



SPRINGS STEWARDSHIP INSTITUTE

a GLOBAL INITIATIVE of the MUSEUM of NORTHERN ARIZONA

ECOSISTEMA DE MANANTIALES PROTOCOLOS DE INVENTARIO

VERSIÓN 8, SEPTIEMBRE 2018
TRADUCCIÓN ESPAÑOLA



Lawrence E. Stevens¹, Abraham E. Springer²,
y Jeri D. Ledbetter¹

¹ Springs Stewardship Institute, Museum of Northern Arizona, 3101 N. Ft. Valley Rd., Flagstaff, AZ 86001; springstewardshipinstitute.org; (928) 774-5211 ext 231; larry@springstewardship.org and jeri@springstewardship.org.

² School of Earth Sciences and Environmental Sustainability, 206 Frier Hall, P.O. Box 4099, Northern Arizona University, Flagstaff, AZ 86011; (928) 523-7198, abe.springer@nau.edu.

AGRADECIMIENTOS

Esta síntesis fue parcialmente financiada por el Consejo de Áreas Silvestres del Gran Cañón (Grand Canyon Wildlands Council), Fondo Christensen, Fondo Annenburg, el Servicio de Parques Nacionales bajo el Acuerdo Cooperativo del Servicio de Parques Nacionales número 1200-99-009 CA, Sky Island Alliance, y el Servicio Forestal de Estados Unidos bajo varios acuerdos cooperativos. Agradecemos a su personal por su asistencia administrativa, y agradecemos al Museo del Norte de Arizona y a la Universidad del Norte de Arizona por proporcionar una oficina y apoyo administrativo. Agradecemos también a Courtney McDaniel y a Lance Murray por su ayuda en la edición de este documento.

TRADUCIDO POR BERNARDO MURRIETA



Derechos de autor ©2018
Springs Stewardship Institute.
Todos los derechos reservados

CITA SUGERIDA

Stevens, L.E., A.E. Springer, and J.D. Ledbetter. 2016. Springs Ecosystem Inventory Protocols. Springs Stewardship Institute, Museum of Northern Arizona, Flagstaff, Arizona.

CONTENTS

Introducción

Ecosistema de Manantiales	7
Las amenazas de los manantiales	7
Inventario	9
Manantiales como Socio-ecosistemas	10
Diseño de Programa	12
Datos y manejo de la Información	12
Educación y divulgación	14
Tres niveles de inventario	14

Antecedentes

Resumen	15
Hidrogeología Regional de Aguas Subterráneas	15
Uso de la Tierra e Historia Administrativa	15
Protección del Sitio	16
Ecología Regional y Biodiversidad	16
Usos prehistóricos e históricos	17
Asuntos de los Actores	17

Planificación del trabajo de campo

Selección del sitio	17
Participación de las partes interesadas	18
Coordinación de Voluntarios	18
Cuándo muestrear	18
Permisos	18
Organización y entrenamiento del equipo	18
Planificación Logística	19
Seguridad y Riesgos del Grupo	19
Lista de equipo	19
Planificación de contingencias	19

Hojas de Campo

Inventario de Nivel 1

Inventario de Nivel 2

Introducción	23
Hojas de Campo Página 1	27
Croquis	34
Hojas de Campo Página 2	36
Hojas de Campo Páginas 3 y 4	36
Hojas de Campo Páginas 5 y 6	41
Hojas de Campo Página 7	43
Hoja de Campo Página 8	49
Hoja de Campo Página 9	51
Adicional	52

Después del Trabajo de Campo

Gestión de Datos de Especímenes	52
Mantenimiento de Equipo	53
Gestión de Información	53
Otras recomendaciones	54

Inventario de Nivel 3

Monitoreo	54
-----------	----

Monitoreo Biológico	57
Elementos Especiales de Monitoreo	58
Esterilización de equipo	58
Reportando	58
Descripción Individual del Sitio	58
Análisis de Paisaje	59
Detección de Tendencias	59
Reporte de Sitio y Proyecto	59



INTRODUCCIÓN

Ecosistema de Manantiales

Los manantiales son ecosistemas donde el agua subterránea se expone, y por lo general fluye desde la superficie de la Tierra (Fig. 1). Académicamente descrito como “ecosistemas de humedales de cabecera ligados a la superficie dependientes del agua subterránea”, aquí nos referiremos a ellos como manantiales. En nuestra experiencia, las causas de los manantiales suelen ser múltiples; Por lo tanto, nos referimos a estas características en la forma plural como “manantiales” o “ecosistemas de manantiales”.

Alimentados por acuíferos de aguas subterráneas, los manantiales se producen en muchos entornos, tanto bajo el agua así como en los ambientes terrestres. Los manantiales varían mucho en flujo, química del agua, forma geomórfica, importancia ecológica, importancia cultural y económica (Springer et al., 2008, Springer y Stevens 2009). Las filtraciones son simplemente pequeños manantiales, usualmente con infiltración pequeña o difusa inmensurable.



Fig. 1. Lockwood Spring, un manantial limnocrone en Bosque Nacional Coconino, al norte de Arizona.

Si bien es más obvia la importancia de las regiones áridas, los manantiales se encuentran entre los ecosistemas más productivos e influyentes de todos los paisajes. Los manantiales sirven como ventanas hidrogeológicas en los acuíferos (Toth y Katz 2006, Kresic y Stevanovic de 2010, Springer et al. 2014), reservas de agua crítica, ecosistemas clave (Perla y Stevens 2008), refugios evolutivamente persistentes de especies raras o únicas (e.g, Shepard 1993; Scarsbrook et al 2007; Hershler et al 2014, 2015), notables repositorios paleontológicos, y puntos focales socio-económicos de la cultura humana y su desarrollo (Stevens y Meretsky de 2008, Gleick 2010, Scott 2014).

Hasta hace poco, la investigación científica ha sido insuficiente para entender como los manantiales se forman y funcionan como socio-ecosistemas, o para desarrollar protocolos de inventario y gestión de datos coherentes e integrados. Estudios a corto plazo y proyectos de investigación han sido realizados (revisado en Danks y Williams 1995 Botosaneanu 1998, Stevens y Meretsky 2008), y los estudios hidrológicos de los manantiales se han centrado en la entrega de aguas subterráneas a la superficie (Springer y Stevens 2009, Hershey et al., 2010), pero pocos estudios se han realizado sobre manantiales como ecosistemas. Sólo tres complejos de manantiales en los Estados Unidos han sido estudiados y monitoreados con suficiente detalle para dar una idea de la función del ecosistema y el cambio en el tiempo: Silver Springs en Florida; (Odum 1957, Munch et al., 2006) Montezuma Well, en Arizona central (Blinn 2008); y aguas termales del Parque Nacional de Yellowstone (Brock, 1994). Estudios adicionales sobre ecosistemas de manantiales están en marcha, y una mejor comprensión de la ecología de los ecosistemas de manantiales seguirá teniendo influencia sobre las cuestiones de inventario y técnicas.

Las amenazas de los manantiales

Los seres humanos evolucionaron alrededor de los manantiales (Cuthbert y Ashley 2014), y los han usado intensamente desde hace milenios para emboscar a sus presas, la cosecha de plantas y minerales, y para la agricultura (Haynes 2008). Sin embargo, los usos de los manantiales por el humano moderno se han vuelto mucho más complejos, la escala y el alcance de los impactos se han ampliado, incluyendo: el bombeo de agua subterránea, desviación del flujo y riego, minería, ganadería, silvicultura, contaminación, recreación, la introducción de especies no nativas, y otros impactos directos e indirectos. Muchos de estos impactos son

ubicuos, que se producen a través de grandes regiones y en la mayoría de los tipos de manantiales.

