UU., datos de delincuencia local).

## 6. Conjunto de datos mínimos

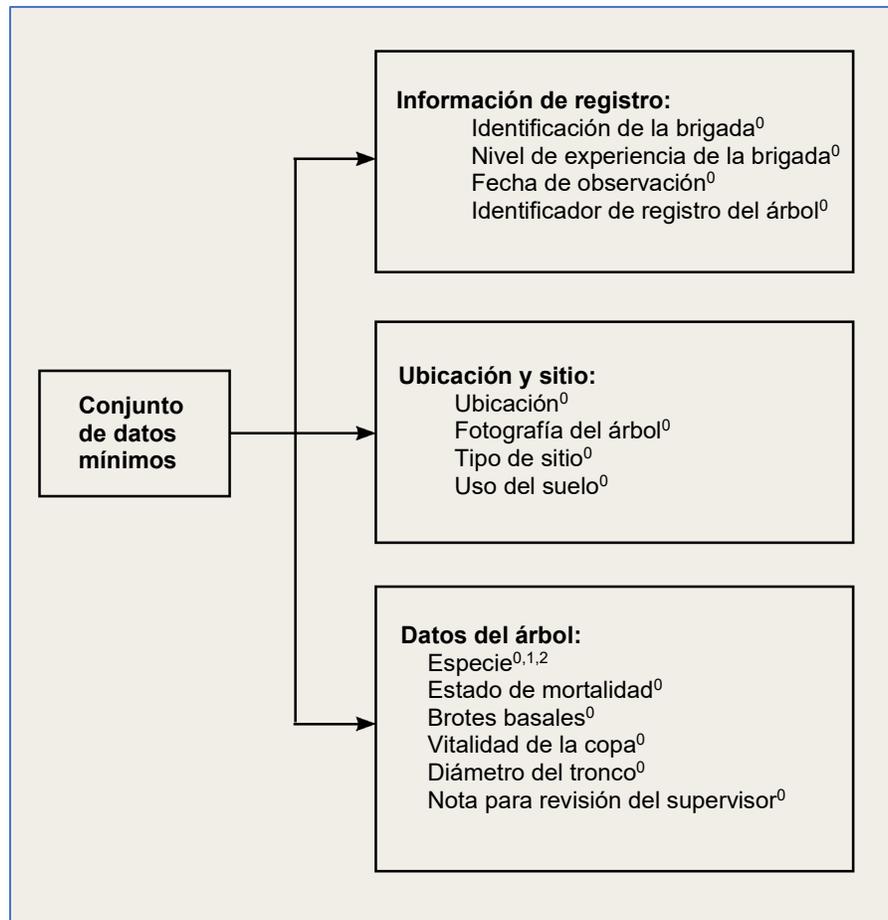
El conjunto de datos mínimos permite a los profesionales e investigadores tener acceso a información de mortalidad, crecimiento y salud de árboles urbanos. Específicamente, los objetivos del conjunto de datos mínimos son proporcionar información para permitir a los usuarios:

- Ubicar de manera confiable los árboles para trabajo de campo futuro con diferentes brigadas de campo.
- Identificar e investigar errores relacionados con la recolección de datos de campo y llevar a cabo control y aseguramiento de la calidad.
- Informar tasas de supervivencia y mortalidad y crear curvas por tiempo desde la plantación (estudios de monitoreo de la cohorte) o por clase de tamaño del DAP (estudios de censo repetidos).
- Informar las tasas de crecimiento del DAP.
- Informar cambios en el follaje a través del tiempo.
- Analizar posibles factores de riesgo para crecimiento y mortalidad, que están incluidos en el conjunto de datos mínimos:
  - Edad (tiempo desde que se plantó) o clase de tamaño (DAP)
  - Especie
  - Vitalidad de la copa
  - Tipo de sitio
  - Uso del suelo

Los estudios que usan el conjunto de datos mínimos también pueden conectarse con otra información que no requiere trabajo de campo adicional pero que puede usarse para análisis estadísticos de resultados de mortalidad, crecimiento y salud:

- Grupos de especies (p. ej., niveles de tolerancia a sequías o inundaciones, nativos versus exóticos, tamaño de árbol maduro, según lo determinado por publicaciones y hojas de datos sobre árboles urbanos).
- Características socioeconómicas del vecindario (p. ej., datos del censo de EE. UU., datos de la comunidad, ver la sección 10).

En la *Guía de campo* se proporcionan protocolos detallados para las variables mínimas, las cuales se muestran en la Figura 3. En la *Guía de campo* se proporciona la justificación para la inclusión de cada variable en las variables mínimas (sección 2). Más adelante se incluyen breves descripciones de cada variable además de una explicación adicional respecto a cómo se decidieron los protocolos específicos para el estado de mortalidad, vitalidad de la copa y diámetro del tronco.



**Figura 3**—Datos en las variables mínimas a registrar. Los superíndices representan niveles (ver la sección 5), donde más de uno indica que brigadas con más aptitudes o equipo podrían obtener mejores datos.

## 6.1. Información de registro básica

### 6.1.1. Identificación de las brigadas

Descripción: la identificación de las brigadas es la información sobre las personas que recolectaron datos de campo sobre un árbol. Se pueden usar nombres, iniciales o números de equipo de las brigadas, pero deben ser consistentes dentro de un proyecto determinado.

### 6.1.2. Nivel de experiencia de las brigadas

Descripción: el nivel de experiencia de la persona más experimentada en la brigada que recolectó datos sobre ese árbol.

### 6.1.3. Fecha de la observación

Descripción: fecha (año, mes, día) de la recolección de los datos de campo.

### 6.1.4. Registro del identificador del árbol

Descripción: cada árbol debe tener un código de identificación único que permanece asociado al árbol durante su monitoreo a futuro. Para proyectos que llevan registro de árboles plantados recientemente, el identificador deberá estar vinculado a los registros de plantación.

## 6.2. Ubicación y sitio

### 6.2.1. Ubicación

Descripción: información sobre la posición geográfica del árbol en el paisaje, utilizada para ubicar al árbol en monitoreos futuros y para vincularlo con otros conjuntos de datos geoespaciales. En la *Guía de campo* (sección 2.4) y en la *Guía de recursos* (sección 2.3) se analizan distintas opciones de métodos de ubicación de árboles.

### 6.2.2. Foto del árbol

Descripción: se toma una fotografía para mostrar el árbol completo en el contexto de su ubicación y que muestre los objetos e infraestructura construida en el paisaje, con la intención de ayudar a las brigadas futuras a encontrar el mismo árbol de manera confiable.

### 6.2.3. Tipo de sitio

Descripción: el tipo de sitio es una descripción del lugar donde se ubica el árbol. Las categorías asignadas reflejan la información sobre el área circundante inmediata al árbol y ayuda a tener un control sobre los árboles plantados y los árboles removidos (manejados por el hombre versus naturales).

### 6.2.4. Uso del suelo

Descripción: el uso del suelo es una descripción sobre la manera en que las personas utilizan la propiedad circundante o adyacente al árbol. El uso del suelo es distinto al tipo de sitio, aun cuando las dos variables están relacionadas y exista algo de traslape en sus definiciones, particularmente con parques y áreas naturales. El uso del suelo se refiere a su uso a nivel de la propiedad, no al área inmediata circundante al árbol.

## 6.3. Datos del árbol

### 6.3.1. Especie

Descripción: registra las especies de los árboles utilizando los nombres científicos estándar, incluyendo tanto el género como el epíteto específico o los códigos de las especies. Al usar códigos se recomienda emplear los códigos del programa del Inventario y Análisis del Bosque Urbano del Servicio Forestal de los EE. UU. (USDA Forest Service 2017). Estos códigos consisten en las primeras dos letras del género y del epíteto. Por ejemplo, el maple rojo debe registrarse como *Acer rubrum* o el código de especie ACRU. Las brigadas con menos aptitudes para identificar especies podrían registrar únicamente información del género o la especie más común (Roman *et al.* 2017).

### 6.3.2. Estado de mortalidad

Descripción: en el estado de mortalidad se registra si el árbol está vivo, muerto en pie, retirado o en algún otro estado.

### 6.3.3. Brotes basales

Descripción: los brotes basales, a veces llamados retoños o brotes de agua, crecen de yemas que se encuentran en la base del tallo o en las raíces de un árbol. Los brotes basales pueden indicar que el sistema radicular sigue vivo en un tocón o árbol casi muerto en pie. Se registra “presentes” si hay brotes basales o “ausentes” si no los hay. En la sección 2.1.17 se incluye un análisis respecto a la decisión del uso intencional de esta variable.

### 6.3.4. Vitalidad de la copa

Descripción: se clasifica en cinco clases basadas en la examinación visual de la salud de la copa. Es una evaluación integral de la salud general de la copa y refleja la proporción que tiene problemas en el follaje y pérdida significativa de ramas. Se debe tomar en cuenta que la vitalidad de la copa no incluye evaluar la condición del tronco ni la estabilidad estructural.

### 6.3.5. Diámetro del tronco

Descripción: el diámetro del tronco se registra ya sea como diámetro a la altura del pecho (DAP) o como diámetro medido a la base (DMB), según las características del árbol: el DAP se mide a 1.37 m (4.5 pies) sobre el suelo y el DMB a 30.5 cm (1 pie) sobre el suelo. Mientras que el DAP es la manera estándar en que los ecólogos forestales y la mayoría de los dasonomos urbanos miden el tamaño del tronco, el DMB es una manera común de reportar los tamaños en el inventario de plantas de vivero. Las mediciones para el diámetro del tronco incluyen el diámetro en sí y la altura a la que se midió. Los protocolos en la *Guía de campo* también tienen instrucciones específicas para medir árboles polifurcados (ver la sección 2.12.4 de la *Guía de campo* y la sección 6.5 a continuación, además de Magarik *et al.* 2020). Se debe tomar en cuenta que, aunque se recomienda registrar el diámetro, algunos proyectos podrían preferir realizar el registro de la circunferencia y esta se debe indicar en la recolección de datos para que se puedan hacer las conversiones necesarias durante el procesamiento de datos.

### 6.3.6. Notas para revisión del supervisor

Descripción: este es un espacio para anotar las dificultades con la identificación de especies, estado de mortalidad, medición del diámetro del tronco u otras variables. Al escribir una nota aquí se marca este árbol para que sea revisado por el supervisor del proyecto.

## 6.4. Contexto del estado de mortalidad

Aunque la mortalidad podría parecer una variable a registrar bastante obvia, ha causado algo de confusión en investigaciones de dasonomía urbana y se ha definido de distintas formas. Como se indica en la sección 1.1.1, la definición de mortalidad incluye árboles que se observan muertos en pie y los que han sido removidos. Eso coincide con docenas de estudios previos sobre mortalidad de árboles urbanos (Hilbert *et al.* 2019). Sin embargo, incluso cuando la mortalidad refleja una combinación de árboles que mueren en pie y los que se remueven, es de utilidad registrar estas diferencias. Las categorías que se especifican para el estado de mortalidad son: vivo, muerto en pie, tocón, removido, nunca se plantó y se desconoce (ver la sección 2.9 de la *Guía de campo*).

El fundamento para estas categorías refleja consideraciones tanto de gestión como aplicaciones en la investigación. Para efectos de manejo, los árboles muertos en pie requieren seguimiento para removerlos y los árboles grandes muertos en pie pueden crear riesgos para la seguridad de los seres humanos y daños materiales.

Usando una justificación similar, se incluye tocón como una categoría dentro del estado de mortalidad; los gestores podrían querer saber dónde están ubicados los tocones para que los trabajadores puedan triturarlos posteriormente. Registrar árboles muertos en pie como categoría independiente a la de los árboles removidos, también tiene valor para los estudios de investigación. Por ejemplo, en un estudio de monitoreo de arbolado en vialidades, de múltiples edades en Oakland, California, se registró la mortalidad de los árboles anualmente durante 5 años (Roman *et al.* 2014b). Se llevó registro de las transiciones en la población de árboles en la vía, en términos de árboles nuevos, árboles moribundos y remociones. La proporción promedio de árboles observados muertos en pie fue del 1.7 por ciento. Sin embargo, muchos de esos árboles persistieron a través del tiempo, permaneciendo muertos en el sitio en lugar de ser removidos: de los árboles muertos en pie observados en un año determinado, en promedio 56.7 por ciento se removieron para el siguiente año. Estos descubrimientos indican la falta de cuidados de seguimiento para manejar remociones de árboles muertos en el área de estudio.

La categoría de “nunca se plantó” dentro del estado de mortalidad se creó para estudios de plantación coetánea, en reconocimiento de programas de dasonomía urbana que funcionan con donación de árboles (Nguyen *et al.* 2017). Esos programas distribuyen árboles comúnmente a residentes, que a su vez son responsables de plantarlos. Sin embargo, no todos los árboles distribuidos serán plantados por los residentes en sus jardines. Por ejemplo, en un programa de donación de árboles para jardines en Sacramento, CA, el 15.1 por ciento de los árboles distribuidos no fueron plantados (Roman *et al.* 2014a). Aunque no plantar los árboles y la mortalidad después de plantarlos son ambos problemas para el programa, son fenómenos distintos con causas posiblemente diferentes. La categoría “nunca se plantó” en el estado de mortalidad permite que las brigadas de campo lleven registro de este resultado. Para los programas de donación de árboles que solamente usan datos de campo puede ser difícil distinguir entre ejemplares que los residentes nunca plantaron y los árboles que fueron plantados y se removieron posteriormente. Podrían ser necesarias conversaciones con los residentes para determinar qué sucedió con los árboles “faltantes”.

Aunque la categoría de “nunca se plantó” es necesaria para el monitoreo de plantaciones coetáneas derivadas de los programas de donación de árboles para jardines, también puede ser importante con el fin de llevar el registro de programas de plantación de árboles de la vía. Los registros que se realizan al momento de la plantación dentro de estos programas podrían contener erróneamente árboles que no fueron plantados por un motivo u otro (Roman *et al.* 2018b), como el rechazo de último minuto del propietario de un terreno adyacente o la existencia inesperada de infraestructura subterránea de servicios públicos.

Finalmente, se incorpora la categoría “se desconoce” dentro del estado de mortalidad debido a los casos inusuales que pueden surgir en el monitoreo de árboles urbanos. Esto incluye situaciones de “árboles zombis” comentadas en la sección 2.1.16, así como todos los casos en los que hay confusión con la ubicación para encontrar el árbol a partir de los registros de línea base. Aunque las brigadas de campo en raras ocasiones clasificarán un árbol en la categoría de “se desconoce”, se tiene como opción para capturar esas situaciones excepcionales y que los supervisores del proyecto puedan resolverlas más adelante.

## 6.5. Contexto de la vitalidad de la copa

Hay diversas opciones para registrar la salud y condición de los árboles urbanos, muchas de las cuales se reseñan en Bond (2010). Otros protocolos para evaluar la salud de los árboles que se han aplicado en áreas urbanas incluyen a Bond (2012), Östberg *et al.* (2013), Pontius y Hallett (2014) y Vogt y Fischer (2014). Muchos métodos para la evaluación visual de la salud, el estado y la vitalidad de los árboles requieren de conocimientos previos sobre el desempeño de diferentes especies en la región de estudio. Este método es difícil de poner en práctica para muchas brigadas de campo conformadas por pasantes y voluntarios, así que se buscó un medio para evaluar al árbol que requiriera menos experiencia previa.

Para el conjunto de datos mínimos, se utilizó la variable de vitalidad de la copa con base en Pontius y Hallett (2014), que a su vez tiene como base protocolos utilizados para el *North American Maple Project* (NAMP) (Millers *et al.* 1991, Steinman 1998,) y se usó para estudiar el decaimiento regional del arce de azúcar (Hallett *et al.* 2006). Aunque esta variable no se probó en el estudio piloto de la *Guía de campo*, se evaluó por separado en un estudio de la calidad de los datos de inventario de arbolado urbano en alumnos de preparatoria (Hallett y Hallett 2018) que mostró que las brigadas de alumnos coincidieron en un 56 por ciento con una clase de vitalidad de la copa que fueron registradas en las brigadas de expertos y en un 92 por ciento con dos clases de vitalidad. En un análisis de datos del monitoreo de árboles plantados recientemente, el registro de la vitalidad por parte de los voluntarios coincidió con una clase de la vitalidad registrada por los pasantes con 90 por ciento de los árboles (Roman *et al.* 2018). Notablemente, el estudio de Hallett y Hallett (2018) también registró la decoloración y la defoliación por separado, lo cual podría ser de interés para algunos estudios de monitoreo de árboles que buscan datos más profundos de tendencias de salud de los árboles para detectar respuesta al estrés y declinación a través del tiempo. Este método se ha utilizado para estudiar la respuesta de los árboles de la vía al estrés ocasionado por las inundaciones con agua salada, que se registraron durante el huracán Sandy en la ciudad de Nueva York, NY (Hallett *et al.* 2018).

Los lectores de esta guía podrían preferir uno de los otros protocolos para evaluar visualmente la salud del arbolado urbano citados en el primer párrafo de esta sección, en vez de la vitalidad de la copa que se define en la *Guía de campo*. Cualquiera que sea el método elegido, se recomienda enfáticamente usar variables de salud, condición, muerte regresiva y vitalidad con definiciones claras que distingan entre las clases. También se aconseja dejar que las evaluaciones sobre el estado de la madera, la estabilidad estructural y las necesidades de mantenimiento o poda las realicen arboristas certificados o expertos equiparables, con base en los hallazgos de Bloniarz y Ryan (1996), Cozad (2005) y Roman *et al.* (2017). Para una mayor orientación sobre variables específicas para la salud del árbol y el estado de la madera consultar los datos del árbol (sección 7).

Es importante señalar que todos los métodos para evaluar la salud, el estado, la muerte regresiva y la vitalidad están diseñados para árboles caducifolios o de hoja perenne por lo general de climas templados. Sin embargo, las ciudades en climas tropicales, subtropicales o mediterráneas a menudo también tienen palmeras como parte de sus bosques urbanos. Una publicación reciente brinda orientación sobre un método de evaluación visual de la salud de las palmeras (Blair *et al.* 2019).

## 6.6. Contexto del diámetro del tronco

Aunque el DAP es un componente básico de casi todos los métodos de inventario y monitoreo de árboles (Bond 2013, Östberg *et al.* 2013, Roman *et al.* 2013), se ha descubierto que muchos profesionales en dasonomía urbana registran el DAP de una manera que no es adecuada para evaluar el crecimiento del árbol a través del tiempo. Específicamente, el diámetro a menudo se registra a la pulgada (2.54 cm) más cercana y no se indica la altura a la que se midió. Este método es adecuado para inventarios que se usan con fines de manejo, como usar el DAP para hacer órdenes de trabajo para remoción de árboles o hacer gráficas básicas de la distribución de clases diamétricas. Sin embargo, esos datos aproximados del DAP imposibilitan el análisis del crecimiento del tronco y se necesitan datos más precisos para la estimación de servicios ecosistémicos como la captura de carbono. Vale la pena hacer hincapié en que, aunque la altura predeterminada para la medición del DAP es de 1.37 m (4.5 pies) en Estados Unidos y es la altura especificada en la *Guía de campo*, la altura de medición real utilizada para cada individuo arbóreo puede diferir por la forma del árbol y las irregularidades del tronco (ver “Consideraciones especiales” para el DAP, sección 2.12.3 en la *Guía de campo*).

La variación en la altura real al momento de la medición del DAP lleva a los investigadores de ecología forestal a emplear estrategias para asegurar que las mediciones futuras de individuos arbóreos se hagan a la misma altura. Una estrategia es usar una vara cortada a la medida de 1.37 m (4.5 pies) (van Doorn 2014) para que las brigadas futuras coloquen la cinta diamétrica en el mismo punto exacto del árbol. Las parcelas permanentes en investigación de ecología forestal a veces marcan el punto de medición del DAP con pintura, marcadores permanentes, clavos de aluminio o crayones (Condit 1998, USDA FS 2017a). Sin embargo, los gestores de bosques urbanos quizá no deseen clavar o pintar los árboles, porque esas técnicas podrían considerarse desagradables estéticamente o molestas para los residentes. Las soluciones temporales como la tiza podrían ayudar en el proceso de registrar la altura del punto de medición del DAP (Magarik *et al.* 2020), mientras que soluciones más duraderas como el marcador permanente pueden permanecer de una temporada a otra. Incluso sin marcar el árbol, si las brigadas miden cuidadosamente la altura del punto de medición del DAP, es posible medirlo de nuevo en el mismo punto en años futuros, permitiendo que se evalúe el crecimiento.

Además, los árboles son por lo general organismos de lento crecimiento, así que para medir con precisión el crecimiento del tronco es necesario medir el DAP al milímetro más cercano (o, si se usa el sistema inglés, al décimo de pulgada más cercano), que es la norma en ecología forestal para las parcelas de muestreo. Este mismo método se puede aplicar a los árboles urbanos, que es el motivo por el cual los protocolos en la *Guía de campo* indican que se mida al milímetro (o décimo de pulgada) más cercano. Por ejemplo, la combinación de mediciones al milímetro más cercano y los registros de la altura de medición exacta del DAP permitieron a Roman *et al.* (2015) documentar las tasas de crecimiento anual de árboles plantados recientemente en Filadelfia, PA: los *Quercus palustris* crecieron 1.9 cm (0.75 pulgadas) por año, mientras que los *Acer rubrum* crecieron 1.1 cm (0.43 pulgadas) por año. Se tomaron medidas iniciales 1 mes después de la plantación y los árboles se volvieron a medir después de 6 años.

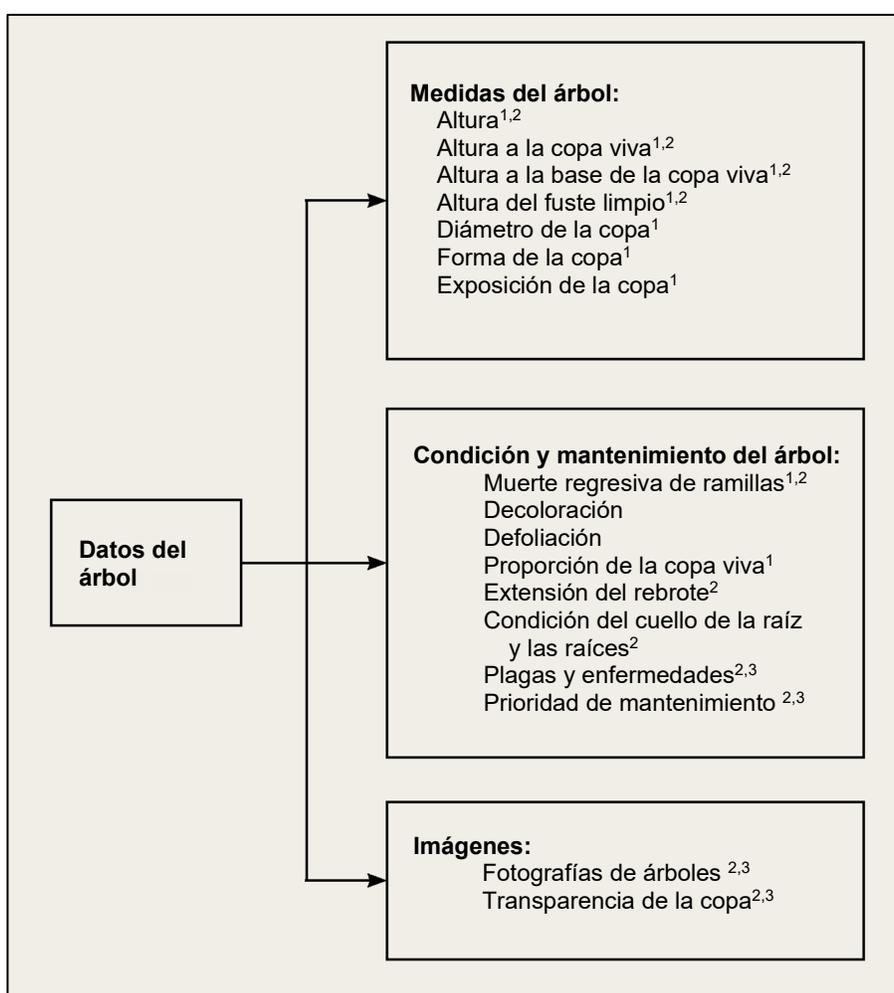
Los árboles que se bifurcan por debajo de 1.37 m (4.5 pies) (a menudo denominados árboles polifurcados) crean desafíos particulares para medir el DAP. El tratamiento de árboles polifurcados en la *Guía de campo* tiene como base las lecciones aprendidas en la prueba piloto (Roman *et al.* 2017), en la que brigadas de ciudadanos científicos a menudo discrepaban entre sí con respecto al número de tallos que tenía un árbol en particular, aunque se les dio orientación para decidir cuáles medir. Algunas brigadas de ese estudio también comentaron que era difícil medir el DAP de los árboles polifurcados. En otras experiencias con el uso de protocolos convencionales para la medición de este tipo de ejemplares, tales como las instrucciones de i-Tree Eco (i-Tree 2017b) para medir hasta seis troncos, las brigadas de pasantes remunerados e incluso expertos han expresado problemas similares. Finalmente, los coautores de ese estudio piloto (Roman *et al.* 2017) concluyeron que las mediciones del tronco a 1.37 m (4.5 pies) no son adecuadas para especies de árboles de poca altura, ornamentales y polifurcados que son comunes en los bosques urbanos. Además, registrar varios tallos no favorece el estudio del crecimiento del tronco ya que no se puede garantizar que las brigadas de campo que realizarán las futuras remediciones volverán a medir exactamente los mismos tallos, en especial con la posibilidad de poda. Esto derivó en la creación de estas pautas para medir el DAP, abajo de la bifurcación, donde hay un solo tallo, siempre que sea posible. Esta técnica también está inspirada en métodos prácticos para la medición del DAP orientados a arboristas profesionales (Swiecki y Bernhardt 2001). Se postula aquí que medir debajo de la bifurcación debe producir resultados más uniformes entre las brigadas de campo y a través del tiempo, permitiendo con ello el análisis del crecimiento del árbol.

No obstante, además del diámetro medido por debajo de la bifurcación, hay otro método para medir árboles polifurcados que podría ser idóneo para obtener registros uniformes durante muchos años: el diámetro medido a 30.5 cm (1 pie) del suelo. En un estudio de campo de evaluación de árboles de *Malus* spp., *Prunus* spp. y *Zelkova* spp de la vía en Filadelfia, PA, se mostró que este método tenía las alturas más uniformes del punto de medición, a diferencia del diámetro medido por debajo de la bifurcación, donde la variación de altura es inherente en el método (Magarik *et al.* 2020). En ese estudio, no hubo ventaja decisiva para ningún método de medición del diámetro en términos del poder de predicción de correlaciones con la altura total del árbol y el ancho de la copa, lo que hacía de primordial importancia la uniformidad y repetibilidad en la selección del método. Ciertamente, el diámetro medido a 30.5 cm ya es usado para plantas de vivero (American Nursery & Landscape Association 2004) así como por varios investigadores para medir árboles polifurcados en otros ecosistemas (MacDicken *et al.* 1991, Snowdon *et al.* 2002, Stewart y Dunsdon 1994, Stewart y Salazar 1992). Medir el diámetro a 30.5 cm (1 pie) podría ser más adecuado para los investigadores a quienes les preocupa la uniformidad a través del espacio y tiempo. Sin embargo, puesto que este estudio se limitó a tres géneros en una ciudad, se necesita investigación adicional para evaluar los pros y los contras de diversas opciones para medir arbolado urbano polifurcado para diferentes grupos taxonómicos y condiciones de crecimiento. Diferentes métodos de medición de árboles polifurcados pueden tener implicaciones para los análisis del crecimiento, la alometría y los servicios ecosistémicos de los árboles.

En particular, el estudio acerca de árboles polifurcados en Filadelfia (Magarik *et al.* 2020) también empleó notación para reportar la altura de medición del diámetro que hace más fácil comunicar la altura estándar predeterminada: la letra D, seguida de un subíndice con la altura desde el suelo en centímetros (p. ej.,  $D_{30.5}$  para el diámetro a 30.5 cm,  $D_{137}$  para el diámetro a 137 cm, siguiendo a Brokaw y Thompson 2000). Esta notación podría ser de particular utilidad al comparar métodos de DAP y descubrimientos entre países, puesto que  $D_{137}$  es el estándar en Estados Unidos, pero  $D_{130}$  es la norma en Europa y el estándar más común en estudios de ecología forestal, aunque muchas publicaciones ni siquiera informan la altura que se usó para registrar el diámetro (Brokaw Thompson 2000).

## 7. Datos del árbol

Los datos del árbol constan de información que permite a los profesionales e investigadores evaluar tanto el crecimiento arbóreo como la salud, la presencia de plagas y enfermedades, los requisitos de mantenimiento y el riesgo. Las variables incluidas en los datos del árbol se muestran en la Figura 4. Se exhorta a quienes están pensando en incluir variables adicionales al conjunto de datos mínimos, que se centren en las que están marcadas con “1” y “2” (que significa que es menor el esfuerzo necesario para obtenerlas; ver la Figura 4).



**Figura 4**—Variables en los datos del árbol. Los superíndices representan niveles (ver la sección 5), donde más de un nivel indica que brigadas con más aptitudes o equipo podrían obtener mejores datos.

Se debe observar que las variables de mantenimiento en este conjunto de datos son más relevantes para árboles urbanos maduros, mientras que las variables de mantenimiento y cuidado relacionadas con árboles juveniles durante su establecimiento se encuentran dentro del conjunto de datos de manejo de árboles juveniles.

Específicamente, los objetivos de registrar los datos del árbol son proporcionar información que permita a los usuarios:

- Monitorear el crecimiento del árbol con respecto a la altura y el tamaño de la copa y desarrollar ecuaciones alométricas relacionando el DAP con esas otras medidas del árbol.
- Evaluar y monitorear la salud del árbol para detectar la respuesta al estrés.
- Evaluar consideraciones de manejo, específicamente poda, riesgo del árbol y posibilidad de interferencia con la infraestructura a causa del tamaño o hábito de crecimiento del árbol.
- Proporcionar información suficiente para calcular servicios ecosistémicos para otras aplicaciones como i-Tree Eco (USDA FS 2017b) y EcoSmart Landscapes (McPherson *et al.* 2014) y bonos de carbono con la Reserva de Acción Climática (Climate Action Reserve 2018).
- Proporcionar registros de línea base de los impactos del sitio y el suelo sobre el crecimiento y la condición del árbol (junto con los datos del sitio).

Las variables de salud de los árboles como muerte regresiva de ramillas, decoloración y defoliación se basan en métodos descritos en Pontius y Hallett (2014), Hallett y Hallett (2018) y Hallett *et al.* (2018).

## 7.1. Medidas del árbol

Las variables descritas previamente en i-Tree Eco (2017a) y los protocolos de la UFIA (i-Tree 2017b) se citan en paréntesis con términos correspondientes o similares y números de página.

### 7.1.1. Altura (total)

Descripción: la altura total del árbol desde el suelo hasta la parte superior de la copa medida verticalmente (i-Tree 2017a, p. 28).

### 7.1.2. Altura a la copa viva

Descripción: altura desde el nivel del suelo hasta la parte superior de la copa viva (verde) medida verticalmente (i-Tree 2017a, p. 28).

### 7.1.3. Altura a la base de la copa viva

Descripción: distancia entre el suelo y la parte inferior del follaje vivo de la copa (i-Tree 2017a, p. 29).

### 7.1.4. Altura del fuste limpio

Descripción: medida de la longitud del fuste desde el nivel del suelo hasta la primera rama que forma la copa. En ocasiones a esto se le denomina altura del tronco o altura del fuste limpio. En las palmeras se mide el tallo desde el suelo hasta la base de las hojas (meristemo apical, base de la hoja del centro, también conocido como altura del tronco en estándares de palmeras).

### 7.1.5. Diámetro de la copa

Descripción: dos mediciones perpendiculares horizontales desde la punta de la hoja o rama (línea de goteo), pasando a través del tronco. Hay tres opciones para registrar esos anchos de copa: (1) registrar el diámetro de la copa más ancho primero, luego el diámetro perpendicular a éste, de acuerdo con UFIA (USDA FS 2017, p. 142); (2) registrar el ancho en sentido de norte a sur y de oriente a poniente, de acuerdo con i-Tree Eco (2017a, p. 30) y (3) para árboles en la vía, registrar el diámetro paralelo y perpendicular a la vialidad, de acuerdo con McPherson et al. (2016). El método de árboles de la vía a menudo es equivalente a UFIA debido a las prácticas de poda comunes a lo largo de los caminos. No se tiene conocimiento de estudios que comparen estas opciones para los mismos árboles, así que se recomienda que los líderes de proyecto de monitoreo elijan una de estas opciones y la usen de manera constante para un estudio determinado.

### 7.1.6. Forma de la copa

Descripción: “la forma de la copa es la silueta de un árbol, trazada de punta a punta de las ramas, que contiene todo el follaje del árbol. Por lo común, las siluetas se derivan de árboles vigorosos con crecimiento abierto y tienden a ser de especies específicas. La forma de la copa se usa como un contorno para los lados del árbol” (USDA FS 2017, p. 156).

### 7.1.7. Exposición de la copa a la luz

Descripción: las copas de los árboles se dividen verticalmente en cuatro lados iguales (o cuartos) más la parte superior para un total de cinco caras. Se cuenta cuántos lados de la copa recibirían luz directa si el sol estuviese directamente arriba del árbol. Se trata de dividir la copa de manera que la mayor cantidad de cuartos reciban luz completa. Se agrega una si el árbol recibe luz directa desde arriba (USDA FS 2017a, pp. 161-162, 173; USDA 2017b, p. 35).

## 7.2. Condición y mantenimiento del árbol

### 7.2.1. Muerte regresiva de ramillas

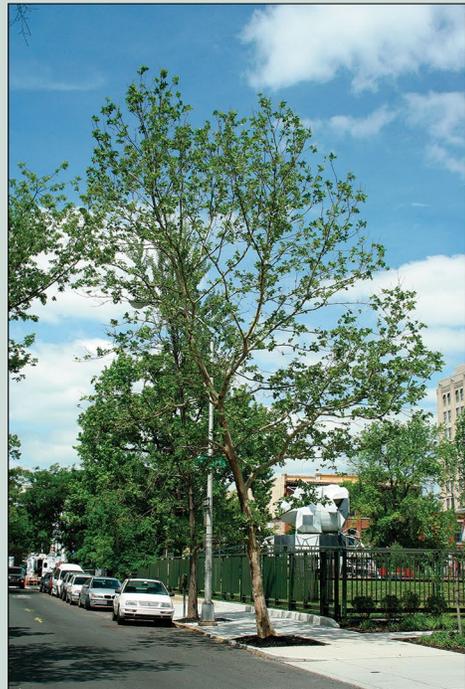
Descripción: la muerte regresiva de ramillas indica la muerte de tejidos responsables de producir y sustentar la mayoría del área de superficie de las hojas del árbol y la elongación de las ramas. La cantidad de muerte regresiva de ramillas es un reflejo de la gravedad del estrés reciente para el árbol. También refleja el porcentaje del área de la copa afectado, enfocándose específicamente en las secciones superior y exterior de la copa. La variable de muerte regresiva de ramillas se centra en la respuesta al estrés reciente en las ramillas y no en la muerte natural de las ramas (autopoda por competencia de la copa o sombreado en la parte baja de la copa), mortalidad de ramas más antiguas o secciones podadas de la copa.

La muerte regresiva de ramillas refleja el porcentaje del volumen de la copa afectado (Cuadro 1), por lo tanto, un árbol con una sola rama con muerte regresiva puede tener un alto porcentaje de muerte regresiva si la copa total es pequeña, mientras que un árbol de copa grande y una rama equivalente con muerte regresiva tendrá un porcentaje mucho menor de muerte descendente. Ver ejemplos en el Cuadro 1. Caminar alrededor del árbol para observar si hay muerte regresiva de ramillas desde varios ángulos y registrar el promedio. Si se hace la investigación en equipo de brigada de campo, se recomienda llegar a un consenso respecto a la clase de muerte regresiva.

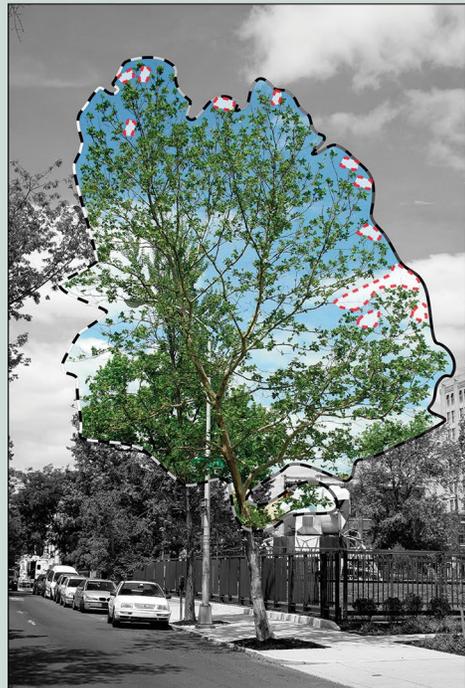
Esta descripción de muerte regresiva de ramillas se basa en i-Tree (2017a, 2017b).

### Cuadro 1. Clases de muerte regresiva de ramillas

Clase de muerte regresiva	Porcentaje de la copa que muestra muerte regresiva
1	0-1 (nada/rastros)
5	2-5
10	6-10
15	11-15
20	16-20
25	21-25
30	26-30
35	31-35
40	36-40
45	41-45
50	46-50
55	51-55
60	56-60
65	61-65
70	66-70
75	71-75
80	76-80
85	81-85
90	86-90
95	91-95
99	96-99



Un árbol con muerte regresiva de ramillas. Foto de J.P. Fristensky, usada con permiso.



Clase 5: 2 a 5 porciento de muerte regresiva de ramillas. La diferencia entre el contorno en puntos rojos y el contorno externo negro representa el porcentaje de muerte regresiva de ramillas. Sobreposición de J.P. Fristensky, usada con permiso.