Los impactos sobre los acuíferos y aguas subterráneas alcanzan desde nada hasta completar la deshidratación de los manantiales, por consiguiente, la alteración sustancial de microhábitats de manantiales, la composición de la vegetación y la cubierta, la aparición y distribución de fauna, y el aumento de abundancia y del rol de especies invasoras (Fleishman et al., 2006, y Unmack Minckley de 2008, Weissinger et al. 2012, Morrison et al. 2013). La eliminación de las aguas subterráneas por medio de bombeo cerca de fuentes de manantiales, reduce o elimina la expresión de superficie de flujo, poniendo en peligro la estructura y función del ecosistema. En contraste con los



Fig. 2. Manantial fuertemente perturbado en el Bosque Nacional Stanislaus, California.

efectos regionales, algunas variedades de impactos son más comunes en tipos de manantiales específicos. Por ejemplo, la extracción de grava es más común con ajustes de corriente-canal, mientras que la excavación de zanjas, la manipulación de los patrones de corriente del agua, y la excavación, son prácticas comunes en la formación de manantiales pantanosos tipo helocreno. (e.g. Fig. 2). Ambos tipos de impactos, generales y específicos, son importantes porque los manantiales a

menudo sirven como ecosistemas clave, y la pérdida de manantiales pueden reducir la integridad ecológica de los ecosistemas de tierras altas adyacentes. Debido a que el uso humano de manantiales de Norteamérica se ha extendido durante los últimos 15.000 años, la planificación de la administración de manantiales debe incluir la consideración del uso humano, así como la sustentabilidad ecológica.

Los impactos a las fuentes de ecosistemas de manantiales comúnmente incluyen, el desvío parcial o completo y la construcción de cajas de manantiales. La captura del flujo antes del surgimiento, es requerida por las políticas del estado y de la Agencia de Protección Ambiental (EPA: Environmental Protection Agency) para asegurar que el agua subterránea utilizada para fines domésticos, no esté contaminada por la exposición a la atmósfera. Sin embargo, esta práctica elimina el área fuente—que es el hábitat biológicamente más importante del ecosistema de manantiales. En lugar de extraer toda el agua superficial, la división del flujo subsuperficial se puede utilizar para garantizar que un cierto flujo continúe surgiendo en la fuente, sin dejar de proveer el agua subterránea no expuesta para el consumo humano. Por lo tanto, el manejo de manantiales requiere de una previsión cuidadosa: prácticas bien intencionadas como el cercado para excluir el ganado, podría ser contraproducente como crecimiento vigoroso de vegetación de humedales, consumiendo el hábitat del agua superficial necesaria para la biota acuática (por ejemplo, Kodrick-Brown y Brown 2007).

A pesar de la importancia y las amenazas a estos recursos, los manantiales aún no han recibido atención o protección sustancial de los gestores del agua o de recursos naturales ni de los creadores de políticas. Poca atención se le ha prestado a los ecosistemas de manantiales en cualquier revisión técnica importante o libro de texto sobre los recursos hídricos nacionales en las últimas dos décadas (i.e., National Research Council 1994, Mitsch y Gosselink 2000, Baker et al., 2004, H. John Heinz III Center 2008., Wilshire et al. 2008, Boon y Pringle 2009, Gleick et al. 2009, Solomon 2010, Waters of the U.S. 2016; pero véase Minckley y Deacon 1991, Stevens y Meretsky 2008, Kresic y Stevaovic 2010, Kraemer et al 2014). Esta falta de reconocimiento científico se debe en parte a la naturaleza inherentemente compleja y multidisciplinaria de la investigación de los ecosistemas de manantiales, la falta de léxico con el que se describen los diferentes tipos de manantiales (Springer et al., 2008, Springer y Stevens 2009), el tamaño generalmente pequeño de los manantiales

(recae en uno en lugar de varios píxeles en los análisis de paisaje), la protección celosa de manantiales como fuentes de agua domésticas y agrícolas, y la falta de protección legislativa (Glennon 2002, Nelson 2008).

Inventario

El inventario es un elemento fundamental del manejo de los ecosistemas, proporcionando datos esenciales sobre la distribución y del estado de los recursos, procesos, valores, y acuáticos, humedales, ribereños, y vínculos de tierras altas (e.g., Karr 1991, 1999; Busch y Trexler 2002; Richter et al. 2003). El inventario sistemático precede a la evaluación, la planificación, la implementación de acciones, y el seguimiento de una estrategia estructurada del manejo de recursos. Los protocolos de inventario interdisciplinarios eficientes, también son esenciales para mejorar la comprensión de la ecología de ecosistemas de manantiales, distribución, estado y su conservación. Aquí introducimos y justificamos, protocolos de inventario para manantiales eficientes y eficaces, y posteriormente describimos los protocolos de manejo de información y evaluación para mejorar el cuidado de manantiales a través de escalas de manejo del paisaje, desde manantiales individuales hasta manantiales distribuidos a través de grandes paisajes.

La Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (U.S. Environmental Protection Agency), el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, muchos terrenos federales y estatales, las agencias de manejo de recursos hídricos, tribus indígenas, diversas organizaciones no gubernamentales lucrativas y no lucrativas, y muchos individuos particulares, protegen y manejan la calidad del suelo y del agua superficial, la salud de los ecosistemas ribereños y humedales, y otras funciones de ecosistemas acuáticos naturales, sociales y de humedales (e.g., U.S. Fish and Wildlife Service 1979, 1980; National Research Council 1992, 1994; Brinson 1993; Davis y Simon 1995; Mageau et al. 1995; Society for Range Management 1995; Oakley et al. 2003; Sada y Pohlmann 2006; Stevens y Meretsky 2008; Kresic y Stevanovic 2010).

En los Estados Unidos, los protocolos de inventario para manantiales deben ser coherentes con la tierra federal y la legislación del manejo de recursos (e.g., the Antiquities Act of 1906, the Antiquities Act of 1906; los múltiples usos de los mandatos del Servicio Forestal Nacional de Estados Unidos y la Oficina de Administración de Tierras, la Ley de agua limpia de 1973, la Ley de Especies en Peligro de 1973, en su

forma enmendada). Sin embargo, la delimitación de humedales y la mitigación de pérdidas en los Estados Unidos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. 1987, Aguas de los Estados Unidos 2016) han consumido mucha atención técnica y reglamentaria. Esos conceptos y técnicas de delimitación de humedales federales a menudo no son aplicables a los manantiales, particularmente en manantiales efímeros naturales, aguas termales, jardines colgantes, y otros manantiales en paisajes dominados por base rocosa. El desarrollo de los protocolos de inventario para manantiales en regiones específicas, los estados individuales, o las agencias individuales pueden no ser aplicables en términos generales, y por lo tanto tal vez no puedan contribuir al avance de la administración de manantiales a gran escala, o para la mejora de la ecología de ecosistemas de manantiales (e.g., Stevens et al. 2006).

Se necesitan, eficientes protocolos de inventario interdisciplinario, que sean aplicables a todos los tipos de manantiales—subaerial o subacuático, en cualquier bioma, y a través de las cuencas, el estado, y las fronteras nacionales-internacionales. Tales protocolos ayudarán en el cuidado y ecología de los ecosistemas de manantiales, que están desarrollando terrenos activamente. Algunas, pero no todas las estrategias de monitoreo acuático, humedales, y ribereños, son apropiadas y útiles para el inventario y monitoreo de manantiales. El desarrollo de protocolos de inventario para los manantiales del Desierto de Mojave administrados por el Servicio de Parques Nacionales de EE.UU. (Sada y Pohlmann 2006), y el agua fría de los manantiales de Nueva Zelanda (Scarsbrook et al., 2007) han proporcionado información útil. Los protocolos de inventario hidrogeomórficos para la corriente-ribereña, pueden ser útiles para las corrientes de superficie flujo dominantes y algunos manantiales del tipo reocreno, pero a menudo son inapropiados para los manantiales subterráneos flujo dominantes debido a las diferencias fundamentales en los roles e impactos en los procesos geomorfológicos de la superficie. Por ejemplo, el canal meandro y la configuración de la orilla son moldeados por las inundaciones del flujo superficial, mientras que el flujo de manantiales es dominado por canales, a menudo tiende a ser lineal o irregular (Manga 1996, Griffiths et al. 2008). Además, castores y residuos leñosos de gran tamaño, son ampliamente considerados como esenciales para el funcionamiento circumpolar de corriente ribereña, pero a menudo desempeñan papeles pequeños o muy diferentes en los ecosistemas de manantiales (Springer et al. 2014). La mala apli-

cación de técnicas de inventario de arroyos ribereños y humedales, puede distorsionar la interpretación de la integridad ecológica de los manantiales (Stevens et al. 2006).

Las variables biológicas a menudo son componentes particularmente importantes del manejo de ecosistemas de manantiales, y casi todos los estudios de manantiales hasta la fecha han resaltado la importancia de la biodiversidad (e.g., Fig. 3). A pesar de la minúscula área total ocupada por los manantiales en los Estados Unidos, se estima que más del 10 por ciento de las especies animales en peligro de la nación son taxa manantial-dependientes. Además, altas concentraciones de especies raras ocurren en algunos manantiales, en las regiones de tierras áridas y mésicas, así como en ambientes submarinos. Los riesgos ecológicos de los manantiales desde bombeo del agua subterránea y la alteración de fuentes, son comunes y numerosos (Minckley y Deacon 1991, Stevens y Meretsky 2008). Inventarios de la biota de manantiales múltiples regionales incluyen plantas de humedales (Patten et al., 2008, Spence 2008), Odonata (Stevens y Bailowitz 2009), Heterópteros acuáticos (Stevens y Polhemus 2008), Coleoptera (Williams y Danks 1991), Trichoptera (e.g., Erman y Erman 1990, Erman 1992, Blinn y Ruiter 2009), y peces (Fagan et al., 2005) y otros vertebrados. Estos datos proporcionan antecedentes para el alcance de los recursos bióticos que deben ser considerados en el inventario y monitoreo de manantiales.

Manantiales como Socio-ecosistemas

La relación generalizada existe para manantiales como ecológicamente, socio-culturalmente, y relieves espiritualmente importantes (e.g., Nabhan 2008, Rea 2008, Phillips et al. 2009). Aunque se ha hecho mucho

énfasis en hidrogeología y diversidad biológica, en ninguna parte según nuestro conocimiento se tienen inventarios regionales de atributos culturales indígenas de manantiales que hayan sido realizados sistemáticamente. La economía ecológica de los manantiales tampoco ha sido muy explorada. En uno de los pocos análisis realizados en los EE.UU., Bonn y Bell (2002) examinaron la economía de recreación en cuatro grandes manantiales en Florida en el periodo de 1992-2002, informando que un promedio de dos millones de visitantes al año aportó \$60 millones de dólares anuales a esas economías regionales. Gleick (2010) informó que 80 millones de botellas de agua se venden cada día en los Estados Unidos, muchas de las cuales están etiquetadas como “Agua de manantial”, revelando el enorme valor económico de los manantiales. Además, numerosos manantiales contribuyen a los suministros de agua urbanos en todo el mundo (p. ej., Petric 2010).

Como científicos y practicantes, reconocemos que muchos manantiales están bajo una gestión antropogénica activa. El uso de los recursos de manantiales es necesario y adecuado para el bienestar humano, y con frecuencia es totalmente intencional. Aunque este uso es necesario y respetado, nosotros sugerimos que los manantiales pueden ser manejados de manera sustentable para apoyar tanto la función del ecosistema/paisaje, como los bienes y servicios para el (los) administrador (es) humano (s). En general, si el acuífero está intacto, los ecosistemas de manantiales son notablemente resistentes y pueden funcionar bien ecológicamente, mientras que simultáneamente proveen de bienes y servicios. Debido a su residencia, los manantiales a menudo pueden ser rehabilitados o restaurados a la sustentabilidad ecológica con facilidad a un costo relativamente menor.

Hemos visto ejemplos exitosos de dicha administración, pero demasiado a menudo nos hemos encontrado con manantiales que han sido destruidos innecesariamente por el mal manejo y descuido. La clarificación reciente de la clasificación de manantiales y las necesidades de información del ecosistema (Stevens y Meretsky 2008, Springer y Stevens 2009) ha establecido el escenario para el desarrollo de protocolos para mejorar la investigación sistemática de inventario y de los ecosistemas de manantiales, y para perfeccionar la administración. Nuestra perspectiva es que debemos trabajar para mejorar la comprensión científica de la ecología de ecosistemas de los manantiales, y los manantiales que se utilizan para propósitos humanos deben ser manejados de forma sustentable



Fig. 3. Toma de muestras de invertebrados raros en un estanque de manantial cerca del borde norte del Gran Cañón.

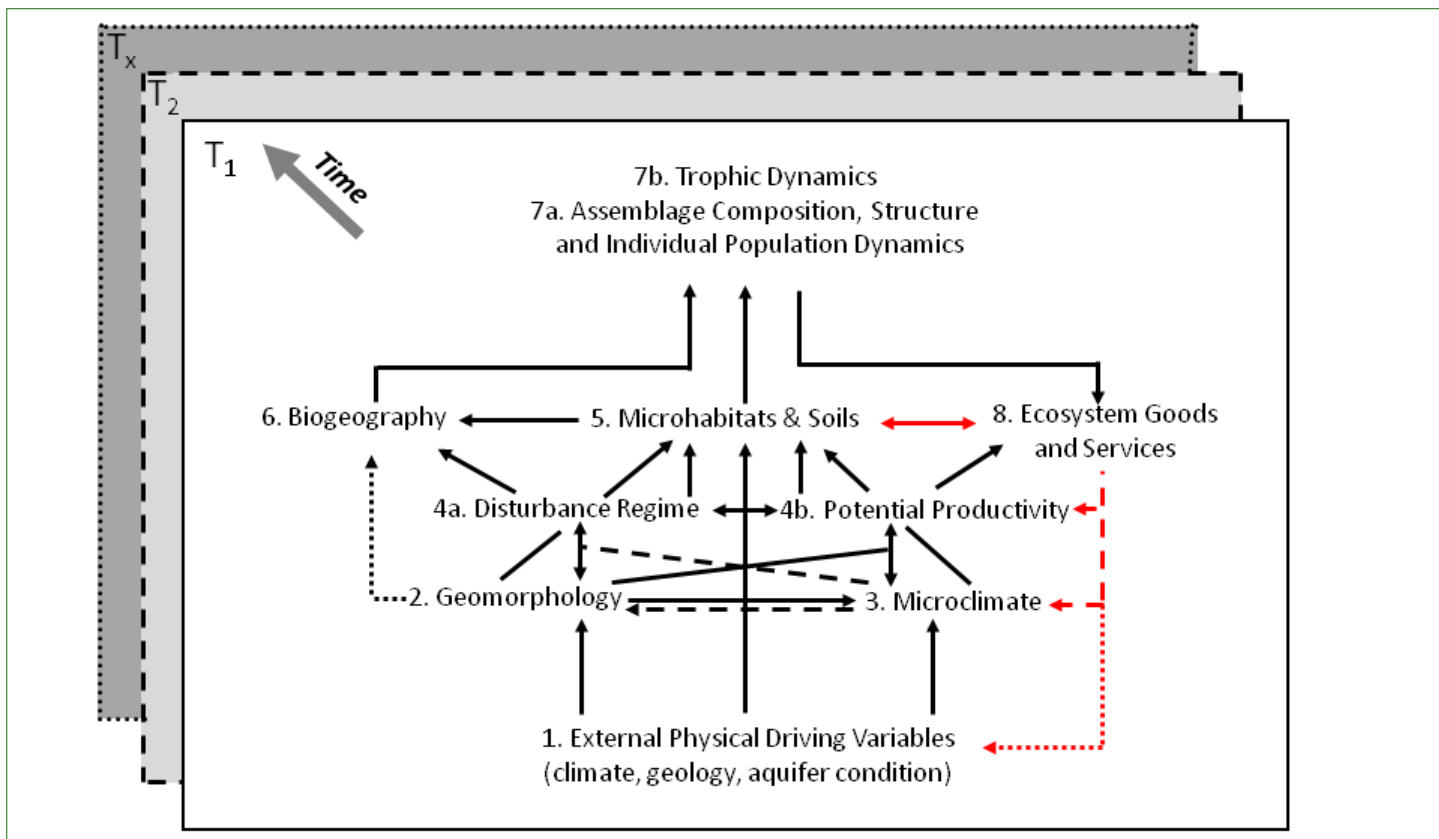


Fig. 4. Modelo conceptual del ecosistema de manantiales (modificado de Stevens y Springer, 2004). Las flechas de guiones reflejan influencias indirectas, mientras que las flechas rojas indican los impactos humanos.

tanto para la funcionalidad social como la para del ecosistema. Los retos de inventario a menudo surgen de una comprensión conceptual desenfocada de la organización socio-ecosistema (Fig. 4).