### 7.2.2. Decoloración

Descripción: la decoloración foliar es la proporción de la copa del árbol con una coloración distinta a la de un árbol sano de la misma especie. Posibles síntomas incluyen manchas oscuras en las hojas u hojas amarillas, cafés o incluso de color más claro que el de un árbol sano de esa especie. Por ejemplo, hay algunas variedades hortícolas en las que el color normal de las hojas sanas es el bronce, el rojo oscuro o el amarillo. La clasificación corresponde a la parte de toda la copa que está afectada.

### 7.2.3. Defoliación

Descripción: la defoliación corresponde a la parte de la copa del árbol con defoliación (agujeros en las hojas o partes faltantes en las hojas). La clasificación corresponde a la parte de toda la copa que está afectada. Si el 100 por ciento de las hojas tienen defoliación, la calificación de defoliación no es 100 por ciento (i-Tree 2017a, pp. 144-151, pp. 30-31).

### 7.2.4. Proporción de la copa viva

Descripción: el porcentaje de la altura total del árbol que está ocupado por la copa viva. Cuando la parte superior del árbol y la parte superior de la copa viva están en el mismo lugar, las únicas medidas necesarias son la altura del árbol y la altura de la base de la copa viva. Si la parte superior del árbol está muerta, entonces también se necesita la altura hasta la parte superior de la copa viva (USDA FS 2017a, pp. 139-141).

### 7.2.5. Extensión del rebrote

Descripción: es una medida de la salud del árbol que se determina a partir de los parámetros de la copa (Levinsson *et al.* 2017).

### 7.2.6. Condición del cuello de la raíz y de las raíces

Descripción: una evaluación de las prácticas de plantación; medir las raíces que rodean, circundan o comprimen el cuello de la raíz y la posibilidad de que presente raíces estranguladoras (USDA FS 2017a, pp. 178-179, 187-188, 189-190).

### 7.2.7. Plagas y enfermedades

Descripción: la información acerca de plagas y enfermedades se puede registrar de dos formas principales: (1) presencia o ausencia de plagas y enfermedades específicas o (2) signos y síntomas de plagas y enfermedades particulares. Para ver ejemplos de protocolos, ver USDA FS (2017) y i-Tree (2017b).

### 7.2.8. Prioridad y tarea de mantenimiento

Descripción: los arboristas y trabajadores capacitados (nivel 2) registran detalles de mantenimiento que planteen un posible riesgo que deba ser investigado por personal más capacitado. Los arboristas que aprobaron el Curso y Examen de Evaluador de Riesgos de Árboles (*Tree Risk Assessor Course and Exam*, TRACE) o tomaron el curso de Acreditación en Evaluación de Riesgo de Árboles (*Tree Risk Assessment Qualification*, TRAQ) (nivel 3) pueden recolectar datos pertinentes a riesgos y peligros, incluso la probabilidad de quiebre, tamaño de la parte que podría desprenderse y clasificación objetivo. Los criterios y atributos de recolección se explican a detalle en el curso TRAQ.

## 7.3. Imágenes

### 7.3.1. Fotografías de los árboles

Descripción: imágenes del árbol tomadas en perpendicular entre sí (es decir, si una se toma de frente al norte o sur, la otra es de frente al oriente o poniente; como alternativa, si uno está de frente al árbol paralelo a la vialidad, la otra está de frente a la perpendicular) registrando la distancia entre la cámara y el fuste del árbol en cada una. Cuando se usen las imágenes para medir componentes de los árboles como altura y altura a la base de la copa, se debe colocar una escala en el fuste de cada árbol fotografiado o crear otro método para denotar la escala.

### 7.3.2. Fotos para calcular la transparencia de la copa

Descripción: se toman cuatro fotografías en formato vertical, cada una con la lente de la cámara hacia arriba a través de una cuarta parte de la copa del árbol. Entonces se pueden usar las fotografías digitales para cuantificar el porcentaje de píxeles abiertos y oscuros (Pontius y Hallett 2014). Las imágenes digitales se procesan automáticamente con un script para CellProfiler (Lamprecht *et al.* 2007) que informa el porcentaje de transparencia de cada imagen. Se pueden promediar los valores de transparencia de hasta cuatro fotografías por árbol para representar el porcentaje global de transparencia de la copa. Se deben llevar registros minuciosos para asegurar que cada foto esté relacionada con el árbol correcto y las fotografías deberán estar organizadas para su procesamiento.

## 7.4. Contexto de la muerte regresiva de ramillas

Para la prueba piloto de la *Guía de campo*, el equipo de desarrollo del protocolo ideó calificaciones de condición de la copa y la madera del árbol con una escala de cuatro partes, cada una claramente definida (Roman *et al.* 2017). El componente de la copa se dividió todavía más en muerte regresiva y transparencia, que son variables que se consideró que deben recolectar las brigadas sin tener que identificar las especies. Se usaron tamaños de segmento del 25 por ciento para esas dos variables (es decir, muerte regresiva de 0 a 25 por ciento, 26 a 50 por ciento, etc.). La intención fue proporcionar un sistema que reflejara la condición de los árboles en una escala de cuatro partes como se maneja en i-Tree Streets (es decir, bueno, aceptable, malo, muriendo), pero con categorías definidas más claramente. No obstante, en la prueba piloto se descubrió que las brigadas de campo de voluntarios no coincidían con los expertos en cuanto a transparencia y estado de la madera (Roman *et al.* 2017) y, por lo tanto, se eliminaron esas variables de la *Guía de campo*. Se mantuvo la muerte regresiva de ramillas en los datos del árbol y se optó por el uso de una variable de vitalidad de la copa más integral en el conjunto de datos mínimos. Con la descripción de muerte regresiva de ramillas en los datos del árbol, se usaron tamaños de segmento del 5 por ciento usados en los protocolos de i-Tree Eco, FIA y UFIA (i-Tree 2017a; USDA FS 2016, 2017). La mayoría de los árboles registrados en el estudio piloto tuvieron < 25 por ciento de muerte regresiva; por lo tanto, los segmentos del 5 por ciento podrían revelar diferencias importantes en muerte regresiva del rango del 0 al 25 por ciento. Sin embargo, se reconoce que hay un debate en curso respecto a cómo se debe registrar la muerte regresiva de ramillas y otros estudios optan por secciones del 10 por ciento (Vogt y Fischer 2014). Se necesita más investigación para determinar niveles entre brigadas de campo para la muerte regresiva según los tamaños de segmento, además de formas óptimas de capacitar a las brigadas para discernir la muerte regresiva.

También se sospecha que las brigadas en ocasiones podrían incluir la mortalidad de ramas grandes como parte de la muerte regresiva de ramillas; este no es el protocolo correcto, porque la muerte regresiva de ramillas debe centrarse en las partes externas de la copa (Roman *et al.* 2017). La capacitación para esta variable debe incluir fotos de diversos niveles de muerte regresiva de ramillas, porque puede ser difícil encontrar una variedad de situaciones durante la capacitación al aire libre.

## 8. Datos del sitio

Los datos del sitio constan de información que permite a los practicantes e investigadores evaluar la calidad del sitio en paisajes urbanos para árboles y bosques. Las variables incluidas en los datos del sitio se muestran en la Figura 5 y su registro tiene como objetivo aportar información para resolver las siguientes cuestiones:

- Diferenciar las condiciones del sitio por sus posibles efectos en los árboles y bosques urbanos.
- Evaluar y monitorear la infraestructura urbana (caminos, construcciones, banquetas y servicios públicos) por su posible impacto en la mortalidad, el crecimiento y la salud de los árboles.
- Evaluar y monitorear la infraestructura urbana en cuanto a impactos en los árboles y posibles problemas de mantenimiento.
- Evaluar y monitorear el espacio de crecimiento para árboles y bosques urbanos.
- Evaluar y monitorear métodos de manejo para remediar la calidad del suelo urbano.

La mayoría de los datos del sitio están adaptados del *Rapid Urban Site Index* (Scharenbroch *et al.* 2017). Se debe tomar en cuenta que hay otros recursos disponibles para caracterizar y manejar suelos urbanos (Lindsey y Bassuk 1991, 1992; Scharenbroch *et al.* 2005, 2018; Scharenbroch y Catania 2012; Urban 1992, 2008). Se debe hacer investigación sobre nutrientes y contaminantes en el suelo en colaboración con un especialista en ciencia del suelo.

### 8.1. Calles

#### 8.1.1. Tipo

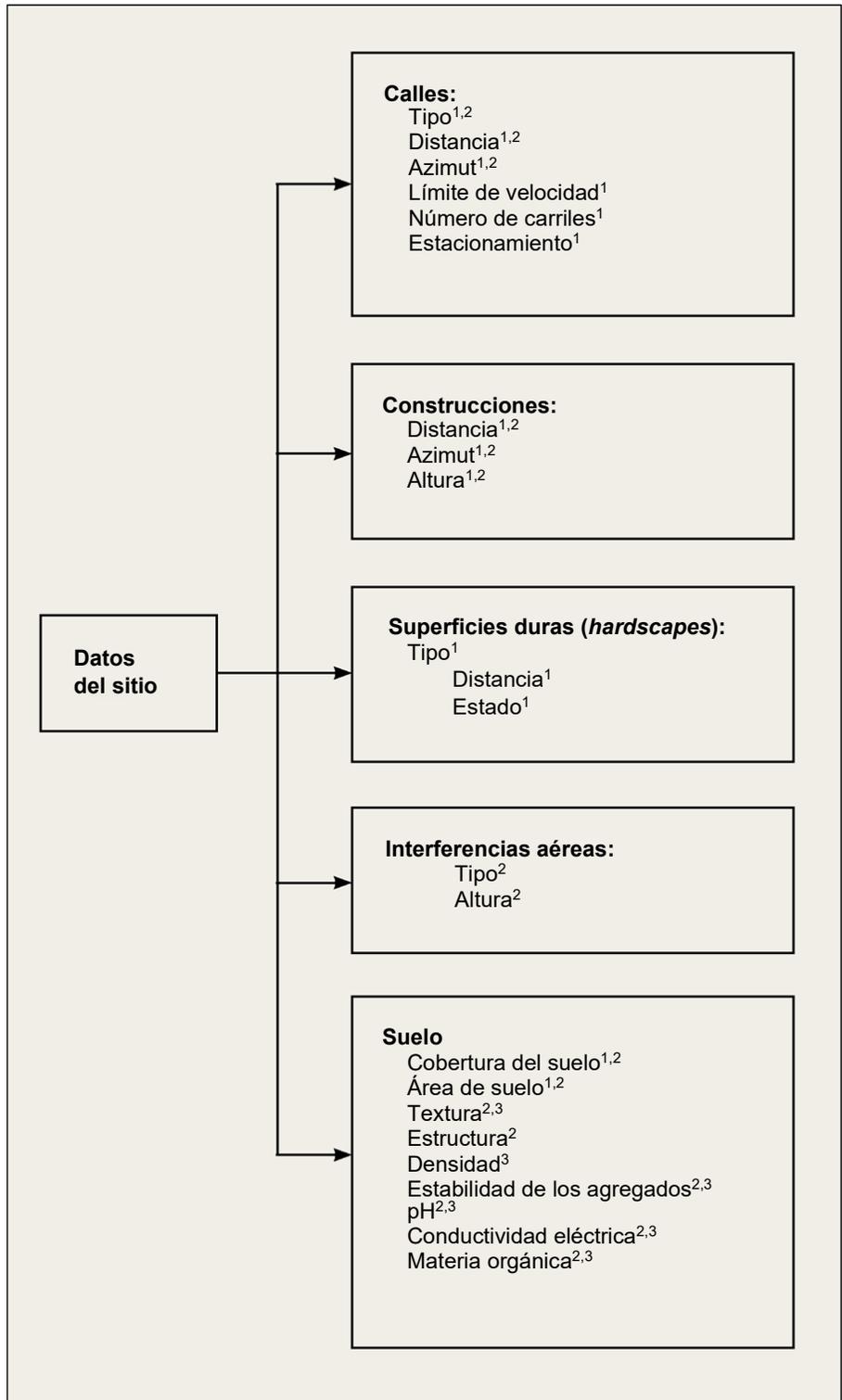
Descripción: el tipo de calle más cercana, clasificado por funciones como eje vial, distribuidor y local (USDT FHA, n.d.). Estos datos pueden conseguirse en agencias de planificación locales o se pueden determinar en el campo.

#### 8.1.2. Distancia

Descripción: la distancia desde el centro del tronco del árbol a la calle más cercana.

#### 8.1.3. Azimut

Descripción: la dirección cardinal o distancia angular expresada como la dirección hacia la que se da el frente, al estar parado a un lado del árbol hacia el lado más cercano de la calle.



**Figura 5**—Variables en los datos del sitio. Los superíndices representan niveles (ver la sección 5), donde más de un nivel indica que brigadas con más aptitudes o equipo podrían obtener mejores datos.

#### **8.1.4. Límite de velocidad**

Descripción: el límite de velocidad indicado en la calle.

#### **8.1.5. Número de carriles**

Descripción: el número de carriles en la calle sin los carriles de estacionamiento, pero con los carriles para dar vuelta que se extienden a lo largo de todo el segmento de la calle.

#### **8.1.6. Estacionamiento**

Descripción: estacionamiento disponible en el costado de la calle donde está ubicado el árbol.

### **8.2. Construcciones**

#### **8.2.1. Distancia**

Descripción: la distancia al edificio más cercano.

#### **8.2.2. Azimut**

Descripción: la dirección cardinal o distancia angular expresada como la dirección hacia la que se da el frente, al estar parado a un lado del árbol hacia el lado más cercano al edificio.

#### **8.2.3. Altura**

Descripción: el número de pisos o altura de la construcción más cercana.

### **8.3. Superficies duras (*hardscapes*)**

#### **8.3.1. Tipo**

Descripción: el tipo de superficie dura más cercana al árbol.

#### **8.3.2. Distancia**

Descripción: la distancia a la superficie dura más cercana.

#### **8.3.3. Estado**

Descripción: el estado de la superficie dura. Estos datos incluyen el tipo, la cantidad y la gravedad del deterioro del pavimento (McPherson y Muchnick 2005, MTC 1986).

### **8.4. Interferencias aéreas**

#### **8.4.1. Tipo**

Descripción: el tipo de interferencia presente en el sitio, como cables elevados, clasificados por funcionalidad (p. ej., el cableado principal transmite electricidad a las subestaciones; el cableado secundario transmite electricidad del cableado del poste a una edificación; cableado de televisión por cable y de banda ancha y servicios de internet; cableado telefónico que lleva servicio a líneas fijas).

#### **8.4.2. Altura**

Descripción: la altura desde el suelo hasta la infraestructura aérea más cercana al árbol (p. ej., altura desde el suelo hasta el cableado eléctrico principal).

## 8.5. Suelo

### 8.5.1. Cobertura del suelo

Descripción: el tipo de cubierta del suelo que rodea al árbol.

### 8.5.2. Área de suelo

Descripción: un cálculo del área en el suelo disponible para crecimiento de la raíz directamente accesible al árbol (también llamada “suelo aparentemente disponible”) (Sanders y Grabosky 2014).

### 8.5.3. Textura

Descripción: la textura del suelo es una clasificación cualitativa para distinguir los componentes relativos de arena, limo y arcilla en el suelo.

### 8.5.4. Estructura

Descripción: la estructura del suelo es la disposición física de partes sólidas del suelo y los poros entre ellas. Los agregados de tamaño mediano y fino producen numerosos espacios porosos que permiten la penetración de las raíces, almacenamiento de agua y movimiento de organismos, nutrientes, aire y agua a través del suelo.

### 8.5.5. Densidad

Descripción: la densidad se puede evaluar como densidad aparente del suelo o resistencia a la penetración. La densidad aparente es la proporción de masa de suelo seca por el calor, respecto a su volumen aparente, incluidas las partículas y espacios porosos. La resistencia a la penetración es una dimensión de la facilidad con la que se puede presionar un objeto dentro del suelo. Da un indicio de capas que bloquean a las raíces en el suelo y se puede usar al comparar fortalezas relativas entre tipos de suelo.

### 8.5.6. Estabilidad de los agregados

Descripción: la estabilidad de los agregados es una medida de la vulnerabilidad de los agregados del suelo a fuerzas destructivas externas.

### 8.5.7. pH

Descripción: el pH es una medida de la acidez o alcalinidad de un suelo.

### 8.5.8. Conductividad eléctrica

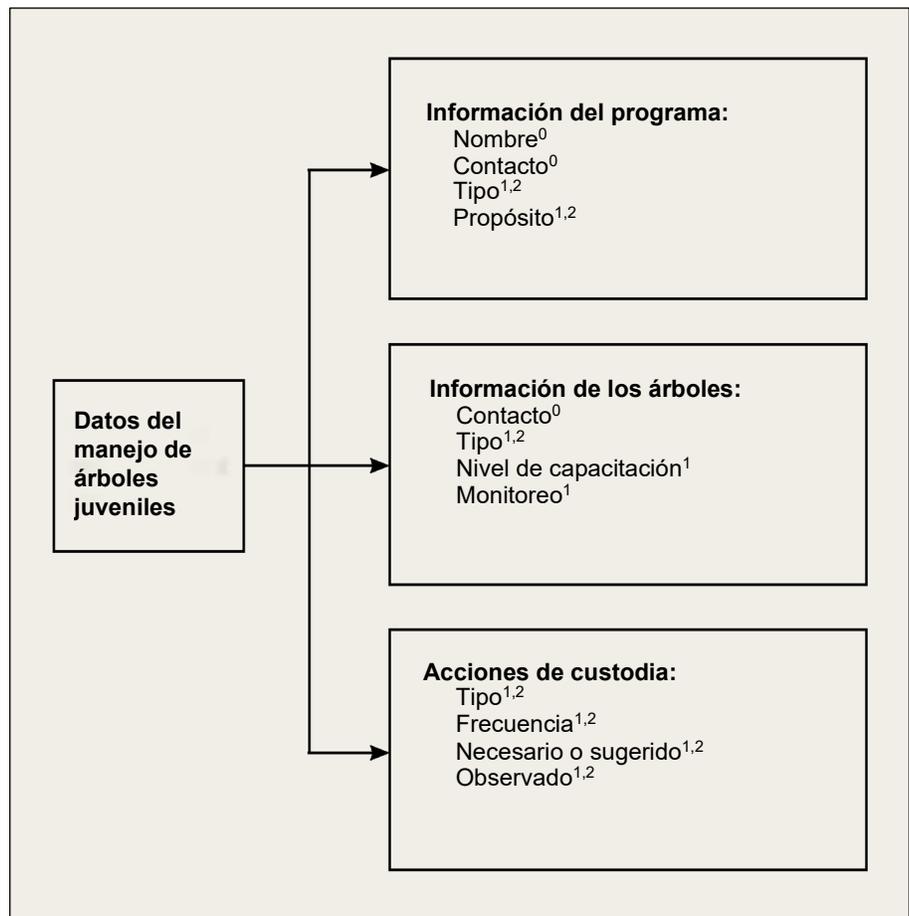
Descripción: la conductividad eléctrica se refiere a la cantidad de sales (cationes o aniones) en el suelo.