Los componentes de un inventario de manantiales completo se derivan de, y ayudan a refinar el modelo conceptual del ecosistema de Stevens y Springer (2004) e incluir: la mecánica y sustentabilidad acuífera (Töth y Katz 2006, Kresic y Stevanovic 2010); el flujo y la calidad del agua (Meinzer 1923, Mundorff 1971, Springer et al. 2008, Trček y Zojer de 2010, Kresic y Stevanovic 2010); vegetación acuática y de humedales (Patten et al. 2008, Springer et al. 2015); fauna acuática y de humedales (Williams y Danks 1991, Erman 1992, Hershler 1994, Ferrington 1995, Botosaneanu 1998, Hershler et al. 1999, Stevens y Bailowitz 2009, Hershler et al. 2014; e.g., Fig. 5); peces (Unmack y Minckley 2008); otros vertebrados; elementos culturales, incluyendo valores indígenas y bienes y servicios del ecosistema (Nabhan 2008, Rea de 2008, Phillips 2009); y el contexto administrativo del cuidado de los manantiales, incluyendo cuestiones reglamentarias (Stevens 2008). Las relaciones y la retroalimentación entre los componentes y procesos que dan forma a los ecosistemas son a menudo complejos y contienen



Fig. 5. Springsnails (*Pyrgulopsis* sp.) son a menudo localmente endémicos de los ecosistemas de manantiales. Estos especímenes de una posible nueva especie se colectaron en el Área de Recreación Nacional de Spring Mountains en Nevada.

los siguientes atributos: múltiples procesos físicos de interacción, microhábitats que apoyan a diferentes conjuntos bióticos, y los roles de socio-ecosistemas importantes desempeñados por los manantiales. La mayoría de los grandes manantiales han sido utilizados por los seres humanos desde el Pleistoceno, por lo que el manejo de manantiales para una condición prístina es ecológicamente inapropiado (e.g., Kodrick-Brown y Brown 2007). Para que la ecología de ecosistemas de manantiales pueda avanzar como ciencia, y para ayudar a mejorar su cuidado, el inventario de datos de los manantiales deberá ser recopilado y organizado científicamente para probar y refinar la comprensión de estas relaciones complejas (Stevens 2008).

Diseño de Programa

El cuidado de los manantiales es más efectivo cuando se basa en un enfoque científico, incluyendo el desarrollo de un contexto administrativo eficaz; la definición de objetivos y de metas claras e inequívocas; ensamble de información existente y necesaria; desarrollo e implementación de un plan de gestión de datos; un inventario integral y sistemático; evaluación ecológica; priorización de necesidades y acciones de manejo; dirigir acciones de gestión; el monitoreo como un ejercicio científico con previsión, la recopilación de datos, revisión de los resultados, y la retroalimentación en acciones de gestión futuras. La consideración de las contingencias y eventos inesperados también es esencial.

Si varios grupos de interés están involucrados en el manejo y la toma de decisiones en uno o más manantiales, entonces se debe emplear la gestión científica adaptativa de los ecosistemas (AEM: Adaptive Ecosystem Management) (Christensen et al. 1996). La AEM es el proceso de manejo colaborativo de recursos para satisfacer las necesidades de múltiples partes interesadas.

Aquí, proponemos un protocolo de inventario de manantiales integrado, para proporcionar información rápida, fiable y fácilmente comprensible sobre los componentes de los ecosistemas de manantiales, procesos, amenazas, y opciones de su cuidado. Estos protocolos de inventario y monitoreo se han desarrollado durante los últimos 15 años a partir de conversaciones con muchos especialistas y gestores de recursos naturales, y se han probado en más de 1.000 manantiales de diferentes tipos en diferentes parámetros climáticos y geomorfológicos en América del Norte.

Dividimos el inventario en tres niveles, involucrando el mapeo, la evaluación rápida, y la gestión a largo plazo, investigación, o los esfuerzos de monitoreo. Los

protocolos recomendados aquí se pueden utilizar en cualquier escala de paisaje en investigación, a partir de un solo ecosistema de manantiales, para inventariar manantiales en una base regional, continental o mundial, y se pueden utilizar para la monitorización básica para cuantificar cambios en los ecosistemas a través del tiempo.

Integramos métodos existentes selectos en un análisis eficiente e íntegro, en varios niveles de intensidad de inventario, que varían en base en tiempo y fondos disponibles. La información de inventario recopilada en la base de datos en línea de manantiales SSI, está contribuyendo a la mejora del cuidado federal, estatal, tribal, comisarios y administradores de manantiales privados, así como la investigación básica de manantiales. Estas contribuciones incluyen la definición de cuencas de aguas subterráneas, la distribución e importancia regional de los manantiales, y los patrones de biodiversidad en relación con gradientes ecológicos (Springer et al. 2015, Ledbetter et al. En prensa).

Los protocolos de inventario informan, de una evaluación integral del protocolo de los ecosistemas de manantiales (SEAP: Springs Ecosystem Assessment Protocol), lo que permite a los encargados de manantiales comparar cuantitativamente la integridad socio-ecosistema de los manantiales dentro de los paisajes, determinar prioridades de cuidado, y supervisar y medir la efectividad de las acciones de gestión a través del tiempo. Los protocolos de inventario descritos aquí proporcionan una base cuantitativa para la comprensión de las influencias físicas, naturales, culturales, y antropogénicas que afectan a la función de los ecosistemas de manantiales y a las opciones de su cuidado.

Datos y manejo de la Información

Antes de comenzar un proyecto del cuidado de manantiales, es importante compilar, organizar y archivar los datos disponibles y planear para la base y monitoreo del manejo de información. El sistema de gestión de la información de manantiales y sus metadatos, debe ser de fácil acceso, seguro para proteger datos sensibles, y que sencillamente permita nuevos análisis. Actualmente pocos de estos sistemas de gestión de información existen para los datos de ecosistemas de manantiales. A menudo, la información limitada disponible es desorganizada y en gran parte no disponible para propietarios de tierras, investigadores y administradores.

El SSI desarrolló manantiales en línea (Springs Online)—una forma segura, fácil de usar, base de datos

en línea donde los usuarios pueden entrar fácilmente, archivar, extraer información de manantiales (<http://springsdata.org/>; Fig. 6). Esta base de datos es relacional, proporcionando la capacidad de contener muchos estudios relacionados con cada sitio y para analizar las diversas variables y tendencias a través del tiempo. Está ampliamente estructurado para acomodar una amplia gama de variables, esquemas y tipos de información.

El SSI desarrolló manantiales en línea basado en la suposición que el administrador(es) de manantiales va a querer, usar y mantener un programa del manejo de la información a largo plazo para sus manantiales. En el caso de un paisaje grande gestionar Unidades (p.ej., Parques Nacionales, Bosques Nacionales y Reservas tribales), dicho sistema de gestión de la información debe relacionarse con las metas del administrador y con su programa de sistema de información

geográfica (GIS). Es probable que los administradores de manantiales necesiten el archivo de datos, la fotografía del sitio, la capacidad de curación apropiada de los especímenes, los metadatos claramente definidos e informes estandarizados. Springs Online llena estas necesidades de información, proporcionando una interfaz segura y fácil de usar para la entrada de datos y su análisis. Los campos de la base de datos tienen cuadros desplegados y están alineados con las hojas de campo para facilitar el proceso de entrada de datos. Una encuesta típica de nivel 2 se puede introducir en menos de dos horas.