### 8.5.9. Materia orgánica

Descripción: la materia orgánica en el suelo consiste en residuos de vegetales y animales en diversas etapas de descomposición, células y tejidos de organismos y sustancias sintetizadas por organismos en el suelo.

## 9. Datos del manejo de árboles juveniles

Los datos del manejo de árboles juveniles incluyen las “normas aplicadas” relacionadas con cuidados y manejo de este tipo de árboles. Las variables incluidas se muestran en la Figura 6. Estas reglas o estrategias posiblemente se faciliten a través de algunos programas, por lo tanto, se recolectan los datos acerca del programa y sus políticas en lo relativo al mantenimiento o la custodia del árbol (es decir, acciones que se supone que sucedan para asegurar el cuidado correcto del árbol). Esa información se puede recolectar desde la oficina. Los registros de datos de campo correspondientes a las acciones de mantenimiento o custodia que suceden en el terreno son las “normas aplicadas”. Los objetivos de los datos del manejo de árboles juveniles son aportar información para resolver las siguientes cuestiones.



**Figura 6**—Variables en los datos de manejo de árboles juveniles. Los superíndices representan niveles (ver la sección 5), donde más de un nivel indica que brigadas con más aptitudes o equipo podrían obtener mejores datos.

1. Diferencia en los resultados de crecimiento, mortalidad y salud de los árboles entre programas, tipos de programas y características del custodio.
2. Evalúa el nivel de apego a las reglas o recomendaciones de mantenimiento con base en el programa.
3. Se asocia el mantenimiento observado con el crecimiento, la mortalidad y la salud del árbol.

## 9.1. Información del programa

### 9.1.1. Nombre del programa

Descripción: si se plantó un árbol como parte de un programa, indicar el nombre del mismo. Un programa podría incluir una iniciativa de plantación municipal, regional o de una organización no lucrativa (p. ej., *NeighborWoods*, *Plant-a-Million*). Si hay varios programas relacionados con un solo árbol, se registran todos los programas. Las otras variables específicas de cada programa se relacionan con cada uno.

### 9.1.2. Información de contacto del programa

Descripción: nombre e información de contacto del líder o representante del programa.

### 9.1.3. Tipo de programa

Descripción: las categorías de tipo de programa incluyen: municipal, regional, estatal, otro gubernamental, sin fines de lucro, comunitario o cívico, de servicios públicos y comercial. Los programas gubernamentales se podrían subdividir por dependencias (p. ej.: parques y esparcimiento, transporte). Se permiten varias respuestas para un programa e indican alianzas.

### 9.1.4. Propósito del programa

Descripción: las categorías del propósito del programa se basan en enunciados codificados de su misión incluyendo plantación o arborización genérica, servicio ecosistémico específico (p.ej., reducción del escurrimiento de aguas pluviales, ahorros de energía mediante la sombra de árboles), participación del público, plusvalía, regalos a particulares, objetivo de cobertura de copas de árboles y objetivo de plantar un millón.

## 9.2 Información del cuidador de los árboles

La siguiente información podría recolectarse si hay una custodia estructurada o un componente de mantenimiento para el programa de plantación de árboles.

### 9.2.1. Cuidador de contacto

Descripción: nombre e información de contacto del líder o representante de las actividades de custodia.

### 9.2.2. Tipo de cuidador

Descripción: es una categorización del cuidador, incluyendo personal del programa, residente adyacente, empresa (u organización) adyacente, voluntario del vecindario, grupo de custodia organizado, otro voluntario y entidad contratada (p. ej., paisajistas).

### **9.2.3. Nivel de capacitación del cuidador**

Descripción: una dimensión de los conocimientos especializados del custodio. Las opciones podrían ser similares al nivel de experiencia de la brigada de campo en el conjunto de datos mínimos (ver la sección 2.1.2 de la *Guía de campo*), con niveles de capacitación de custodia que van de novato a intermedio y experto.

### **9.2.4. Monitoreo del cuidador**

Descripción: indicador binario (sí o no) respecto a si se requiere que el custodio informe sus actividades a otra persona o sea monitoreado por el programa para estar al tanto de sus acciones.

## **9.3. Acciones de mantenimiento**

### **9.3.1. Tipo de acción**

Descripción: categorías de tipos de actividades de mantenimiento que son necesarias para el crecimiento, mortalidad y salud de los árboles. Las categorías podrían incluir riego, poda, cobertura con mulch, instalación de soportes, fertilizado, aireación del suelo, manejo de protectores para los árboles y monitoreo o tratamiento de plagas. Las otras variables pertinentes a acciones de mantenimiento que se muestran a continuación se registran por separado para cada tipo de acción.

### **9.3.2. Frecuencia de acción**

Descripción: categorías que describen la frecuencia con la que cada tarea de mantenimiento es terminada.

### **9.3.3. Acción de mantenimiento requerida o sugerida**

Descripción: si el programa requiere o sugiere esta acción de custodia de árboles.

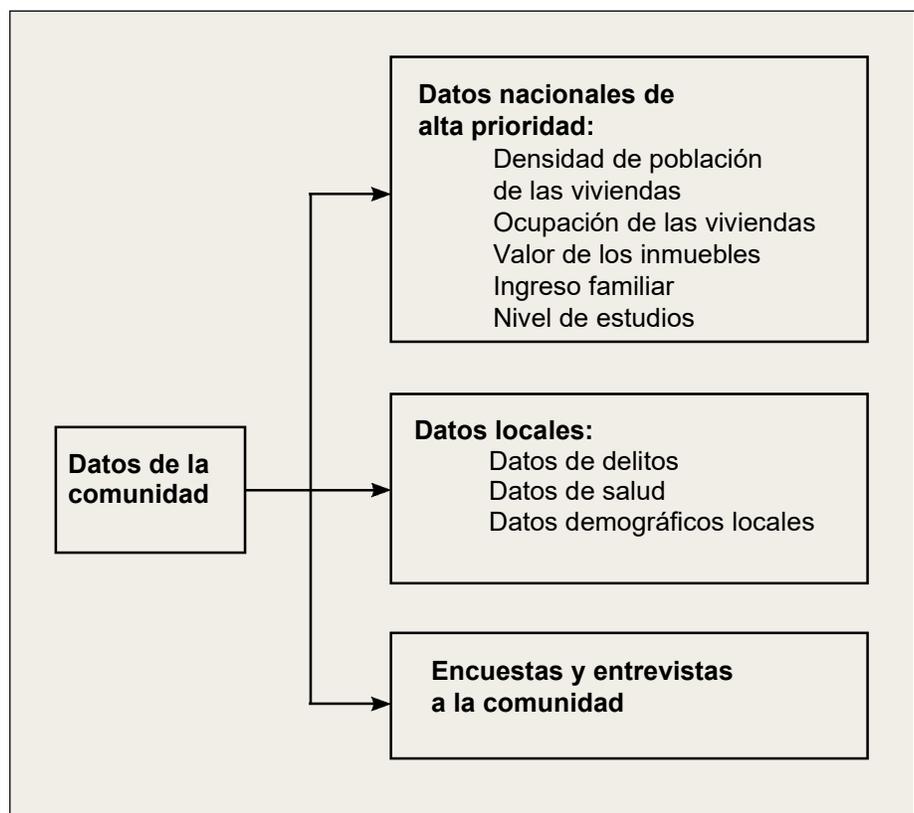
### **9.3.4. Acción de mantenimiento observada**

Descripción: registrar para cada acción de custodia si se observó que ha ocurrido en el campo. Las brigadas de campo con menos experiencia podrían registrar la presencia o ausencia de la acción, mientras que las más experimentadas podrían observar diversos grados de mantenimiento, correcto o incorrecto (p. ej., diferentes tipos de problemas de aplicación del mulch).

## 10. Datos de la comunidad

Los datos de la comunidad constan de información demográfica, socioeconómica, inmobiliaria y de vivienda relacionada con el área geográfica cerca del árbol. Las variables incluidas en los datos de la comunidad se muestran en la Figura 7, los cuales pueden ayudar a los practicantes e investigadores a analizar el impacto que esos factores podrían tener en el crecimiento y la mortalidad de los árboles urbanos. Específicamente, los objetivos de los datos de la comunidad son:

1. Identificar variables como la densidad de población, valor de los inmuebles, los niveles de educación y otros factores demográficos y socioeconómicos, incluida información específica de viviendas o consumidores que podrían relacionarse con el crecimiento, la mortalidad y la salud de los árboles.
2. Especificar un nivel de extensión geográfica (p. ej., sección censal, código postal, vecindario) para usarlo al analizar datos.



**Figura 7**—Variables en los datos de la comunidad.

Los datos de la comunidad están agrupados por tipos de fuentes de datos, más que por categorías que representen niveles de aptitud de las brigadas de campo y los recursos disponibles. Esto se debe a que los datos de la comunidad no se basan en la recolección de datos de campo sobre individuos arbóreos. Algunas de las variables se relacionan con conjuntos de datos existentes disponibles a través de recursos públicos nacionales, como la Oficina del Censo de EE. UU. Otra información relacionada con la población que rodea árboles urbanos podría requerir extensas encuestas por correo e internet, o entrevistas en persona con los residentes. No se proporciona orientación detallada respecto a métodos de ciencias sociales para recolectar esos datos. Se recomienda colaborar con investigadores de ciencias sociales o analistas geoespaciales para recolectar e interpretar los resultados con relación al monitoreo de árboles.

## 10.1. Datos nacionales de alta prioridad

Dentro de Estados Unidos, estas variables por lo general se pueden obtener en la Oficina del Censo de EE. UU. o con la *American Community Survey* y los datos asociados con árboles a nivel de la sección censal. Otros países podrían tener bases de datos nacionales equivalentes.

### 10.1.1. Densidad de población

Descripción: población total por área de terreno donde está ubicado el árbol.

### 10.1.2. Tenencia de las viviendas (rentadas u ocupadas por sus dueños)

Descripción: porcentaje de inmuebles ocupados por sus dueños o por arrendatarios en la zona donde está ubicado el árbol.

### 10.1.3. Ocupación de las viviendas (unidades de vivienda ocupadas o vacías)

Descripción: porcentaje de unidades de vivienda ocupadas y vacías en el área geográfica donde está ubicado el árbol.

### 10.1.4. Valor de los inmuebles (valor promedio de las unidades de vivienda ocupadas por sus dueños)

Descripción: El costo promedio de los inmuebles en el área geográfica donde está ubicado el árbol.

### 10.1.5. Ingreso familiar (ingreso promedio en dólares)

Descripción: ingreso familiar promedio donde está ubicado el árbol.

### 10.1.6. Nivel de estudios

Descripción: porcentaje de población que ha alcanzado un nivel de estudios particular (p. ej., preparatoria terminada, título universitario) en el área geográfica donde está ubicado el árbol.

## 10.2. Datos locales

### 10.2.1. Datos de delitos

Descripción: los índices delictivos del área geográfica cercana al árbol (p. ej., asaltos, posesión de drogas). Ver, por ejemplo, Kondo *et al.* (2017).

### 10.2.2. Datos de salud

Descripción: índices de problemas de salud en el área geográfica cercana al árbol (p. ej., asma, cardiopatía).

### 10.2.3. Datos demográficos locales

Descripción: otros datos demográficos específicos de la comunidad que podrían no estar disponibles a nivel nacional.

## 10.3. Encuestas y entrevistas a la comunidad

Encuestas y entrevistas a quienes reciben árboles a través de iniciativas de plantación, así como a otros que plantan, dan mantenimiento y manejan árboles, lo que puede ayudar a comprender cómo cambian los bosques urbanos con el tiempo. Al igual que con otros componentes de los datos de la comunidad, se recomienda enfáticamente colaborar con investigadores para recolectar esos datos. Ver, por ejemplo, encuestas de residentes y programas de arborización urbana en Moskell y Allred (2013), Locke *et al.* (2015), Conway (2016), Svendsen *et al.* (2016) y Breger *et al.* (2019). Las encuestas y entrevistas a la comunidad podrían recolectar, por ejemplo, datos sociodemográficos a nivel de la vivienda o datos de actividades cotidianas de los consumidores, percepciones que tienen los residentes sobre los árboles y anécdotas del vecindario.

## 11. Agradecimientos

Muchas personas colaboraron en esta *Guía de recursos*. Colegas actuales y anteriores del grupo de trabajo de UTGL ayudaron a depurar los protocolos y el material sugerido a incluir en esta *Guía de recursos*: Julia Bartens, David Bienemann, Michele Bigger, Cindy Blain, Jerry Bond, Chad Clink, Dana Dentice, Anne Fenkner, Burney Fischer, Jason Grabosky, Jennifer Karpis, Emily King, Jackie Lu, Jessica Sanders, Phil Silva, Nancy Sonti, Emily Spillet, Matthew Stephens, Erika Teach, Doug Wildman y Ruth Williams. Se agradecen mucho sus colaboraciones en este proyecto. También se agradece a los asistentes al primer simposio de UTGL en *The Morton Arboretum* en 2011 y a las personas que contestaron la encuesta de proyectos de monitoreo impulsadas por profesionales (Roman *et al.* 2013) por su motivación para la creación de estos protocolos y recursos relacionados, así como a los ciudadanos científicos que hicieron pruebas piloto de la *Guía de campo* (Roman *et al.* 2017). *The Nature Conservancy* agradece a Bill Toomey y Rachel Holmes por su colaboración en la capacitación de pasantes de campo para llevar a cabo estos protocolos a través de la iniciativa *Healthy Trees, Healthy Cities*; esa experiencia ayudó a depurar más los métodos de campo y recursos. También se agradece a Lindsay Shafer por sus aportaciones para convertir las variables mínimas a registrar en una guía de campo fácil de usar, como parte de su trabajo de maestría en la Universidad de Pensilvania. Se agradecen los comentarios y críticas de colegas que revisaron un borrador anterior de este documento: Mark Hatfield, Yasha Magarik, Eric North, Marin Palmer y Sjana Schanning. El financiamiento para crear la *Guía de recursos* fue aportado por el Programa de Dasonomía Urbana y Comunitaria, Silvicultura Estatal y Urbana, del Servicio Forestal del USDA. El financiamiento de la prueba piloto de los protocolos fue aportado por el Servicio Forestal, la Estación de Investigación Norte, la Estación de Campo de Filadelfia y *The Morton Arboretum*.

---

## **Parte III: Documentación de respaldo**

---

## Literatura citada

- American Nursery & Landscape Association. 2004. **American standard for nursery stock**. Indiana Department of Natural Resources, Division of Forestry. Columbus, OH: ANSI Z60.1-2004.
- Ames, B.; Dewald, S. 2003. **Working proactively with developers to preserve urban trees**. *Cities*. 20(2): 95-100.
- Anderson, J.R.; Hardy, E.E.; Roach, J.T.; Witmer, R.E. 1976. **A land use and land cover classification system for use with remote sensor data**. Professional Paper 964. Alexandria, VA: U.S. Department of the Interior, Geological Survey. 28 p.
- Arbor Day Foundation. 2018. **The Arbor Day Foundation's energy-saving trees and community canopy programs launch spring project season**. Press Release April 20, 2018 (accessed 7 October 2018).
- Avery, T.; Burkhart, H. 2001. **Forest measurements**. 5th ed. Boston, MA: McGraw-Hill Book Company. 456 p.
- Banks, N.; North, E.A.; Johnson, G.R. 2018. **An analysis of agreement between volunteer- and researcher-collected urban tree inventory data**. *Arboriculture & Urban Forestry*. 44: 73-86.
- Bargeron, C.T.; Moorhead, D.J. 2007. **EDDMapS—early detection and distribution mapping system for the southeast exotic pest plant council**. *Wildwood Weeds*. Fall 2007: 4-8.
- Barnard, E. 2002. **New York City trees**. New York, NY: Columbia University Press. 240 p.
- Barnard, E.; Meyer, P.; Bringer, C. 2017. **Philadelphia trees: a field guide to the city and the surrounding Delaware Valley**. New York, NY: Columbia University Press. 280 p.
- Bernhardt, E.; Swiecki, T.J. 1991. **Guidelines for developing and evaluating tree ordinances**. Unpublished report to Urban Forestry Program, California Department of Forestry and Fire Protection, Sacramento, CA. 76 p.
- Bird, W.J. 2014. **Worcester Tree Initiative celebrates 30,000 trees planted**. *Worcester Magazine*. <http://worcestermag.com/2014/10/06/worcester-tree-initiative-celebrates-30000-trees-planted/27824> (accessed 24 October 2015).

- Blair, S.A.; Koeser, A.K.; Knox, G.W.; Roman, L.A.; Thetford, M. 2019. **Visual health assessments for palms**. *Urban Forestry & Urban Greening*. 41: 195-200.
- Bloniarz, D.V.; Ryan, H.D.P., III. 1996. **The use of volunteer initiatives in conducting urban forest resource inventories**. *Journal of Arboriculture*. 22(2): 75-82.
- Blood, A.; Starr, G.; Escobedo, F.J.; Chappelka, A.; Wiseman, P.E.; Sivakumar, R.; Staudhammer, C.L. 2016. **Resolving uncertainties in predictive equations for urban tree crown characteristics of the southeastern United States: local and general equations for common and widespread species**. *Urban Forestry & Urban Greening*. 20: 282-294.
- Bond, J. 2010. **Tree condition: health**. *Arborist News*. 19(1): 35-38.
- Bond, J. 2012. **Urban tree health: a practical and precise estimation method**. Geneva, NY: Urban Forest Analytics. 107 p.
- Bond, J. 2013. **Best management practices—Tree inventories**. 2nd ed. 2013. Champaign, IL: International Society of Arboriculture. 35 p.
- Bowser, A.; Hansen, D.; Preece, J.; He, Y.; Boston, C.; Hammock, J. 2014. **Gamifying citizen science: a study of two user groups**. In: Proceedings of the companion publication of the 17th ACM conference on computer supported cooperative work and social computing. New York, NY: ACM New York: 137-140.
- Boyer, D.J.; Roman, L.A.; Henning, J.G.; McFarland, M.; Dentice, D.; Low, S.C.; Thomas, C.; Abrams, G. 2016. **Data management for urban tree monitoring—software requirements**. Philadelphia, PA: Azavea. 124 p. <http://www.azavea.com/research/urban-tree-monitoring> (accessed 18 April 2019).
- Brassel, P.; Lischke, H. 2001. **Swiss national forest inventory: methods and models of the second assessment**. Birmendorf, Switzerland. WSL Swiss Federal Research Institute.
- Breger, B.; Eisenman, T.E.; Kramer, M.; Roman, L.A.; Rogan, J.; Martin, D. 2019. **Urban tree survival and stewardship in a state-managed planting initiative: A case study in Holyoke, Massachusetts**. *Urban Forestry & Urban Greening*. 43: e126382.
- Briber, B.; Hutyra, L.; Reinmann, A.; Raciti, S.; Dearborn, V.; Holden, C.; Dunn, A. 2015. **Tree productivity enhanced with conversion from forest to urban land covers**. *PLoS ONE* 10(8): e0136237.
- Brokaw, N.; Thompson, J. 2000. **The H for DBH**. *Forest Ecology & Management*. 129: 89-91.
- Broman, K.W.; Woo, K.H. 2018. **Data organization in spreadsheets**. *The American Statistician*. 72(1): 2-10.

- Campbell, L.K.; Svendsen, E.S.; Roman, L.A. 2016. **Co-production of knowledge at the research-practice interface: case studies from urban forestry**. *Journal of Environmental Management*. 57: 1262-1280.
- Cadenasso, M. 2017. **Personal communication**. Professor, University of California, Davis, One Shields Avenue, Davis, CA 95616.
- Celestian, S.B.; Martin, C.A. 2005. **Effects of parking lot location on size and physiology of four southwestern U.S. landscape trees**. *Journal of Arboriculture*. 31: 191-197.
- Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health [CDCP NIOSH]. [N.d. a]. **Heat stress— heat related illness**. <https://www.cdc.gov/niosh/topics/heatstress/heatrelillness.html> (accessed 7 August 2018).
- Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health [CDCP NIOSH]. [N.d. b]. **Motor vehicle safety at work**. <https://www.cdc.gov/niosh/motorvehicle/default.html> (accessed 7 August 2018).
- Choukas-Bradley, M. 2008. **City of trees: the complete field guide to the trees of Washington, DC**. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press. 368 p.
- Citizenscience.gov. 2016. **Federal crowdsourcing and citizen science toolkit**. <https://crowdsourcing-toolkit.sites.usa.gov/> (accessed 2 August 2017).
- Clark, J.R.; Matheny, N.P.; Cross, G.; Wake, V. 1997. **A model of urban forest sustainability**. *Journal of Arboriculture*. 23: 17-30.
- Climate Action Reserve. 2018. **Urban forest project**. <http://www.climateactionreserve.org/urban-forest-project/> (accessed 2 August 2018).
- Condit, R. 1998. **Tropical forest census plots**. Berlin, Heidelberg and New York, NY: Springer-Verlag.
- Conway, T.M. 2016. **Tending their urban forest: Residents' motivations for tree planting and removal**. *Urban Forestry & Urban Greening*. 17: 23-32.
- Cozad, S. 2005. **STRATUM case study evaluation in Minneapolis, Minnesota**. Davis, CA: University of California, Davis. 81 p. M.S. thesis.
- Crall, A.W.; Newman, G.J.; Stohlgren, T.J.; Holfelder, K.A.; Graham, J.; Waller, D.M. 2011. **Assessing citizen science data quality: an invasive species case study**. *Conservation Letters*. 4: 433-442.
- Crown, C.A.; Greer, B.Z.; Gift, D.M.; Watt, F.S. 2018. **Every tree counts: reflections on NYC's third volunteer street tree inventory**. *Arboriculture & Urban Forestry*. 44: 49-58.

- Cumming, A.B.; Nowak, D.J.; Twardus, D.B.; Hoehn, R.; Mielke, M.; Rideout, R. 2007. **Urban forests of Wisconsin: pilot monitoring project 2002**. NA-FR-05-07. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry. 33 p.
- Cumming, A.B.; Twardus, D.B.; Nowak, D.J. 2008. **Urban forest health monitoring: large-scale assessments in the United States**. *Arboriculture & Urban Forestry*. 34: 341-346.
- Day, L.; Smoke, T. 2011. **Field guide to the street trees of New York City**. Baltimore, MD: John Hopkins University Press. 296 p.
- di Salvo, A. 2016. **Personal communication**. Outreach and science supervisor, Urban Forestry, Portland Parks & Recreation. 10910 N Denver Avenue, Portland, OR 97217.
- Dickinson, J.L.; Shirk, J.; Bonter, D.; Bonney, R.; Crain, R.L.; Martin, J.; Phillips, T.; Purcell, K. 2012. **The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement**. *Frontiers in Ecology & Evolution*. 10: 291-297.
- Dickinson, J.L.; Zuckerberg, B.; Bonter, D.N. 2010. **Citizen science as an ecological research tool: challenges and benefits**. *Annual Review of Ecology, Evolution, & Systematics*. 41: 149-172.
- Dyson, K.; Ziter, C.; Fuentes, T.L.; Patterson, M.S. 2019. **Conducting urban ecology research on private property: advice for new urban ecologists**. *Journal of Urban Ecology*. 5(1): juz001.
- Ellis, B. 2015. **Chesapeake gardening and landscaping: the essential green guide**. Chapel Hill, NC: University of North Carolina. 315 p.
- Elmes, A.; Rogan, J.; Roman, L.A.; Williams, C.; Ratick, S.; Nowak, D.; Martin, D. 2018. **Predictors of mortality for juvenile trees in a residential urban-to-rural cohort in Worcester, MA**. *Urban Forestry & Urban Greening*. 30: 138-151.
- Gerhold, H.D. 2007a. **Callery pear cultivars tested as street trees: final report on a 12-year study**. *Arboriculture & Urban Forestry*. 33: 153-156.
- Gerhold, H.D. 2007b. **Crabapple cultivars tested as street trees: third report**. *Arboriculture & Urban Forestry*. 33: 176-181.
- Gerhold, H.D. 2008. **Serviceberry cultivars tested as street trees: second report**. *Arboriculture & Urban Forestry*. 34: 129-132.
- Goldman, E. 2017. **Seeing community through the trees: characterizing resident response to urban-tree planting initiatives**. International Development, Community and Environment. Worcester, MA: Clark University. 121 p. M.A. thesis.

- Gschwanter, T.; Schadauer, K.; Vidal, C.; Lanz, A.; Tomppo, E.; di Cosmo, L.; Robert, N.; Duursma, D.E.; Lawrence, M. 2009. **Common tree definitions for national forest inventories in Europe**. *Silva Fennica*. 43: 303-321.
- Hallett, R.A.; Bailey, S.W.; Horsley, S.B.; Robert, P. 2006. **Influence of nutrition and stress on sugar maple at a regional scale**. *Canadian Journal of Forest Research*. 36: 2235-2246.
- Hallett, R.A.; Hallett, T. 2018. **Citizen science and tree health assessment: How useful are the data?** *Arboriculture & Urban Forestry*. 44: 236-247.
- Hallett, R.A.; Johnson, M.L.; Sonti, N.F. 2018. **Assessing the tree health impacts of salt water flooding in coastal cities: a case study in New York City**. *Landscape and Urban Planning*. 177: 171-177.
- Hamilton, K.; Koeser, A.K.; Landry, S.M. 2018. **Accuracy of volunteer-derived data from a single-day inventory event built around a crowd-sourcing tree mapping application**. *Arboriculture & Urban Forestry*. 44: 248-254.
- Harrington, J.L. 2009. **Relational database design and implementation: Clearly explained**. 3rd ed. Burlington, MA: Morgan Kaufmann. 419 p.
- Harris, R.W.; Clark, J.R.; Matheny, N.P. 2004. **Arboriculture: integrated management of landscape trees, shrubs, and vines**. 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. 578 p.
- Hatch, C.; Faber, P. 2007. **Trees of the California landscape: a photographic manual of native and ornamental trees**. Berkeley, CA: University of California Press. 544 p.
- Hauer, R.J.; Peterson, W.D. 2016. **Municipal tree care and management in the United States: a 2014 urban & community forestry census of tree activities**. Special Publication 16-1. Madison, WI: College of Natural Resources, University of Wisconsin—Stevens Point. 71 p.
- Hernandez, M.J. 2013. **Database design for mere mortals: a hands-on guide to relational database design**. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley. 613 p.
- Hilbert, D.R.; Roman, L.A.; Koeser, A.K.; van Doorn, N.S. 2019. **Factors associated with urban tree mortality: a literature review**. *Arboriculture & Urban Forestry*. 45(5): 167-200.
- Holt, L. 2010. **Sticky trees: learn to recognize at a glance the 15 most common trees in the United States—in just one hour, guaranteed**. New York, NY: Laurence Holt Books. 256 p.
- Hostetler, A.E.; Rogan, J.; Martin, D.G.; DeLauer, V.; O’Neil-Dunne, J. 2013. **Characterizing tree canopy loss using multi-source GIS data in Central Massachusetts, USA**. *Remote Sensing Letters*. 4: 1137-1146.

- Husch, B.; Beers, T.W.; Kershaw, J.A., Jr. 2002. **Forest mensuration**. New York, NY: John Wiley & Sons. 443 p.
- i-Tree. 2017a. **i-Tree Eco field guide, ver. 6.0**. April 16, 2017. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service and Kent, OH: Davey Tree Expert Co., and other cooperators. 45 p. Available at <https://www.itreetools.org> (accessed July 11, 2017).
- i-Tree. 2017b. **i-Tree pest detection**. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service and Kent, OH: Davey Tree Expert Co., and other cooperators. 45 p. Available at <https://www.itreetools.org/tools/i-tree-pest-detection-iped> (accessed 26 June 2020).
- Kitahara, F.; Mizoue, N.; Yoshida, S. 2009. **Evaluation of data quality in Japanese National Forest Inventory**. Environmental Monitoring & Assessment. 159: 331-340.
- Ko, Y.; Lee, J.H.; McPherson, E.G.; Roman, L.A. 2015a. **Factors affecting long-term mortality of residential shade trees: evidence from Sacramento, California**. Urban Forestry & Urban Greening. 14: 500-507.
- Ko, Y.; Lee, J.H.; McPherson, E.G.; Roman, L.A. 2015b. **Long-term monitoring of Sacramento shade program trees: tree survival, growth and energy-saving performance**. Landscape and Urban Planning. 143: 183-191.
- Koeser, A.K.; Gilman, E.F.; Paz, M.; Harchick, C. 2014. **Factors influencing urban tree planting program growth and survival in Florida, United States**. Urban Forestry & Urban Greening. 13: 655-661.
- Koeser, A.K.; Smiley, E.T. 2017. **Impact of assessor on tree risk assessment ratings and prescribed mitigation measures**. Urban Forestry & Urban Greening. 24: 109-115.
- Kondo, M.C.; Han, S.; Donovan, G.H.; MacDonald, J.M. 2017. **The association between urban trees and crime: evidence from the spread of emerald ash borer in Cincinnati**. Landscape and Urban Planning. 157: 193-199.
- Konijnendijk, C.C.; Ricard, R.M.; Kenney, A.; Randrup, T.B. 2006. **Defining urban forestry—A comparative perspective of North America and Europe**. Urban Forestry & Urban Greening. 4: 93-103.
- Kumar, N.; Belhumeur, P.N.; Biswas, A.; Jacobs, D.W.; Kress, W.J.; Lopez, I.C.; Soares, J.V.B. 2012. **Leafsnap: a computer vision system for automatic plant species identification**. Proceedings of the 12th European conference on computer vision ECCV 2012. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag. 7573: 502-516. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-33709-3\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-642-33709-3_36).

- Lambin, E.F.; Geist, H.; Rindfuss, R.R. 2006. **Introduction: local processes with global impacts.** In: Lambin, E.F.; Geist, H., eds. Land-use and land-cover change: local processes and global impacts. Berlin, Germany: Springer-Verlag: 1-8.
- Lamprecht, M.R.; Sabatini, D.M.; Carpenter, A.E. 2007. **CellProfiler™: free, versatile software for automated biological image analysis.** *BioTechniques*. 42: 71-75.
- Larsen, G.A. 2011. **SQL server: natural key versus surrogate key.** *Database Journal*. Posted Jan. 31, 2011. [www.databasejournal.com/features/mssql/article.php/3922066/SQL-Server-Natural-Key-Verses-Surrogate-Key.htm](http://www.databasejournal.com/features/mssql/article.php/3922066/SQL-Server-Natural-Key-Verses-Surrogate-Key.htm) (accessed 18 April 2019).
- Lawrence, A.B.; Escobedo, F.J.; Staudhammer, C.L.; Zipperer, W. 2012. **Analyzing growth and mortality in a subtropical urban forest ecosystem.** *Landscape and Urban Planning*. 104: 85-94.
- Leers, M.; Moore, G.M.; May, P.B. 2018. **Assessment of six indicators of street tree establishment in Melbourne, Australia.** *Arboriculture & Urban Forestry*. 44: 12-22.
- Leff, M. 2016. **The sustainable urban forest: a step-by-step approach.** The Davey Institute and U.S. Department of Agriculture, Forest Service. [www.itreetools.org/resources/content/Sustainable\\_Urban\\_Forest\\_Guide\\_14Nov2016.pdf](http://www.itreetools.org/resources/content/Sustainable_Urban_Forest_Guide_14Nov2016.pdf) (accessed 9 December 2016).
- Leibowitz, R. 2012. **Urban tree growth and longevity: an international meeting and research symposium white paper.** *Arboriculture & Urban Forestry*. 38: 237-241.
- Levinsson, A.; Fransson, A-M.; Emilsson, T. 2017. **Investigating the relationship between various measuring methods for determination of establishment success of urban trees.** *Urban Forestry & Urban Greening*. 28: 21-27.
- Lima, J.M.T.; Staudhammer, C.L.; Brandeis, T.J.; Escobedo, F.J.; Zipperer, W. 2013. **Temporal dynamics of a subtropical urban forest in San Juan, Puerto Rico.** *Landscape and Urban Planning*. 120: 96-106.
- Lindenmayer, D.B.; Likens, G.E. 2010a. **The science and application of ecological monitoring.** *Biological Conservation*. 143: 1317-1328.
- Lindenmayer, D.B.; Likens, G.E. 2010b. **Effective ecological monitoring.** Washington, DC: CSIRO Publishing. 169 p.
- Lindsey, P.; Bassuk, N. L. 1991. **Specifying soil volumes to meet the water needs of mature urban street trees and trees in containers.** *Journal of Arboriculture*. 17(6): 141-149.
- Lindsey, P.; Bassuk, N.L. 1992. **Redesigning the urban forest from the ground below: a new approach to specifying adequate soil volumes for street trees.** *Journal of Arboriculture*. 24 (3): 25-39.

- Little, E. 1980a. **Audubon Society field guide to North American trees: Eastern region.** New York, NY: Alfred A Knopf. 716 p.
- Little, E. 1980b. **Audubon Society field guide to North American trees: Western region.** New York, NY: Alfred A Knopf. 640 p.
- Locke, D.H.; Roman, L.A.; Murphy-Dunning, C. 2015. **Why opt-in to a planting program? Long-term residents value street tree aesthetics.** *Arboriculture & Urban Forestry.* 41: 324-333.
- Loshin, D. 2011. **The practitioner's guide to data quality improvement.** Burlington, MA: Morgan Kaufmann. 397 p.
- Lu, J.W.T.; Svendsen, E.S.; Campbell, L.K.; Greenfield, J.; Branden, J.; King, K.L.; Falxa-Raymond, N. 2010. **Biological, social, and urban design factors affecting young street tree mortality in New York City.** *Cities and the Environment.* 3: article 5.
- Lund, H.G. 1999. **A 'forest' by any other name...** *Environmental Science & Policy.* 2: 125-133.
- MacDicken, K.G.; Wolf, G.V.; Briscoe, C.B. 1991. **Standard research methods for multipurpose trees and shrubs: Manual No. 5.** Arlington, VA: Winrock International Institute for Agricultural Development. 93 p.
- Magarik, Y.A.S.; Roman, L.A.; Henning, J.G. 2020. **How should we measure multi-stemmed urban trees?** *Urban Forestry & Urban Greening.* 47: e126481.
- Martin, M.P.; Simmons, C.; Ashton, M.S. 2016. **Survival is not enough: the effects of microclimate on growth and health of common urban tree species in San Francisco, California.** *Urban Forestry & Urban Greening.* 19: 1-6.
- McHale, M.; Burke, I.C.; Lefsky, M.; Peper, P.; McPherson, E.G. 2009. **Urban forest biomass estimates: Is it important to use allometric relationships developed specifically for urban trees?** *Urban Ecosystems.* 12(1): 95-113.
- McPherson, E.G. 2014. **Monitoring million trees LA: tree performance during the early years and future benefits.** *Arboriculture & Urban Forestry.* 40: 285-300.
- McPherson, E.G.; Albers, S.N. 2014. **Evaluation of seven drought tolerant tree species for central California.** *Western Arborist.* Fall: 10-15.
- McPherson, E.G.; Berry, A.; van Doorn, N.S. 2018. **Performance testing to identify climate-ready trees.** *Urban Forestry & Urban Greening.* 29: 28-39.
- McPherson, E.G.; Kotow, L. 2013. **A municipal forest report card: results for California, USA.** *Urban Forestry & Urban Greening.* 12: 134-143.

- McPherson, E.G.; Muchnick, J. 2005. **Effects of street tree shade on asphalt concrete pavement performance.** *Journal of Arboriculture*. 31(6): 303-310.
- McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Maco, S.E.; Xiao, Q. 2005. **Municipal forest benefits and costs in five US cities.** *Journal of Forestry*. 103(8): 411-416.
- McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Xiao, Q.; Wu, C. 2008. **Los Angeles 1-million tree canopy cover assessment.** Gen. Tech. Rep. PSW- GTR-207. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 52 p.
- McPherson, E.G.; van Doorn, N.S.; Peper, P.J. 2016. **Urban tree database and allometric equations.** Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-253. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 86 p.
- McPherson, E.G.; Xiao, Q.; Purohit, J.; Dietsberger, M.; Boardman, C.R.; Simpson, J.; Peper, P. 2014. **ecoSmart landscapes: a versatile SaaS platform for green infrastructure applications in urban environments.** Misc. publ. In: Ames, D.P.; Quinn, N.W.T.; Rizzoli, A.E., eds. 7th international congress on Environmental Modeling and Software. San Diego, CA: International Environmental Modelling and Software Society: 1017-1024.
- McRoberts, R.E.; Bechtold, W.A.; Patterson, P.L.; Scott, C.T.; Reams, G.A. 2005. **The enhanced Forest Inventory and Analysis program of the USDA Forest Service: historical perspective and announcement of statistical documentation.** *Journal of Forestry*. 103: 305-308.
- Metropolitan Transportation Commission [MTC]. 1986. **Pavement condition index distress identification manual for asphalt and surface treatment pavements.** Second ed. Oakland, CA. 35 p.
- Millers, I.; Lachange, D.; Burkman, W.G.; Allen, D.C. 1991. **North American sugar maple decline project: organization and field methods.** Gen. Tech. Rep. NE-154. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 26 p.
- Mincey, S.K.; Hutten, M.; Fischer, B.C.; Evans, T.P.; Stewart, S.I.; Vogt, J.M. 2013. **Structuring institutional analysis for urban ecosystems: a key to sustainable urban forest management.** *Urban Ecosystems*. 16: 553-571.
- Mincey, S.K.; Vogt, J.M. 2014. **Watering strategy, collective action, and neighborhood-planted trees: a case study of Indianapolis, Indiana.** *Arboriculture & Urban Forestry*. 40: 84-95.