Esta tecnología está disponible gratuitamente para todos los administradores de manantiales que se registraron para una cuenta. Con interés, el examen del tutorial, o la capacitación en línea o por talleres, prácticamente cualquier persona angloparlante puede



Homepage

- Search Springs
- Management Menu
- Citation
- Welcome Jeri Ledbetter!
- My Profile
- Logout

Springs and Springs-Dependent Species Online Database

Toward the goal of improving global springs stewardship, the Springs Stewardship Institute (SSI) has developed protocols to inventory and assess the ecological health and functionality of these fragile resources. A comprehensive evaluation requires a survey of geomorphology, soils, geology, solar radiation, flora, fauna, water quality, flow, georeferencing, and cultural resources, as well as a thorough assessment of the site's condition and risks to the ecosystem. The information we collect in each category is complex, and many of the data are interrelated. We designed a relational database that provides a framework for information compilation and analysis of biological, physical, and cultural relationships, many of which are poorly understood.

This online database offers a user-friendly interface to enter, retrieve, and analyze inventory data, making it accessible for landowners and managing agencies as well as researchers to improve the quality and integration of information about springs. Jeri Ledbetter, Larry Stevens, Abe Springer, and Marguerite Hendrie primarily contributed to the development of this database, with technical support from Benjamin Brandt. Funding has been provided from many sources, including Northern Arizona University, the Sky Island Alliance, The Christensen Fund, and the Bureau of Reclamation's WaterSMART program.

The database includes survey data collected or compiled by the Springs Stewardship Institute and its many collaborators. To access the database, create an account to acquire a user name and password. Access to the data requires permission of the land manager.

The Springs Online database is a collaborative project, developed and administered by the Springs Stewardship Institute, an initiative of the non-profit Museum of Northern Arizona. If you appreciate this site, please consider donating to help support the cost of hosting, administering, importing additional data, and improving the software.

This database is intended for non-commercial research, conservation, and planning purposes only. For any commercial use, including consulting services, contact springsdata@musnaz.org to discuss the intended use and to arrange payment for the service.

[Click here to download the tutorial for using the site.](#)

[Donate](#)

Springs Stewardship Institute Flagstaff, Arizona
contact Jeri Ledbetter at: jeri@springstewardship.org

Fig. 6. Springs Online en <http://springsdata.org/> es una base de datos segura diseñada para introducir, analizar e informar sobre los datos de manantiales. Los usuarios deben crear una cuenta, y una estructura de permisos sofisticados protege la información confidencial o sensitivo.

utilizar este portal electrónico para compilar, archivar, monitorear e informar sobre los manantiales. La fácil recuperación de información de la base de datos SSI proporciona una evaluación a largo plazo del cambio y la respuesta a las actividades de gestión. El manual del usuario está disponible en <http://springstewardshipinstitute.org/database-manual-1>.

La seguridad de la información es una alta prioridad cuando se archiva información confidencial recolectada de tierras Tribales, propiedad privada y sitios históricos ricos en artefactos en Parques Nacionales y Bosques. Springs Online ofrece un archivo seguro de dicha información y puede asignar permisos específicos a un administrador, unidad terrestre o proyecto.

Educación y divulgación

La educación y la divulgación son importantes para el éxito de proyectos de gestión grandes o costosos. La divulgación puede extenderse desde el público laico, a los propietarios de tierras privadas, a las agencias locales, estatales, federales e internacionales, y a las ONGs (Organización no Gubernamental), y puede proporcionar la transición de la conciencia a la acción comprometida. Los propietarios de tierras privadas pueden tener documentos históricos que narran no sólo las historias de sus familias en relación con los manantiales, y a veces información sobre el flujo, la biota y usos históricos. Los documentos e imágenes escaneados se pueden cargar y almacenar en la base de datos, junto con enlaces a otras fuentes de información como vídeos.

Científicos ciudadanos voluntarios pueden ayudar con el inventario de manantiales y su evaluación ecológica, y por lo tanto profundizar su apreciación por los manantiales. Sin embargo, es fundamental proporcionar la capacitación necesaria para proteger los manantiales durante el inventario, para adquirir datos precisos y útiles, y para asegurar que los datos se ingresen y archiven apropiadamente para referencia futura.

Tres niveles de inventario

Hemos desarrollado el inventario de ecosistemas de manantiales SSI como un proceso rápido de recolección de datos completo, que debe ser realizado por un equipo de tres a cuatro expertos con uno o dos asistentes. Es deseable atraer a estudiantes o voluntarios como asistentes, el personal no experto puede aumentar el sesgo del observador y requiere supervisión adicional. El uso de los miembros expertos del equipo asegura la diligencia científica y la atención a detalle (p.

ej., mantener un registro de calibración para equipos de calidad del agua, entender las relaciones del hábitat de macroinvertebrados acuáticos, y documentar colecciones de especímenes). La coordinación entre los miembros del equipo es necesaria, y la práctica previa con la entrada de datos es necesaria para aclarar la organización y la secuencia de la recolección de datos de campo.

Desarrollamos estos protocolos basados en nuestras experiencias inventariando más de 1.000 manantiales, principalmente en el oeste de América del Norte, incluyendo el Great Basin, el Colorado Plateau (Springer et al., 2005) y al sur de Alberta (Springer y et al., 2014), así como en Florida, Pennsylvania, Wisconsin (EE. UU.) y Sonora (México). Estos protocolos abarcan recomendaciones sobre el inventario de manantiales y el monitoreo realizado por el Grand Canyon Wildlands Council (2002, 2004), el Servicio de Parques Nacionales, Sada y Pohlmann (2006), Otis Bay (2006), Springer et al. (2006, 2014), Stevens et al. (2006), Stevens (2008), el Servicio Forestal Nacional de EE. UU. (2012) e investigadores individuales.

En esta sección describimos los protocolos de inventario de manantiales, para el inventario y monitoreo de ecosistemas de manantiales rentables e integrales. Definimos tres niveles de inventario:

- **Inventario Nivel 1.** Implica un estudio rápido de reconocimiento de los manantiales dentro de un paisaje o una unidad de manejo de tierra, incluyendo visitas breves (10-20 minutos/sitio) por 1-2 miembros con el propósito de georeferenciar, aclarar el acceso y determinar las necesidades del equipo de muestreo (formularios de campo en Apéndice A).
- **Inventario Nivel 2.** Es un inventario detallado de un ecosistema de manantiales para describir las variables de base de referencia físicas, biológicas, impactos humanos y contexto administrativo (formularios de campo en Apéndice B).
- **Inventario Nivel 3.** Involucra el monitoreo de manantiales seleccionados para estudios a largo plazo, e incluye variables medidas en múltiples inventarios de Nivel 2, así como otras variables relevantes a los programas de monitoreo.

Los datos de inventario de los manantiales obtenidos del mapeo dentro de la oficina y las visitas a los sitios de campo por un equipo de expertos, son compilados dentro de una completa, y fácil de usar, base de

datos de Springs Online.

Las técnicas de inventario seguirán evolucionando a medida que la comprensión científica de este campo naciente se desarrolle, los métodos mejoran, y estas técnicas se usan para abordar preguntas específicas y más sofisticadas sobre la ecología y el cuidado de los manantiales. Se necesitan y se desean más pruebas y refinamiento de estos protocolos, particularmente en entornos boreales y subacuáticos. Por lo tanto, el desarrollo de protocolos de inventario es un proceso continuo, y damos la bienvenida a sugerencias para su mejora.

ANTECEDENTES

Resumen

Una vez que se haya establecido el contexto administrativo y las cuestiones focales del programa, los administradores de los manantiales deberán elaborar una sinopsis de los antecedentes. Esto es importante para aquellos que manejan un solo ecosistema de manantiales para el suministro de agua doméstica, así como para aquellos que manejan grandes paisajes con cientos o miles de manantiales. Antecedentes relevantes incluyen: 1) la hidrogeología regional de aguas subterráneas y la modelización de los acuíferos regionales, incluyendo influencias climáticas; 2) uso del suelo, investigación e historia administrativa; 3) protección del sitio; 4) ecología regional y biodiversidad, particularmente de especies sensibles; 5) usos prehistóricos e históricos; 6) cuestiones de las partes interesadas; y 7) diseño del sistema de gestión de información, incluyendo información bibliográfica. Estos antecedentes proporcionan una documentación base crítica y regional sobre el contexto paisajístico y social en el que existen los manantiales. Gran parte de esta información ya puede estar disponible, pero debe ser compilada en un formato conciso, bien referenciado y archivado, para que los administradores actuales y futuros tengan una comprensión clara de la razón y la historia de las decisiones de gestión.

Hidrogeología Regional de Aguas Subterráneas

El conocimiento del estado hidrogeológico y la capacidad de respuesta de los acuíferos regionales son fundamentales para comprender la condición y los riesgos de los manantiales alimentados por estos acuíferos, y en relación con la variabilidad y el cambio climático. A menudo, esta información es compilada e integrada en un modelo de agua subterránea. Estos

modelos tienen en cuenta la estratigrafía y estructura geológica regional, la permeabilidad de la roca madre y su capacidad de recarga, la variabilidad climática, el tiempo de residencia, la distribución de pozos y su historial de extracción de agua subterránea, y la proyección de extracción futura. En la recopilación sistemática de distribución de manantiales (como se describe en los protocolos de inventario de Nivel 1 a continuación) se incluyen estos esfuerzos modelados de aguas subterráneas. Entre los ejemplos más destacados de análisis de modelado de la descarga de manantiales en relación con los acuíferos regionales se encuentran: Devils Hole, Nevada (Riggs y Deacon 2002); Manantiales en el Gran Cañón y Verde River Basin Arizona (Kreamer y Springer 2008); El acuífero Edwards (Mace y Angle 2004); Y Silver Springs, Florida (Phelps 2004, Scott et al. 2004). Tales estudios pueden ayudar a guiar la política de manejo de acuíferos, aunque estas políticas a menudo carecen o son ineficaces en muchos estados de los Estados Unidos.

Uso de la Tierra e Historia Administrativa

La clarificación de cuestiones de políticas y propiedad es fundamental, y reemplaza la planificación y la administración de los recursos. Las políticas de gobernabilidad y los derechos de agua deben ser compilados en un formato anotado para definir claramente a las autoridades de manejo de recursos y guiar las actividades de planificación, implementación y monitoreo. Derechos del agua tanto para el agua de superficie como para el agua subterránea, así como los derechos de propiedad y posesión de manantiales y sus tierras adyacentes deben estar claramente definidos y documentados antes de las acciones de manejo sustancial. Springs Online puede enlazar dicha documentación directamente con el sitio para referencia durante la evaluación y la planificación.

Una comprensión completa de la investigación científica previa es útil antes de participar en el trabajo de campo. Tal esfuerzo puede revelar estudios previos sobre el modelado del agua subterránea, la ecología de especies raras, y la historia del uso de la tierra. La síntesis iluminará los problemas de antecedentes tecnológicos y conceptuales e identificará brechas de información.

El equipo de inventario debe investigar el sitio y las políticas y prioridades de protección de especies raras antes de realizar cualquier trabajo de campo. Las cuestiones arqueológicas, culturales, de sitio o de especies sensibles (p. ej., la designación de hábitat crítico

de especies en peligro de extinción) pueden influir en cómo, dónde y cuándo pueden recopilarse los datos de inventario. El Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los EE. UU., Estatales, tribales o administradores de recursos privados pueden prescribir el momento de las visitas al sitio y el equipo de muestreo.

Protección del Sitio

Se debe tener cuidado al examinar los ecosistemas de manantiales para minimizar el impacto en el sitio. El equipo de inventario de ecosistemas de manantiales centra sus impactos en un área relativamente pequeña de fuentes de manantiales, terrazas y bancos de canales de desaguadero. Sin embargo, Cole (1992) determinó que el grado de actividad concentrada era el factor más importante que conducía a un impacto antropogénico localizado. Otros estudios informan que cantidades modestas de uso pueden resultar en altos niveles de pérdida de cobertura vegetal y exposición al suelo (Cole 1986, Leung y Marion 2000). Los miembros del equipo también deben ejercer gran precaución al inventariar manantiales donde se ha listado federalmente a especies de plantas, invertebrados, o vertebrados como raras o sensibles que se han reportado o se espera a que ocurra.

Asegurar la integridad de los manantiales de estudio que además también es responsabilidad del equipo de inventario: el sitio debe ser dejado tan cerca de su estado original como sea posible después de que el inventario se haya completado. Ningún propágulo debe ser transportado al sitio a través de redes o ropa. Todos los equipos de muestreo acuático, botas y otros materiales que toquen las aguas de los manantiales, deben ser desinfectados después de cada visita al sitio para prevenir la propagación de hongos quítridos y otros patógenos entre los manantiales y otros cuerpos de agua. Los protocolos para prevenir la propagación de esos patógenos incluyen: aplicación por spray o roció de una solución de Clorox al >1% a equipos acuáticos y botas; enjuagar la solución Clorox; y disponiendo adecuadamente de la solución de enjuague. La aplicación por roció de una solución de blanqueador al 1% a redes y otros equipos de campo acuático, es recomendada para la esterilización de equipo de campo. Estas soluciones de esterilización son por sí mismas contaminantes ambientales que tienen impactos nocivos sobre anfibios y probablemente otras especies dependientes de manantiales (p. ej., Hangartner y Laurila 2012). Por lo tanto, se recomienda un enjuague de seguimiento con agua estéril y la contención del escurrimiento. La colocación del equipo de campo en una pequeña lámina de plástico

puede facilitar la esterilización del equipo y la contención del escurrimiento.

Ecología Regional y Biodiversidad

Comprender la ecología y la biodiversidad de la región es clave para reconocer la importancia de los manantiales individuales como refugios, y su papel como ecosistemas clave (sensu Perla y Stevens 2008). Los ecosistemas de manantiales a menudo interactúan con las tierras altas circundantes, proporcionando agua, hábitat y recursos alimenticios esenciales. A su vez, los manantiales son a menudo fuertemente influenciados por la biota de las tierras altas y las condiciones y procesos del ecosistema, como el fuego, la tala y el desarrollo. La remoción de grandes depredadores (p. ej., Osos, lobos y gatos grandes) influye en poblaciones de mamíferos herbívoros nativos y no nativos, dando como resultado el sobrepastoreo y los cambios en la composición de la vegetación en los manantiales y zonas ribereñas (p. ej. Interacciones entre lobo-wapiti en el Parque Nacional de Yellowstone Beschta 2011). Por lo tanto, una descripción de los tipos y condiciones de los ecosistemas circundantes es necesaria para desarrollar la comprensión de tales interacciones y el contexto ecológico de la influencia del manantial.

Las especies sensibles en una región a menudo influyen en las decisiones regionales y locales del manejo de recursos. Varios grupos de especies desempeñan un papel desproporcionadamente importante en la toma de decisiones de gestión, particularmente en extinción, extirpados, endémicos, económicamente importantes y taxones exóticos. Los sitios dominados por Springflow o flujo de manantial pueden servir como paleorefugios—estables a largo plazo en los cuales los procesos evolutivos pueden permitir que especies endémicas raras, relictas o adaptadas evolucionen o persistan (Nekola 1999).