- Morani, A.; Nowak, D.J.; Hirabayashi, S.; Calfapietra, C. 2011. **How to select the best tree planting locations to enhance air pollution removal in the MillionTreesNYC initiative.** Environmental Pollution. 159: 1040-1047.
- Moskell, C.; Allred, S.B. 2013. **Residents' beliefs about responsibility for the stewardship of park trees and street trees in New York City.** Landscape & Urban Planning. 120: 85-95.
- National Weather Service [NWS]. [N.d.]. **Heat safety tips and resources.** <https://www.weather.gov/safety/heat> (accessed 7 August 2018).
- National Wildfire Coordinating Group [NWCG]. [N.d.]. **Heat illness prevention (HIP) pocket guide.** <http://www.oregon.gov/ODF/Documents/Fire/HRIPocketGuide.pdf> (accessed 7 August 2018).
- Nguyen, V.D.; Roman, L.A.; Locke, D.H.; Mincey, S.K.; Sanders, J.R.; Smith Fichman, E.; Duran-Mitchell, M.; Tobing, S.L. 2017. **Branching out to residential lands: missions and strategies of five tree distribution programs in the U.S.** Urban Forestry & Urban Greening. 22: 24-35.
- Nowak, D.J.; Bodine, A.R.; Hoehne, R.E., III; Edgar, C.B.; Hartel, D.R.; Lister, T.W.; Brandeis, T.J. 2016a. **Austin's urban forest, 2014.** Resour. Bull. NRS-100. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 55 p.
- Nowak, D.J.; Bodine, A.R.; Hoehn, R.E., III; Ellis, A.E.; Low, S.C.; Roman, L.A.; Henning, J.G.; Stephan, E.; Taggart, T.; Endreny, T. 2016b. **The urban forests of Philadelphia.** Resour. Bull. NRS-106. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 80 p.
- Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Hoehn, R.E.; Walton, J.T.; Bond, J. 2008. **A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services.** Arboriculture & Urban Forestry. 34: 347-358.
- Nowak, D.J.; Hoehne, R.E., III; Bodine, A.R.; Crane, D.E.; Dwyer, J.F.; Bonnewell, V.; Watson, G. 2013a. **Urban trees and forests of the Chicago region.** Resour. Bull. NRS-84. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 106 p.
- Nowak, D.J.; Hoehn, R.E.; Bodine, A.R.; Greenfield, E.J.; O'Neil-Dunne, J. 2013b. **Urban forest structure, ecosystem services and change in Syracuse, NY.** Urban Ecosystems. 19: 1455-1477.
- Nowak, D.J.; Kuroda, M.; Crane, D.E. 2004. **Tree mortality rates and population projections in Baltimore, MD: USA.** Urban Forestry & Urban Greening. 2: 139-147.

- Nowak, D.J.; Stein, S.M.; Randler, P.B.; Greenfield, E.J.; Comas, S.J.; Carr, M.A.; Alig, R.J. 2010. **Sustaining America's urban trees and forests: a forests on the edge report**. Gen. Tech. Rep. NRS-62. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 27 p.
- Östberg, J.; Delshammar, T.; Nielsen, A.B. 2012. **Standards for conducting tree inventories in urban environments**. Version 1.0. Uppsala, Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Landscape Architecture, Planning and Management. 49 p.
- Östberg, J.; Delshammar, T.; Wistrom, B.; Nielsen, A.B. 2013. **Grading of parameters for urban tree inventories by city officials, arborists, and academics using the Delphi method**. *Environmental Management*. 51: 694-708.
- Oswalt, S.N.; Smith, W.B.; Miles, P.D.; Pugh, S.A. 2014. **Forest resources of the United States, 2012: a technical document supporting the Forest Service 2010 update of the RPA assessment**. Gen. Tech. Rep. WO-91. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 218 p.
- PA Urban & Community Forestry Council. 2018. **Urban Tree Monitoring Training Toolkit: Train citizen scientists to monitor recently planted tree performance**. <https://treepennsylvania.org/young-urban-tree-monitoring-training-toolkit/> (accessed 1 October 2018).
- Piana, M.; Troxel, B. 2014. **Beyond planting: An urban forestry primer. Scenario 4: building the urban forest**. <https://scenariojournal.com/article/beyond-planting/> (accessed 21 November 2017).
- Plotnik, A. 2000. **The urban tree book: an uncommon field guide for city and town**. New York, NY: Three Rivers Press. 433 p.
- Pokorny, J.D. 2003. **Urban tree risk management: a community guide to program design and implementation**. NA-TP-03-03. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area. 194 p.
- Pontius, J.; Hallett, R. 2014. **Comprehensive methods for earlier detection and monitoring of forest decline**. *Forest Science*. 60: 1156-1163.
- Powell, D.C. 1999. **Suggested stocking levels for forest stands in northeastern Oregon and southeastern Washington: an implementation guide for the Umatilla National Forest**. Tech. Publ. F14-SO-TP-03-99. Walla Walla, WA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Region, Umatilla National Forest. 300 p.
- Pregitzer, C.C.; Charlop-Powers, S.; Bibbo, S.; Forgione, H.M.; Gunther, B.; Hallett, R.A.; Bradford, M.A. 2018. **A city-scale assessment reveals that native forest types and overstory species dominate New York City forests**. *Ecological Applications*. 29: e01819.

- R Core Team. 2017. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Richards, N.A. 1979. **Modeling survival and consequent replacement needs of a street tree population**. *Journal of Arboriculture*. 5: 251-255.
- Richards, N.A. 1992. **Optimum stocking of urban trees**. *Journal of Arboriculture*. 18: 64-68.
- Ritter, M. 2011. **A Californian's guide to the trees among us**. Berkeley, CA: Heydey. 192 p.
- Roman, L.A.; Battles, J.J.; McBride, J.R. 2014a. **Determinants of establishment survival for residential trees in Sacramento County, CA**. *Landscape and Urban Planning*. 129: 22-31.
- Roman, L.A.; Battles, J.J.; McBride, J.R. 2014b. **The balance of planting and mortality in a street tree population**. *Urban Ecosystems*. 17: 387-404.
- Roman, L.A.; Battles, J.J.; McBride, J.R. 2016. **Urban tree mortality: a primer on demographic approaches**. Gen. Tech. Rep. NRS-158. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 24 p.
- Roman, L.A.; Campbell, L.K.; Jordan, R.C. 2018a. **Civic science in urban forestry: an introduction**. *Arboriculture & Urban Forestry*. 44: 41-48.
- Roman, L.A.; McPherson, E.G.; Scharenbroch, B.C.; Bartens, J. 2013. **Identifying common practices and challenges for local urban tree monitoring programs across the United States**. *Arboriculture & Urban Forestry*. 39: 292-299.
- Roman, L.A.; Scharenbroch, B.C.; Ostberg, J.P.A.; Mueller, L.S.; Henning, J.G.; Koeser, A.K.; Sanders, J.R.; Betz, D.R.; Jordan, R.C. 2017. **Data quality in citizen science urban tree inventories**. *Urban Forestry & Urban Greening*. 22: 124-135.
- Roman, L.A.; Smith, B.C.; Dentice, D.; Maslin, M.; Abrams, G. 2018b. **Monitoring young tree survival with citizen scientists: the evolving Tree Checkers program in Philadelphia, PA**. *Arboriculture & Urban Forestry*. 44: 255-265.
- Roman, L.A.; van Doorn, N.S.; McPherson, E.G.; Scharenbroch, B.C.; Henning, J.G. [et al.]. 2020. **Urban tree monitoring: A field guide**. Gen. Tech. Rep. NRS-194. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 48 p. <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-194>.
- Roman, L.A.; Walker, L.A.; Martineau, C.M.; Muffly, D.J.; MacQueen, S.A.; Harris, W. 2015. **Stewardship matters: case studies in establishment success of urban trees**. *Urban Forestry & Urban Greening*. 14: 1174-1182.

- Rushforth, K.; Tomblin, G. 2004. **The easy tree guide: common native and cultivated trees of the United States and Canada.** Guilford, CO: Falcon Guide. 288 p.
- Sanders, J.R.; Grabosky, J.C. 2014. **20 years later: Does reduced soil area change overall tree growth?** *Urban Forestry & Urban Greening*. 13: 295-303.
- Scharenbroch, B.C.; Catania, M. 2012. **Soil quality attributes as indicators of urban tree performance.** *Arboriculture and Urban Forestry*. 38: 214-228.
- Scharenbroch, B.C.; Carter, D.; Bialecki, M.; Fahey, R.; Scheberl, L. [et al.]. 2017. **A rapid urban site index for assessing the quality of street tree planting sites.** *Urban Forestry & Urban Greening*. 27: 279-286.
- Scharenbroch, B.E.; Fite, K.; Kramer, E.; Uhlig, R. 2018. **Pedogenic processes and urban tree health in engineered urban soils in Boston, Massachusetts, USA.** *Soil Science*. 183: 159-167.
- Scharenbroch, B.C.; Lloyd, J.E.; Johnson-Maynard, J.L. 2005. **Distinguishing urban soils with physical, chemical, and biological properties.** *Pedobiologia*. 49: 283-296.
- Scharenbroch, B.C.; Roman, L.A.; McPherson, E.G.; Bartens, J.; Boyer, D. 2014. **Taking the urban forest's pulse: working group focused on tree growth and longevity.** *Arborist News*. 23: 54-55.
- Sheil, D. 1995. **A critique of permanent plot methods and analysis with examples from Budongo Forest, Uganda.** *Forest Ecology and Management*. 77: 11-34.
- Silberschatz, A.; Korth, H.F.; Sudarshan, S. 2011. **Database systems concepts.** 6th ed. New York, NY: McGraw Hill. 1349 p.
- Silva, P.; Barry, E.; Plitt, S. 2013. **TreeKIT: measuring, mapping, and collaboratively managing urban forests.** *Cities and the Environment*. 6(1): article 3.
- Silvertown, J. 2009. **A new dawn for citizen science.** *Trends in Ecology and Evolution*. 24: 467-471.
- Sjöman, H.; Östberg, J.; Bühler, O. 2012. **Diversity and distribution of the urban tree population in ten major Nordic countries.** *Urban Forestry & Urban Greening*. 11: 31-39.
- Snowdon, P.; Raison, J.; Keith, H.; Ritson, P.; Grierson, P.; Adams, M.; Montagu, K.; Bi, H.; Burrows, W.; Eamus, D. 2002. **Protocol for sampling tree and stand biomass.** Technical Report 31. Canberra, Australia: Australian Greenhouse Office, National Carbon Accounting System.

- Staudhammer, C.; Escobedo, F.; Lawrence, A.; Duryea, M.; Smith, P.; Merritt, M. 2011. **Rapid assessment of change and hurricane impacts to Houston's urban forest structure.** *Arboriculture & Urban Forestry*. 37: 60-66.
- Steinman, J. 1998. **Tracking the health of trees over time on forest health monitoring plots.** In: Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century. Gen. Tech. Rep. NC-212. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station: 334-339.
- Stewart, J.L.; Dundson, A.J. 1994. **Performance of 25 Central American dry zone hardwoods in a pantropical series of species elimination trials.** *Forest Ecology & Management*. 65: 183-193.
- Stewart, J.L.; Salazar, R. 1992. **A review of measurement options for multipurpose trees.** *Agroforestry Systems*. 19: 173-183.
- St. John, N. 2011. **Street tree inventories being conducted in five Portland neighborhoods.** *Neighborhood Notes*, June 29, 2011. [www.neighborhoodnotes.com/news/2011/06/street\\_tree\\_inventories\\_being\\_conducted\\_in\\_five\\_portland\\_neighborhoods/](http://www.neighborhoodnotes.com/news/2011/06/street_tree_inventories_being_conducted_in_five_portland_neighborhoods/) (accessed 9 December 2019).
- Straley, G. 1992. **Trees of Vancouver.** Vancouver, BC: University of British Columbia Press. 270 p.
- Svendsen, E.S.; Campbell, L.K.; Fisher, D.R.; Connolly, J.T.; Johnson, M.L. [et al.]. 2016. **Stewardship mapping and assessment project: A framework for understanding community-based environmental stewardship.** Gen. Tech. Rep. NRS-156. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 134 p.
- The Institute for Local Government. 2010. **Understanding the basics of land use and planning: glossary of land use and planning terms.** [https://www.ca-ilg.org/sites/main/files/file-attachments/2010\\_-\\_landuseglossary.pdf](https://www.ca-ilg.org/sites/main/files/file-attachments/2010_-_landuseglossary.pdf) (accessed 16 May 2019).
- Tracey, D. 2016. **Vancouver tree book: a living city field guide.** Vancouver, BC: Pure Wave Media. 240 p.
- Troxel, B.; Piana, M.; Ashton, M.S.; Murphy-Dunning, C. 2013. **Relationships between bole and crown size for young urban trees in the northeastern USA.** *Urban Forestry & Urban Greening*. 12(2): 144-153.
- Tulloch, A.I.T.; Possingham, H.P.; Joseph, L.N.; Szabo, J.; Martin, T.G. 2013. **Realising the full potential of citizen science monitoring programs.** *Biological Conservation*. 165: 128-138.

- Urban, J. 1992. **Bringing order to the technical dysfunction within the urban forest.** *Journal of Arboriculture*. 18(2): 85-90.
- Urban, J. 2008. **Up by roots: healthy soils and trees in the built environment.** Champaign, IL: International Society of Arboriculture. 479 p.
- USDA Forest Service [USDA FS]. 2014. **Urban forest inventory: monitoring the trees where people live.** Northern Research Station. <https://www.fs.fed.us/nrs/local-resources/docs/FIA-BrochureUrban14JUL.pdf> (accessed 27 November 2017).
- USDA Forest Service [USDA FS]. 2015. **Urban forest inventory and analysis: frequently asked questions.** Revised September 8, 2015. [www.fs.fed.us/research/docs/urban/urban-fia-faq](http://www.fs.fed.us/research/docs/urban/urban-fia-faq) (accessed 27 November 2017).
- USDA Forest Service [USDA FS]. 2016. **Forest Inventory and Analysis national core field guide. Volume 1: Field data collection procedures for Phase 2 plots, version 7.1.** Washington, DC. 432 p. [https://www.fia.fs.fed.us/library/field-guides-methods-proc/docs/2016/core\\_ver7-1\\_10\\_2016-opt.pdf](https://www.fia.fs.fed.us/library/field-guides-methods-proc/docs/2016/core_ver7-1_10_2016-opt.pdf) (accessed 1 August 2017).
- USDA Forest Service [USDA FS]. 2017. **Forest Inventory and Analysis national urban FIA plot field guide: field data collection procedures for urban FIA plots, version 7.1.** Washington, DC. 324 p. [https://www.fia.fs.fed.us/library/field-guides-methods-proc/docs/2016/core\\_ver7-1\\_10\\_2016-opt.pdf](https://www.fia.fs.fed.us/library/field-guides-methods-proc/docs/2016/core_ver7-1_10_2016-opt.pdf) (accessed 11 July 2017).
- USDA Forest Service [USDA FS]. 2020. **Forest Inventory and Analysis National Program Urban FIA Programs.** <https://www.fia.fs.fed.us/program-features/urban/> (accessed 1 July 2020).
- U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration [USDL OSHA]. [N.d.]. **Personal protective equipment.** [https://www.osha.gov/SLTC/personalprotectiveequipment/hazards\\_solutions.html](https://www.osha.gov/SLTC/personalprotectiveequipment/hazards_solutions.html) (accessed 8 August 2017).
- U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration [USDA FHA]. [N.d.]. **Flexibility in highway design.** 193 p. <https://www.fhwa.dot.gov/environment/publications/flexibility/flexibility.pdf> (accessed 1 August 2017).
- van Doorn, N.S. 2014. **Best practices and quantified error rates for long-term tagged-tree inventories: examples from a temperate forest.** In: *Patterns and processes of forest growth: the role of neighborhood dynamics and tree demography in a northern hardwood forest.* Berkeley, CA: University of California, Berkeley: 90-123. Ph.D. dissertation. Chapter 3.

- van Doorn, N.S.; Battles, J.J.; Fahey, T.J.; Siccama, T.G.; Schwarz, P.A. 2011. **Links between biomass and tree demography in a northern hardwood forest: a decade of stability and change in Hubbard Brook Valley, New Hampshire.** Canadian Journal of Forest Research. 41: 1369-1379.
- van Doorn, N.S.; McPherson, E.G. 2018. **Demographic trends in Claremont California's street tree populations.** Urban Forestry & Urban Greening. 29: 200-211.
- Van Laar, A.; Akca, A. 2007. **Forest mensuration.** Berlin, Germany: Springer. 385 p.
- Van Mantgem, P.J.; Stephenson, N.L. 2005. **The accuracy of matrix population model projections for coniferous trees in the Sierra Nevada, California.** Journal of Ecology. 93(4): 737-747.
- Vogt, J.M.; Fischer, B.C. 2014. **A protocol for citizen science monitoring of recently-planted urban trees.** Cities and the Environment. 7(2): article 4.
- Vogt, J.M.; Watkins, S.L.; Mincey, S.K.; Patterson, M.S.; Fischer, B.C. 2015a. **Explaining planted-tree survival and growth in urban neighborhoods: social-ecological approach to studying recently-planted trees in Indianapolis.** Landscape & Urban Planning. 136: 130-143.
- Vogt, J.; Watkins, S.L.; Widney, S.; Fischer, B. 2015b. **The need to standardize at-planting data.** Arborist News. 24(6): 27-31.
- Ward, R.C.; Loftis, J.C.; McBride, G.B. 1986. **The "data-rich but information-poor" syndrome in water quality monitoring.** Environmental Management. 10: 291-297.
- West, P.W. 2009. **Tree and forest measurement.** 2nd ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag. 192 p.
- Westfall, J.A.; Woodall, C.W. 2007. **Measurement repeatability of a large-scale inventory of forest fuels.** Forest Ecology & Management. 253: 171-176.
- Widney, S.; Fischer, B.C.; Vogt, J. 2016. **Tree mortality undercuts ability of tree-planting programs to provide benefits: results of a three-city study.** Forests. 7: 65.
- Yang, J.; McBride, J. 2003. **A unique technique for street tree planting in Beijing.** Arboriculture Journal. 27: 1-10.

## Apéndice 1: Ejemplos de tipo de sitio y uso del suelo

La serie de fotos de la Figura 8 ilustra ejemplos de cómo clasificar árboles urbanos por tipo de sitio y uso del suelo con los protocolos. Ver más información y ejemplos de las categorías en la sección 2.6 Tipo de sitio y en la sección 2.7 Uso del suelo de la *Guía de campo*. A continuación, se muestran las categorías de tipo de sitio y uso del suelo para facilidad de consulta.

### Categoría de tipo de sitio

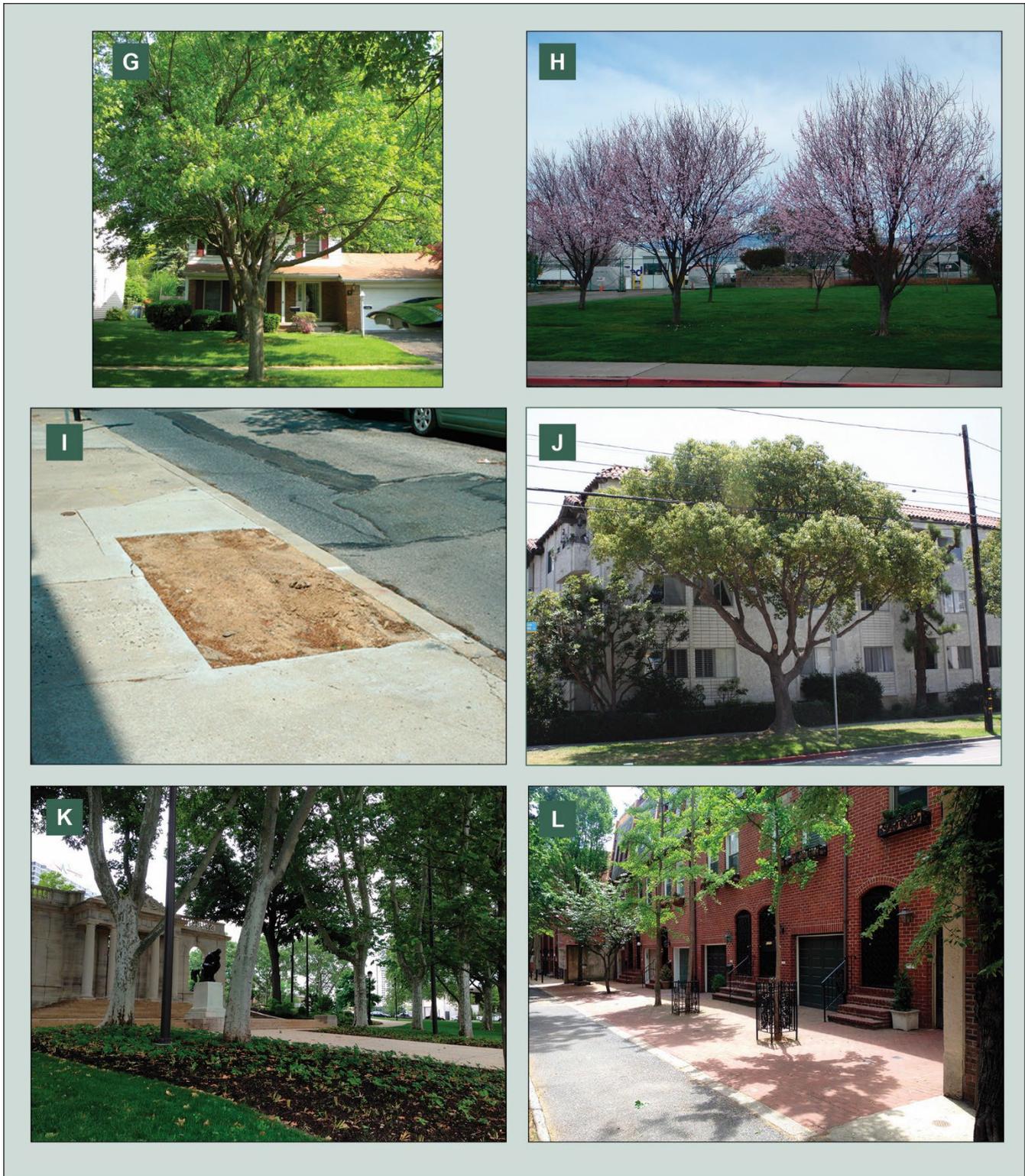
- Cepa en acera (banqueta o vereda)
- Franja de plantación a lo largo de la acera
- Camellón/separador vial
- Maceta
- Otras superficies duras (*hardscape*)
- Jardín frontal
- Jardín lateral
- Jardín trasero
- Parque con mantenimiento
- Otra área de paisaje con mantenimiento
- Área natural

### Categorías de uso del suelo

- Residencial unifamiliar-independiente
- Residencial unifamiliar-anexa
- Residencial multifamiliar
- Uso mixto
- Comercial
- Industrial
- Institucional
- Parque con mantenimiento
- Área natural
- Cementerio
- Campo de golf
- Agrícola
- Servicios públicos
- Agua/humedal
- Transporte
- Lote baldío
- Otro



**Figura 8—**(A) Tipo de sitio, cepa en acera; Uso del suelo: comercial. Foto de B.C. Sharenbroch, usada con permiso. (B) Tipo de sitio: franja de plantación a lo largo de la acera; Uso del suelo: residencial unifamiliar-anexa. Foto de L.B. Shafer, usada con permiso. (C) Tipo de sitio: otras superficies duras; Uso del suelo: institucional. Foto de L.A. Roman, Servicio Forestal del USDA (D) Tipo de sitio: cepa en acera; Uso del suelo: institucional. Foto de B.C. Sharenbroch, usada con permiso. (E) Tipo de sitio: cepa en acera; Uso del suelo: residencial unifamiliar-anexa. Foto de B.C. Sharenbroch, usada con permiso. (F) Tipo de sitio: otras superficies duras; Uso del suelo: comercial. Foto de L.A. Roman, Servicio Forestal del USDA.



**Figure 8 (continuación)**—(G) Tipo de sitio: franja de plantación a lo largo de la acera (árbol al frente); Uso del suelo: residencial unifamiliar-independiente. Foto de B.C. Sharenbroch, usada con permiso. (H) Tipo de sitio: parque con mantenimiento; Uso del suelo: parque con mantenimiento. Foto de L.A. Roman, Servicio Forestal del USDA (I) Tipo de sitio: cepa en acera; Uso del suelo: lote baldío. Foto de J.P. Fristensky, usada con permiso. (J) Tipo de sitio: franja de plantación a lo largo de la acera; Uso del suelo: residencial multifamiliar-anexa. Fotografía de N. S. van Doorn, Servicio Forestal de USDA. (K) Tipo de sitio: parque con mantenimiento; Uso del suelo: institucional. Foto de L.A. Roman, Servicio Forestal del USDA (L) Tipo de sitio: otra superficie dura, árboles en jardín cerrado detrás de casas anexas; Uso del suelo: residencial unifamiliar-anexa. Foto de J.P. Fristensky, usada con permiso.

## Apéndice 2: Recursos para identificación de especies

A continuación, una pequeña muestra de recursos disponibles para ayudar con la identificación de géneros y especies para árboles urbanos en Estados Unidos y Canadá. Ningún recurso para identificación de especies en particular cubre todos los árboles urbanos en esta amplia área geográfica y los recursos que aparecen a continuación difieren en su accesibilidad para brigadas de campo con distintos niveles de conocimientos de botánica. Los supervisores de proyecto podrían desear crear guías de identificación de especies específicas de sus ciudades, tomando ideas de la información presentada en estos recursos.

### Sitios web y aplicaciones

#### ***What Tree Is That? de Arbor Day Foundation***

[www.arborday.org/trees/whattree/mobile.cfm](http://www.arborday.org/trees/whattree/mobile.cfm)

Una aplicación gratuita paso a paso que guía al usuario a través de la identificación de especies y géneros usando claves dicotómicas.

#### ***Audubon Field Guide to North American Trees***

<http://www.audubonguides.com/index.html>

Una aplicación de bajo costo con imágenes y función de búsqueda por forma de la hoja, región, corteza y otras opciones avanzadas para ayudar a la identificación de especies y géneros de árboles de Norteamérica.

#### ***Leafsnap***

[www.leafsnap.com](http://www.leafsnap.com)

Una aplicación electrónica gratuita mediante la cual los usuarios pueden capturar fotografías y ver una lista de posibles especies de árboles, de la Universidad de Columbia, Universidad de Maryland y *The Smithsonian Institution* (Kumar *et al.* 2012)

#### ***Virginia Tech Dendrology Fact Sheets***

<http://dendro.cnre.vt.edu/dendrology/factsheets.cfm>

Hojas de datos de Virginia Tech que describen árboles comunes en Norteamérica, incluyen una presentación de diapositivas con consejos básicos de identificación de árboles y fotos de muchas especies con hojas, estructuras reproductivas y corteza.

## Libros

### ***Audubon Society Field Guide to North American Trees: Eastern Region***

Guía de campo con referencias de casi 700 especies de árboles que se encuentran al oriente de las Montañas Rocallosas, centrada principalmente en árboles nativos, pero incluye algunos ornamentales exóticos (Little 1980a)

### ***Audubon Society Field Guide to North American Trees: Western Region***

Guía de campo con referencias de casi 700 especies de árboles que se encuentran al poniente de las Montañas Rocallosas, centrada principalmente en árboles nativos pero incluye algunos árboles ornamentales exóticos (Little 1980b)

### ***A Californian's Guide to the Trees Among Us***

Guía de consulta de más de 150 de los árboles urbanos más comunes en California (Ritter 2011)

### ***City of Trees: The Complete Field Guide to the Trees of Washington, D.C.***

Recorrido guiado de los árboles de Washington D.C. y claves botánicas para ayudar con la identificación de especies (Choukas-Bradley 2008)

### ***Field Guide to the Street Trees of New York City***

Dibujos y fotografías acompañan las descripciones de 50 especies que se encuentran comúnmente en la ciudad de Nueva York (Day y Smoke 2011)

### ***New York City Trees***

Guía de campo del Departamento de Parques de más de 125 especies en el área metropolitana de la ciudad de Nueva York y la región metropolitana (Barnard 2002)

### ***Philadelphia Trees: A Field Guide to the City and the Surrounding Delaware Valley***

Guía de campo de 118 especies que se encuentran comúnmente en y alrededor de Filadelfia, Pensilvania (Barnard *et al.* 2017)

### ***Sticky Trees—Learn to recognize at a glance the 15 most common trees in the United States - in just one hour, guaranteed***

Guía de consulta con imágenes de 15 árboles comunes dentro de Estados Unidos para ayudar a la identificación de especies (Holt 2010)

### ***The Easy Tree Guide: Common Native and Cultivated Trees of the United States and Canada***

Guía portátil para identificación de especies en el campo (Rushforth y Tomblin 2004)

***The Urban Tree Book: an Uncommon Field Guide for City and Town***

Guía de identificación de más de 200 especies a lo largo de Norteamérica. Incluye ilustraciones y anécdotas (Plotnik 2000)

***Trees of the California Landscape: a Photographic Manual of Native and Ornamental Trees***

Guía ilustrada de los árboles de California que incluye 107 especies nativas y 311 ornamentales (Hatch y Faber 2007)

***Trees of Vancouver***

Guía de consulta de más de 470 tipos de árboles nativos de Canadá y árboles cultivados (Straley 1992)

***Vancouver Tree Book: a Living City Field Guide***

Guía de campo de bolsillo que describe más de 110 especies importantes de Vancouver (Tracey 2016)

## Apéndice 3: Otros protocolos

*Monitoreo de árboles urbanos: una guía de campo* (Roman *et al.* 2020) y *Monitoreo de árboles urbanos: una guía de recursos* se basan en trabajos anteriores de una variedad de investigadores y profesionales. Los recursos a continuación ofrecen protocolos relacionados para inventarios y monitoreo de árboles urbanos.

### **i-Tree Eco**

**Citas de métodos:** Nowak *et al.* 2008, i-Tree 2017a

**Sinopsis:** Para los interesados en monitorear cambios del boque urbano, que representen las características de toda la ciudad, el método de muestreo de i-Tree Eco podría ser más adecuado. Este protocolo bien establecido produce un resumen de estructura forestal urbana, funciones y servicios con base en un inventario de una sola vez, pero también se puede usar para monitoreo continuo siempre que las parcelas estén referenciadas permanentemente (ver la sección 2.6). En comparación con las variables mínimas a registrar, se incluye un conjunto más grande de variables sobre tamaño del árbol, copa y estado del sitio. Los ejemplos de estudios de monitoreo que usan este método para cuantificar la mortalidad, el crecimiento, cambios poblacionales y los impactos de las tormentas en árboles urbanos incluyen a Nowak *et al.* (2004), Staudhammer *et al.* (2011), Lawrence *et al.* (2012) y Lima *et al.* (2013).

### **Urban Forest Inventory and Analysis**

**Citas de métodos:** USDA FS (2017)

**Sinopsis:** El programa del Inventario y Análisis Forestal (*Urban Forest Inventory and Analysis*, FIA) del Servicio Forestal del USDA es una red de muestreo con parcelas a largo plazo que comprende todos los bosques de alta densidad de la nación. El objetivo del programa FIA es crear un inventario preciso y puntual de los bosques de la nación, para monitorear sus condiciones actuales y facilitar el manejo sostenible. En fechas recientes, el programa FIA ha agregado métodos para evaluar bosques urbanos que incorporan rigor estadístico y científico de parcelas tradicionales del FIA con metodología apropiada para entornos urbanos. Cuando se implemente por completo, el FIA Urbano (UFIA) suministrará una red de parcelas de monitoreo de bosques urbanos en toda la nación que abarca una gran variedad de ciudades y usos del suelo. En comparación con el conjunto de datos mínimos, se incluye un conjunto más grande de variables sobre tamaño del árbol, copa y estado del sitio. El FIA y el UFIA se llevan a cabo con brigadas de campo profesionales que deben aprobar acreditaciones especiales en estos métodos.

***Planted Tree Re-Inventory Protocol***

**Citas de métodos:** Vogt y Fischer (2014)

**Sinopsis:** Este protocolo de campo fue elaborado por el *Bloomington Urban Forest Research Group* en el *Center for the Study of Institutions, Populations and Environmental Change*. Los métodos están específicamente diseñados para proyectos de plantación de árboles de la vía con base en los vecindarios e incluye datos sobre el sitio de plantación, crecimiento de los árboles y mantenimiento observado. Los ejemplos de estudios de monitoreo que usan este método incluyen a Vogt *et al.* (2015a) y Widney *et al.* (2016).

***TreeKIT Collaborative Mapping Method***

**Citas de métodos:** Silva *et al.* (2013)

**Sinopsis:** Este protocolo de campo fue ideado para permitir que los voluntarios de la comunidad midan y hagan mapas de árboles de las vías en la ciudad de Nueva York, Nueva York. El método de distancia al borde de una cuadra para registrar la ubicación (ver la sección 2.4.3 de la *Guía de campo*) se basa en estos protocolos. Ese método de ubicación también fue usado para *Trees Count! 2015*, un proyecto de inventario de árboles de las vías con ciencia ciudadana en la ciudad de Nueva York.

**Estándar para inventario de árboles en entornos urbanos—Suecia**

**Citas de métodos:** Östberg *et al.* (2012, 2013)

**Sinopsis:** Investigadores de dasonomía urbana en Suecia se dieron cuenta de que distintos municipios del país tenían una amplia variedad de métodos de inventariado de árboles. Se encuestó a los municipios para comprender los distintos parámetros que empleaba cada uno y la mayoría de las ciudades usaron una base de parámetros. El inventario estándar ha sido bien recibido por la industria forestal en Suecia. Los beneficios de los estándares de inventario de arbolado urbano incluyen hacer recomendaciones nacionales para crear un plan de manejo de árboles, así como para trabajar con árboles en riesgo y ayudar a la industria a contar con un vocabulario y terminología más coherentes.

## Apéndice 4: Programas y actividades de capacitación de la brigada de campo

A continuación, se muestran algunos ejemplos de programas de capacitación de brigadas de campo para el conjunto de datos mínimos, así como actividades que podrían usarse durante la capacitación.

### Programa N.º 1: Tiempo completo (7 horas) programa de capacitación de brigadas de campo para pasantes o ciudadanos científicos

Este es el programa de capacitación para capacitar a ciudadanos científicos para la prueba piloto de la *Guía de campo* (Roman *et al.* 2017) además de los pasantes de temporada. Este programa de capacitación también podría adaptarse para llevarlo a cabo en dos sesiones vespertinas para permitir que los voluntarios participen después de su día de trabajo. Si se puede usar más tiempo para capacitar a pasantes o voluntarios, la capacitación se podría alargar a 2 días para que haya lecciones más largas (p. ej., más tiempo con identificación de especies) además de un día completo de práctica de campo.

09:00 a 9:30	Presentaciones, sinopsis del proyecto, objetivos del monitoreo, teléfonos de contacto
09:30 a 10:00	Información de la brigada de campo, fecha, tipo de sitio, ubicación
10:00 a 11:30	Especies incluida práctica de identificación
11:30 a 12:15	Almuerzo
12:15 a 01:00	Estado de mortalidad, brotes basales. vitalidad de la copa
01:00 a 02:00	Diámetro del tronco
02:00 a 03:30	Práctica al aire libre <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reforzar cómo se usa el equipo estándar y la identificación de especies</li> <li>• Hacer que varios miembros de la brigada registren los mismos árboles por separado y comparen sus observaciones</li> </ul>
03:30 a 03:45	Plática sobre mediciones en campo, actividad sobre fuentes de error
03:30 a 04:00	Capacitación en seguridad e interacciones con peatones

## Programa No. 2: Corto (2.5 horas) programa de capacitación para pasantes o ciudadanos científicos

Esta capacitación es para árboles coetáneos que han sido plantados y supone que no se necesitan muchas habilidades de identificación de especies puesto que se dispone de esta información en los registros de plantación.

09:00 a 09:20	Presentaciones, sinopsis del proyecto, objetivos del monitoreo, teléfonos de contacto
09:20 a 09:40	Ubicación y confirmación de especies
09:40 a 10:00	Vitalidad de la copa
10:00 a 10:20	Diámetro del tronco
10:20 a 10:40	Discusión, actividad sobre fuentes de error, asignaciones al equipo
10:40 a 11:30	Práctica al aire libre

### Actividad No. 1: Cintas diamétricas y muñecas

**Materiales:** cinta diamétrica, bolígrafos, cintas de medir, dos a tres ejemplos de árboles urbanos

**Objetivo:** aprender a usar una cinta diamétrica y comprender las causas de variación en las medidas.

**Tiempo necesario:** 5 a 8 minutos

Pedir a los participantes que formen equipos en parejas. Cada aprendiz debe registrar el diámetro de la muñeca de su compañero. Cambian de compañero y repiten, llevando registro de a quién corresponde cada medida.

Mientras tanto, el supervisor o capacitador camina alrededor y verifica que se estén siguiendo las mejores prácticas (p. ej., que no se lean al revés las cintas diamétricas, que las cintas diamétricas estén al ras de la muñeca).

Después de registrar algunas medidas, formar un solo grupo de nuevo.

Explicar que la muñeca no es un círculo perfecto, así como no lo serán muchos árboles y que las variaciones en el lugar donde se coloca la cinta diamétrica en la muñeca causarán una diferencia en los datos. Hablar sobre las lecciones aprendidas.

### Actividad No. 2: Fuentes de error

**Materiales:** notas autoadheribles, bolígrafos

**Objetivo:** la brigada de campo podrá identificar ejemplos de error de medición (denominado de manera informal “error humano” para efectos de este ejercicio) y la variabilidad natural en las dimensiones de los árboles (llamado de manera informal “error del árbol”). La brigada de campo aportará ideas para corregir el error de medición.

**Tiempo necesario:** 10 a 15 minutos

Esta actividad debe suceder al final de una sesión de capacitación, después de que el supervisor haya explicado los objetivos del proyecto de monitoreo de árboles urbanos y los protocolos para registrar cada variable.

Cada aprendiz recibe una libreta pequeña de notas autoadheribles. Los aprendices anotan todas las fuentes de error o discrepancias que puedan imaginar mientras recolectan datos.

Se usan las notas autoadheribles para crear dos categorías: “problemas del árbol y del sitio” (es decir, algo que sea particularmente difícil en determinados árboles o sitios) y “problemas humanos” (es decir, una persona cometió un error). Se pide a los miembros de la brigada que clasifiquen individualmente sus notas autoadheribles en esas dos categorías.