Algunos tipos de manantiales, particularmente los limnocrenos estenotérmicos (térmicamente constantes), los jardines colgantes, y gushets (especialmente aquellos en regiones áridas) sirven como paleorefugios para numerosos taxones endémicos coexistentes (p. ej., Montezuma Well, Blinn 2008, Ash Meadows springs, Deacon y Williams 1991, Cuatro Ciénegas, Hendrickson et al., 2008). La compilación de información sobre el estado cambiante, la distribución y las necesidades del hábitat de especies endémicas y raras, es un antecedente importante para el inventario y la evaluación de los manantiales.



Fig. 7. Los manantiales tienen a menudo una larga, pero a veces oscura historia de uso. Bennett Spring al norte de Arizona.

Usos prehistóricos e históricos

Los manantiales están entre los sitios culturales más importantes en el paisaje, apoyando restos paleoarqueológicos y conteniendo evidencia del uso histórico y prehistórico, y albergando los enormes valores culturales y económicos contemporáneos (p. ej., Glennon 2002, Haynes 2008, Nabhan 2008, Rea 2008, Phillips et al. 2009; Fig. 7). Una historia integrada y anotada de la ocupación humana y la gestión de los manantiales y su paisaje circundante, ayuda a identificar los manantiales que tienen importancia sociocultural significativa. En América del Norte, la mayoría de los grandes manantiales han sido intensamente utilizados por humanos durante los últimos 12.000 años, lo que requiere una planificación del cuidado que incluya impactos humanos (West y McGuire 2002, Kodrick-Brown y Brown 2007, Kodric-Brown et al. 2007).

Asuntos de los Actores

El equipo de inventario debe compilar y revisar una lista de todos los actores involucrados en el paisaje. Dueños de tierras privadas, agencias no gubernamentales, tribus, investigadores y los administradores estatales y federales de los manantiales pueden estar familiarizados con la ubicación de manantiales y la historia del uso de la tierra. La consulta con esas personas ayudará a identificar las preocupaciones de la gestión, que se enfocará en actividades de monitoreo y de su cuidado. Tal esfuerzo puede revelar estudios previos u otra información sobre las condiciones del acuífero, la ecología de especies raras y la historia del uso de la tierra. Compilar y comprender que la información es necesaria para planificar la logística, y completar el contexto administrativo de la evaluación del eco-

sistema. Durante la síntesis, los programas establecerán un diálogo con los administradores de tierras o actores sobre el estado, el valor, la gestión y la importancia de sus manantiales.

PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

Selección del sitio

Para ser informativos y útiles para los administradores, los inventarios de manantiales en grandes paisajes deben abordar las necesidades de información de los actores y cumplir con los criterios de muestreo estadístico apropiados. Sin embargo, estos criterios no son fáciles de combinar, excepto en situaciones en las cuales la mayoría o todos los manantiales en un paisaje son inventariados. La mayoría de los administradores tienen preguntas sobre manantiales específicos y de alta prioridad, y es probable que estos manantiales sean los más grandes y aquellos con la mayor calidad del agua potable. Docenas o cientos de otros manantiales pueden existir en la unidad de tierra, sobre los cuales el administrador solo puede querer información general hasta que se discutan los recursos focales. No obstante, el modelado del agua subterránea será mejorado agregando datos de flujo y geoquímica de todos los manantiales del paisaje.

La estrategia de muestreo de inventario debe basarse en las preguntas del administrador sobre los manantiales bajo su jurisdicción. Si el estudio involucra un área grande, un inventario de manantiales de Nivel I en todo el paisaje es útil para entender la distribución general de manantiales. Si las preguntas primarias del administrador se centran en qué tipos de manantiales existen en el paisaje y de la integridad ecológica de esos manantiales, los datos de distribución del Nivel 1 pueden usarse para seleccionar aleatoriamente una serie de manantiales para inventarios de nivel 2, con o sin un diseño de muestreo aleatorio estratificado. Los manantiales suelen estar agrupados espacialmente, y los manantiales dentro de los conglomerados pueden ser similares. Se puede realizar un análisis de grupo estadístico para identificar grupos de manantiales basados en la latitud, longitud y elevación. Pueden seleccionarse aleatoriamente grupos de manantiales, y uno o varios manantiales pueden seleccionarse aleatoriamente dentro de los grupos. Es ventajoso inventariar un conjunto grande de manantiales seleccionados aleatoriamente para asegurar el muestreo de tipos de manantiales raros. Aunque los administradores pueden estar interesados en manantiales individuales

económicamente importantes, el rigor del diseño aleatorio estratificado no debe verse comprometido por muestreo sesgado.

Participación de las partes interesadas

Antes de realizar el trabajo de campo, el equipo del estudio debe contactar a los propietarios privados o a las entidades federales, tribales, estatales, del condado o locales involucradas con los manantiales para comunicar las metas y objetivos sobre el proyecto, adquirir información adicional y arreglar el acceso a los manantiales incluidos en el inventario. Dado que la información recopilada en los sitios es propiedad intelectual del propietario de los manantiales, el equipo debe garantizar la seguridad y la propiedad de los datos de inventario con el administrador.

Coordinación de Voluntarios

Los voluntarios pueden proporcionar una fuerza de trabajo importante para la administración de los manantiales, pero se necesita coordinación y capacitación voluntaria para asegurar la credibilidad y la entrada apropiada de los datos colectados (Fig. 8). Al trabajar con agencias estatales y federales en terrenos administrados por estas agencias, el acuerdo de servicios voluntarios y los formularios de liberación tendrán que ser completados. Un coordinador voluntario es con frecuencia designado para realizar el reclutamiento necesario, capacitación y la organización logística, y que la persona deberá estar íntimamente familiarizada con el proyecto. Las agencias federales suelen tener sus propios formularios de acuerdos para voluntarios.

Cuándo muestrear

En las regiones templadas con vegetación caducifolia, el flujo base de los manantiales y la calidad del agua son más claramente interpretables durante mediados del invierno, cuando las pérdidas de transpiración son bajas. Sin embargo, es probable que a mediados de la época de crecimiento templado sea más reveladora para las variables biológicas. El momento de visitas a los manantiales en áreas tropicales con precipitaciones estacionalmente variantes está sujeto a argumentos similares. Aunque una sola visita al sitio es altamente informativa, Grand Canyon Wildlands Council (2004) informó que se necesitaban tres visitas en diferentes estaciones para detectar >95 por ciento de las especies de plantas en manan-

tiales grandes y hasta seis visitas al sitio (incluyendo el muestreo nocturno) fueron necesarias para detectar la mayor parte de los taxones de invertebrados acuáticos y de humedales en sitios grandes. Es probable que los inventarios de peces y anfibios requieran varias visitas, y la detección de otros vertebrados de humedales, ribereños y terrestres, como la avifauna y los mamíferos grandes, pueden requerir numerosas visitas a través de un contexto de monitoreo a largo plazo. Ensamblar una lista de ocurrencia de vertebrados razonablemente completa en un ecosistema de manantiales dado es un elemento de programa de monitoreo a largo plazo (Inventario de Nivel 3).

Permisos

Antes de la recopilación de datos de campo, se pueden requerir permisos de investigación estatal, federal, tribal, o autorización de propietarios privados, y se pueden requerir permisos separados para cada unidad de tierra visitada si un proyecto se extiende a través de jurisdicciones políticas. El permitir requiere una planificación anticipada y puede retrasar sustancialmente el trabajo de inventario, evaluación y rehabilitación. Si los especímenes son colectados durante el inventario, se deben usar o establecer depósitos apropiados, y se deben recolectar, preparar y almacenar los especímenes en colecciones profesionales para investigaciones adicionales, monitoreo o potenciales litigios.

Organización y entrenamiento del equipo

Los datos de Inventario de Nivel 2 están diseñados para ser reunidos durante 1-3 horas de visita del sitio



Fig. 8. La coordinación y la capacitación de los voluntarios son esenciales para garantizar seguridad y datos científicos creíbles.

por 4-6 especialistas capacitados y asistentes, con la duración de la visita del sitio determinada por el tamaño y la complejidad de los manantiales. El personal de nivel 2 debe incluir a un geógrafo, un hidrogeólogo, un biólogo con un asistente y un experto sociocultural. Un miembro del equipo sirve como el líder del equipo, y toma decisiones de nivel de mando sobre logística, seguridad, equipo de campo y manejo de datos.