Revisar y comentar. Generar soluciones para resolver cada “problema del árbol y del sitio”. Generar soluciones para resolver cada “problema humano”.

### Actividad No. 3: Prueba de mapa de dirección y código del sitio

**Materiales:** bolígrafos, tabla de códigos del sitio impresa y diagrama (más adelante).

**Objetivo:** comprender el método de ubicación de dirección y código del sitio.

Que los aprendices practiquen el registro de la información en la Tabla 21 usando el mapa en la Figura 9A. Este es el mismo ejemplo usado en la *Guía de campo* (Tabla 4, Figura 2A), así que debe pedirse a los aprendices que cierren sus *Guías de campo* mientras hacen esta actividad. Al terminar el ejercicio, los participantes pueden usar la hoja de respuestas en la Figura 9B para revisar su trabajo.

**Tabla 21—Una hoja de datos utilizada para practicar el método de dirección y código del sitio**

Número de árbol	Código del sitio	Número y nombre de la calle	Información de la cuadra			
			En calle	Desde calle	Hacia calle	Lado de la calle
11	1F	200 Manzano	Manzano	Maple	Juniper	Oeste
2	1F	202 Manzano	Manzano	Maple	Juniper	Oeste
15	1A	204 Manzano	Manzano	Maple	Juniper	Oeste
12	2A	204 Manzano	Manzano	Arce	Junípero	Oeste
5	3A	204 Manzano	Manzano	Arce	Junípero	Oeste
6	1F	201 Manzano	Manzano	Arce	Junípero	Este
7	2F	201 Manzano	Manzano	Arce	Junípero	Este
30	1F	205 Manzano	Manzano	Arce	Junípero	Este
9	1R	208 Peral	Manzano	Arce	Junípero	Este
10	2R	208 Peral	Manzano	Arce	Junípero	Este
46	2S	208 Peral	Junípero	Peral	Junípero	Sur
4	1S	208 Peral	Junípero	Peral	Junípero	Sur
13						
14						
26						
16						
17						
18						
88						
20						
1						
22						
23						
24						
25						
49						
27						
28						
29						
3						

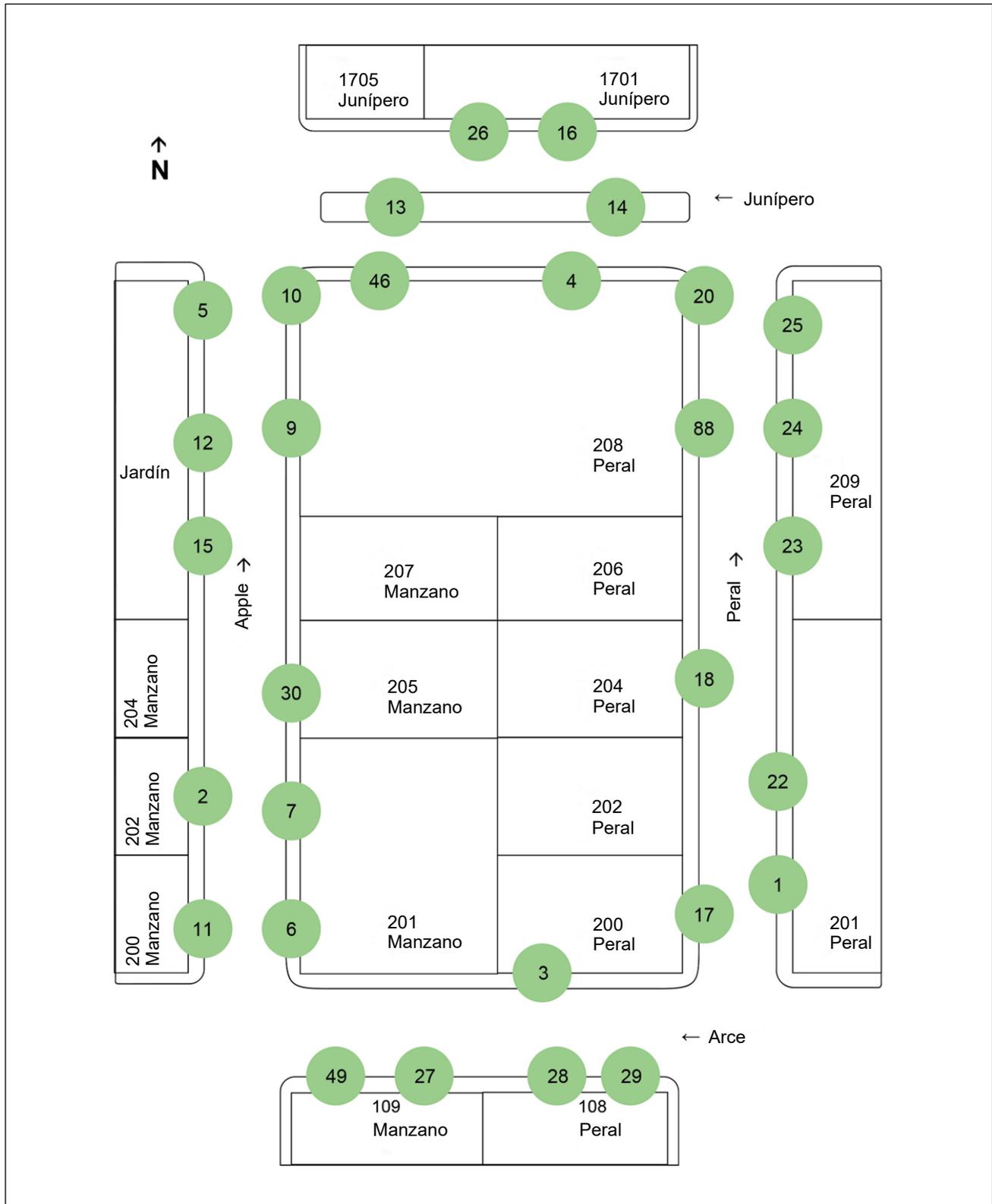


Figura 9A—Un mapa usado para practicar la identificación del código del sitio.



## Glosario

**Alometría:** las relaciones de dimensionamiento de los árboles (p. ej., ecuaciones para calcular la altura, las dimensiones de la copa y la biomasa del tamaño del tronco).

**Árbol de reemplazo:** árbol plantado en el lugar exacto en donde fue removido otro, a menudo es más pertinente para cepas de arbolado urbano en aceras.

**Bosque urbano:** aunque hay varias definiciones del término (Konijnendijk *et al.* 2006, Piana y Troxel 2014), una ampliamente usada en Estados Unidos es “todos los árboles públicos y privados que se encuentren dentro de un área urbana, incluidos individuos arbóreos a lo largo de vías y en jardines traseros, así como bosques remanentes” (Nowak *et al.* 2010).

**Brotos basales:** brotes que crecen desde yemas en la base del tallo o en las raíces de un árbol; a veces se les llama retoños o brotes de agua.

**Ciencia ciudadana:** una forma de contar con la participación del público en la investigación ecológica y el manejo de recursos naturales (Dickinson *et al.* 2010, 2012; Tulloch *et al.* 2013); un ciudadano científico por lo general se considera “un voluntario que recolecta o procesa datos como parte de una investigación científica” (Silvertown 2009).

**Cinta diamétrica:** también conocida como cinta para medir el diámetro, es una cinta de medición especializada de silvicultura que es la mejor pieza de equipo para medir el diámetro de los troncos con más de 2.5 cm (1 pulgada).

**Clave externa:** en una base de datos relacional, la clave externa es un campo o colección de campos que hace referencia a la clave principal o clave única de otra tabla, estableciendo con ello un vínculo entre ambas.

**Clave principal:** en una base de datos relacional, la clave principal identifica de manera particular cada registro.

**Clave única:** en una base de datos relacional, una clave única es lo que define la particularidad para la entidad que se está almacenando en el registro.

**Colaboración colectiva:** una forma de recopilación de datos en el que un gran número de voluntarios envían datos cuando y donde lo deseen; la colaboración colectiva es un método de ciencia ciudadana que se puede usar para el registro de datos ecológicos de campo.

**Control de calidad:** un sistema para mantener un estándar de calidad de los datos comparando una muestra de los datos recolectados contra las especificaciones.

**Crecimiento del árbol:** crecimiento del tamaño del árbol, puede incluir el DAP (también conocido como crecimiento radial del tallo principal), altura y ancho de la copa; expresado a menudo como una tasa de crecimiento anual.

**Dato en formato horizontal:** también conocido como datos no apilados; un formato en el que cada categoría de variables está representada por una sola fila (p. ej., todas las observaciones para un árbol están en una fila) y cada variable diferente (p. ej., DN.cm.2010, DN.cm.2015) está en una columna separada, así que las observaciones a través del tiempo abarcan varias columnas.

**Datos en formato vertical:** también conocido como datos en pila; un formato en el que hay por lo menos una columna con categorías (p. ej., ID del árbol) y una columna con valores relacionados con cada una de esas categorías (p. ej., DAP en centímetros); las categorías se repiten para todas las observaciones que se registraron.

**Datos longitudinales (datos por remediación):** observaciones reiteradas sobre los mismos individuos arbóreos a través del tiempo.

**Demografía arbórea:** el estudio de la dinámica poblacional de los árboles, incluye el análisis de los cambios de mortalidad y crecimiento a través del tiempo.

**Derecho de vía:** una franja de terreno ocupada para ciertos usos públicos o de transporte (The Institute for Local Government 2010); a menudo se refiere, en el contexto de dasonomía urbana, al derecho de vía pública a lo largo de calles que incluyen árboles de las vías, pero también podría referirse a áreas con derecho de vía a lo largo de corredores ferroviarios o de servicios públicos.

**Diámetro a la altura del pecho (DAP):** diámetro del tronco de un árbol a la altura del pecho (la altura estándar en Estados Unidos es de 1.37 m o 4.5 pies desde el suelo).

**Diámetro medido a la base (DMB):** diámetro del tronco de un árbol a 30.5 cm (1 pie) del suelo.

**Existencias:** la cantidad de árboles en un área particular, por lo general dado con relación a niveles óptimos (Powell 1999, Richards 1992).

**Fase de establecimiento:** los primeros años después de la plantación (Hilbert *et al.* 2019), aunque el establecimiento de árboles urbanos plantados se ha definido de formas diversas (Leers y Moore 2018, Levinsson *et al.* 2017).

**Forcípula:** instrumento de medición que se usa para medir la distancia entre dos lados de un objeto; en dasonomía urbana, las forcípulas se pueden usar para medir árboles pequeños o troncos con obstrucciones.

**i-Tree:** un software gratuito para inventarios de bosques urbanos, evaluaciones de cubierta arbórea y estimación de servicios ecosistémicos del Servicio Forestal del USDA y *Davey Tree Expert Co.*

**i-Tree Eco:** el software insignia de la suite de i-Tree, aplicable a muestreos con base en parcelas y censos completos de cualquier población arbórea que sea de interés para la estimación y la valoración de los servicios ecosistémicos, antes conocido como UFORE.

**i-Tree Streets:** un componente de la suite de i-Tree, para inventarios de árboles de las vías y estimación de servicios ecosistémicos, antes conocido como STRATUM.

**Incorporación:** para una remediación de inventario de arbolado de múltiples edades, la incorporación refleja nuevos árboles en el sistema como resultado de nuevas plantaciones o regeneración natural.

**Metadatos:** un conjunto de datos que describen otros datos y, específicamente, un almacén de metadatos (también conocido como diccionario de datos) por lo general almacena información acerca de los campos en una base de datos, como las definiciones de cada campo y valores permisibles.

**Monitoreo:** evaluación sistemática o registro a través de un período; esta guía de recursos de monitoreo de árboles urbanos se ocupa del monitoreo de árboles urbanos en el campo y otras formas de monitoreo de bosques urbanos como se analiza en Leff (2016).

**Monitoreo de arbolado diseténeo:** monitoreo de árboles dentro de un área geográfica determinada (p. ej.: parcelas, vecindarios), sin importar quién los plantó o cuándo, como inventarios de árboles de la vía o muestreo por parcelas.

**Monitoreo de la plantación coetánea:** se refiere al registro que se lleva de árboles plantados o donados a través de un programa específico y plantados alrededor de la misma fecha.

**Monitoreo en campo a largo plazo:** “Medición empírica repetida en el campo” (Lindenmayer y Likens 2010a) y en el contexto ecológico, a largo plazo, significa escalas de tiempo de una década o más (Lindenmayer y Likens 2010b), aunque pueden ser sumamente pertinentes escalas de tiempo más cortas en los bosques urbanos (p. ej., mortalidad, crecimiento y salud de los árboles un año después de plantarlos).

**Mortalidad:** para los árboles urbanos, la mortalidad por lo general se define como una combinación de árboles que murieron en el lugar y árboles removidos.

**Muerte regresiva de ramillas:** mortalidad reciente en las partes superior y exterior de la copa y refleja la gravedad del estrés de un árbol (USDA FS 2016).

**Plantación coetánea:** se refiere al conjunto de árboles plantados alrededor de la misma fecha (p. ej., misma temporada de plantación o mismo año natural).

**Registros de línea base:** el primer conjunto de datos pertinentes para el proyecto de monitoreo; esos registros son el punto de partida desde donde se harán comparaciones a futuro.

**Supervivencia:** la proporción de una plantación coetánea sobreviviente en un tiempo particular (es decir, supervivencia acumulativa, Roman *et al.* 2016).

**Tasa de crecimiento de la población:** la tasa de incremento o decremento en el tamaño total de la población.

**Tasa de mortalidad anual:** la proporción de individuos arbóreos que mueren (o son removidos) en el transcurso de un año (Roman *et al.* 2016).

**Tasa de supervivencia anual:** la proporción de individuos que sobreviven en el transcurso de un año (Roman *et al.* 2016).

**Terreno boscoso:** una definición de bosque usada en el programa nacional IAF, áreas de por lo menos 0.4 ha (1 acre), 36.6 m (120 pies) de ancho, 10 por ciento cubierto de árboles y con sotobosque sin perturbaciones (Cumming *et al.* 2007, 2008; Oswalt *et al.* 2014).

**Tipo de sitio:** descripción de la ubicación inmediata o sitio de plantación del árbol.

**Urban Forest Inventory and Analysis (UFIA):** la expansión del inventario y monitoreo forestal al área urbana en todo Estados Unidos por mandato del Congreso y a través del Servicio Forestal del USDA mediante un sistema nacional de parcelas.

**Uso del suelo:** una descripción del modo en que los seres humanos usan los terrenos alrededor o adyacentes al árbol, ver también en Anderson *et al.* (1976), Lambin *et al.* (2006) y *The Institute for Local Government* (2010) más definiciones de uso del suelo.

van Doorn, Natalie S.; Roman, Lara A.; McPherson, E. Gregory; Scharenbroch, Bryant C.; Henning, Jason G.; Ostberg, Johan P.A.; Mueller, Lee S.; Koeser, Andrew K.; Mills, John R.; Hallet, Richard A.; Sanders, John E.; Battles, John J.; Boyer, Debra J.; Fristensky, Jason P.; Mincey, Sarah K.; Peper, Paula J.; Vogt, Jessica M. 2020. **Urban tree monitoring: a resource guide**. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-266. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 132 p. <https://doi.org/10.2737/PSW-GTR-266-ES>.

Las pautas propuestas en *Monitoreo de árboles urbanos: una guía de recursos* (en adelante llamado *Guía de recursos*) se crearon y depuraron a lo largo de muchos años para atender la necesidad de protocolos estandarizados para el monitoreo de árboles urbanos. La *Guía de recursos* ofrece orientación detallada a los encargados e investigadores de bosques urbanos que desean diseñar y poner en práctica un proyecto de monitoreo de árboles urbanos. Esta *Guía de recursos* es complemento de *Monitoreo de árboles urbanos: una guía de campo*; no obstante, la *Guía de recursos* también puede utilizarse por sí sola. La *Guía de recursos* se divide en tres partes. En la Parte I, se analizan (1) los objetivos diversos de proyectos de monitoreo y cómo adecuar la recolección de datos a esos objetivos, (2) la creación de estos estándares de monitoreo de árboles urbanos, (3) tipos de proyectos de monitoreo y (4) conexiones con otros protocolos para la recolección de datos de árboles urbanos. Se da orientación sobre métodos de registro de ubicación de árboles, creación de identificadores de registros de árboles, organización de hojas de cálculo y bases de datos, elección de sistemas de recolección de datos, promoción de alianzas de investigación y práctica, capacitación de brigadas y manejo del trabajo de campo. En la Parte II, se presentan cinco variables a monitorear: conjunto de datos mínimos, datos del árbol, datos del sitio, datos del manejo de árboles juveniles y datos de la comunidad. Se indican objetivos de estudio que podrían abordarse con cada conjunto de variables y descripciones de las variables pertinentes.

También se brinda orientación con respecto a las variables más adecuadas para brigadas principiantes y avanzadas. Por último, en la Parte III se incluyen apéndices con recursos adicionales para diseñar y poner en práctica tres proyectos de monitoreo de árboles.

**PALABRAS CLAVE:** Bosque urbano, monitoreo de árboles, ciencia ciudadana, supervivencia de árboles, demografía del arbolado, datos longitudinales.

---

De conformidad con la Ley federal de derechos civiles y los reglamentos y políticas de derechos civiles del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), el USDA, sus agencias, oficinas y empleados y las instituciones que participan en programas del USDA o lo administran, tienen prohibido discriminar por raza, color, origen nacional, religión, sexo, identidad de género (incluso expresión de género) orientación sexual, discapacidad, edad, estado civil, situación familiar o de paternidad/maternidad, ingresos derivados de un programa de asistencia público, creencias políticas o represalia o venganza por actividad previa de derechos civiles, en programas o actividades conducidas o financiadas por el USDA (no todas las bases corresponden a todos los programas). Los recursos y los plazos para presentar quejas varían según el programa o incidente.

Las personas con discapacidades que necesitan medios de comunicación alternativos para información del programa (p. ej., Braille, letras grandes, cinta de audio, Lenguaje de Señas Americano, etc.) deben comunicarse con la agencia responsable o el Centro TARGET del USDA al (202) 720-2600 (voz y TTY) o comunicarse con el USDA a través del Servicio de Retransmisión Federal al (800) 877-8339. Adicionalmente, la información del programa se puede proporcionar en otros idiomas aparte del inglés.

Para presentar una queja por discriminación del programa, llene el Formulario AD-3027 de Queja por Discriminación de Programa del USDA, se encuentra en internet en [http://www.ascr.usda.gov/complaint\\_filing\\_cust.html](http://www.ascr.usda.gov/complaint_filing_cust.html) y en cualquier oficina del USDA o escriba una carta dirigida al USDA y proporcione en ella toda la información que se solicita en el formulario. Para solicitar una copia del formulario de queja, llame al (866) 632-9992. Presentar el formulario contestado o carta al USDA por: (1) correo: U.S. Department of Agriculture, Office of the Assistant Secretary for Civil Rights, 1400 Independence Avenue, SW, Washington, D.C. 20250-9410; (2) fax: (202) 690-7442; o (3) correo electrónico: [program.intake@usda.gov](mailto:program.intake@usda.gov).



Impreso en papel reciclado.