Con una adecuada coordinación de planificación y logística, los Inventarios de Nivel 2 no deben exceder las 3 horas de duración o \$2,500 por visita al sitio en dólares de los EE.UU. del 2016, incluyendo logística, análisis de muestras y captura de datos. La variación en el costo depende de la lejanía y complejidad del sitio, así como del nivel de detalle deseado para los análisis. Se requiere tiempo adicional para la compilación de información de antecedentes, planificación logística, análisis de laboratorio, preparación e identificación de especímenes, finalización de la gestión de datos, e informes para cada sitio visitado.

La coordinación y la capacitación del equipo de estudio deben tener lugar antes de la temporada de campo, incluyendo ambas actividades de laboratorio y campo. Los talleres dirigidos por el personal de SSI implican una combinación de tiempo de clase por la mañana, seguido de sesiones de campo por la tarde. El personal y los estudiantes viajan a manantiales locales y realizan un inventario completo de Nivel 2. La captura de datos y la capacitación en bases de datos también están disponibles a través del sitio web de SSI. El control de calidad de datos dentro de la base de datos, depende de una captura de datos bien organizada y completa.

Planificación Logística

Después de la selección del sitio, es importante desarrollar un horario y un plan de ruta para que el equipo de inventario pueda acceder a los manantiales. El plan debe minimizar la distancia y tiempo del viaje, y también indica barreras naturales que pueden retrasar o impedir el acceso (p. ej., cruces de ríos, escarpas, etc.). Para proyectos más grandes, puede ser útil completar un análisis de ruta en SIG. Tenga en cuenta que las capas de carreteras para áreas remotas a menudo son imprecisas.

Seguridad y Riesgos del Grupo

La seguridad es primero en importancia para el grupo de campo, y aunque todos los miembros del equipo necesitan estar atentos, la seguridad es la responsabilidad principal del líder del grupo. La seguridad vehicu-

lar, comunicaciones, primeros auxilios, instrucciones en el uso y cuidado del equipo, manejo de datos de campo, y las decisiones finales sobre la seguridad de acceso son preocupaciones de cada miembro del grupo y de su líder de grupo. En áreas remotas, el grupo deberá llevar siempre provisiones suficientes de agua, comida, linternas, palas, llantas de repuesto adicionales, y suministros de primeros auxilios y de emergencia para manejar accidentes y circunstancias inesperadas, como cambios rápidos en el clima. Se requieren cascos de seguridad y botas cerradas en áreas quemadas o de construcción. La georreferenciación de los vehículos antes de comenzar inventarios de campo remotos, ayudará a asegurar la reubicación de ellos, particularmente por la noche, o si se toman diferentes rutas de retorno.

Lista de equipo

El equipo que será útil para los inventarios de Nivel 2 está listado en la Tabla 1. Esto de ninguna manera es una lista exhaustiva, y el grupo debe desarrollar y perfeccionar su propia lista, incluyendo herramientas de respaldo y de mantenimiento, piezas, y materiales específicos de su proyecto. Es casi axiomático que entre más costosa la pieza de un equipo electrónico de campo es, y cuanto más lejos está el grupo de los vehículos, habrá mayor probabilidad de fallo del equipo. Por lo tanto, es importante tener sistemas de respaldo o una estrategia para hacer frente al fallo del equipo. El grupo debe establecer un programa de mantenimiento que incluya vehículos, botiquines de primeros auxilios, y mantenimiento del equipo siguiendo las instrucciones del fabricante.

El inventario de nivel 1 debe informar al grupo del nivel 2 sobre las necesidades de equipos de campo y de las condiciones ambientales (p. ej., pendiente empinada, terreno irregular, alta magnitud del flujo de manantiales, etc.) para reducir el transporte innecesario de equipo engorroso o pesado, como un Canal Aforador. Esto ayudará a mantener la carga del equipo a un nivel mínimo razonable.

Planificación de contingencias

Condiciones imprevistas

La planificación de contingencias es una parte importante del trabajo de campo. Las condiciones climáticas pueden desafiar el éxito del proyecto. Otros factores imprevistos pueden incluir: inestabilidad del paisaje; cierre del área relacionada con incendios; amenazas de animales grandes; cuestiones penales

Tabla 1. Lista del equipo recomendado para los estudios de manantiales Nivel 2.

Categoría	Equipo de campo usado en el Inventario y Evaluación de Manantiales
Todos	Antecedentes: Ubicación del sitio, descripción, geohidrología, y estudios de biota previos
Todos	Hojas de trabajo en campo, hojas extras, y 4 tablas sujetapapeles
Todos	Computadora de campo (opcional)
Todos	Lápices y marcador permanente (Sharpie)
Todos	Equipo de Protección Personal; botiquín de primeros auxilios, radios, linternas
Todos	Documento de protocolo
Todos	Destornillador, pinzas, y otras herramientas para reparar equipo
Todos	Baterías de repuesto y partes para todo el equipo
Todos	Mapas topográficos del sitio a escala gruesa y fina a (1:24,000) de resolución
Todos	Bolsas Ziploc, bolsas Whirl-Pak (50 c/u)
Biota-todos	Guías de campo (Plantas, invertebrados, vertebrados, etc.)
Biota-todos	Lupas (10x)
Biota-acuático	1% de Clorox en atomizadores para esterilización de redes, agua de enjuague, y lámina de plástico
Biota-acuático	Bote inflable, bomba de aire y remos (en manantiales de aguas profundas)
Biota-invertebrados	Dragado – Ponar pequeño (solo sitios lénticos de aguas profundas)
Biota-invertebrados	Fluido letal Acetato de Etilo (90%, 0.25 L)
Biota-invertebrados	Alcohol etílico (100%, 2 L)
Biota-invertebrados	Fórceps (4 pares)
Biota-invertebrados	Viales de vidrio (50)
Biota-invertebrados	Lupas 10x
Biota-invertebrados	Frasco letal (3+)
Biota-invertebrados	Trampa Malaise
Biota-invertebrados	Red – Red aérea de arrastre (2)
Biota-invertebrados	Red – De mano (Red de acuario) (3)
Biota-invertebrados	Red – Red para arroyos o corrientes lentas (Kicknet)
Biota-invertebrados	Red – Red de Surber
Biota-invertebrados	Sobres de papel o de papel encerado x 200
Biota-invertebrados	Trampa de luz UV
Biota-vertebrados	Binoculares 8x – 10x
Flujo	Canal Aforador portátil - Baski
Flujo	Vertedero aforador de pared delgada en forma de V portátil - 45° y 90°
Flujo	Velocímetro con vara de vadeo y unidad de visualización digital, o Flow-Master
Flujo	Recipientes volumétricos, tuberías/tubos
Flujo	Cronómetro con temporizador de 0.01 segundos
Geografía	Mapa topográfico de 7.5'

Geografía	Cámara, baterías, tarjetas de memoria digitales (2)
Geografía	Clinómetro
Geografía	Brújula
Geografía	Cinta de color (Flagging)
Geografía	Unidad de GPS (y una unidad extra como repuesto)
Geografía	Papel cuadriculado para croquis
Geografía	Regla métrica (30 cm)
Geografía	Tabla de colores Munsell para clasificación de suelo
Geografía	Banderas de señalización (Pin Flag)
Geografía	Solar Pathfinder
Geology	Ácido clorhídrico (10% HCl) botella de 100 ml y gotero.
Geology	Pala de mano, pala pequeña o plegable
Geology	Tarjeta de granulometría (Sediment grainsize card)
Geology	Columna estratigráfica
Geografía y Vegetación	Tarjeta de densidad de cobertura (Cover density card)
Geografía y Vegetación	Cintas métricas – 30 m and 50 m
Geografía y Vegetación	Prensa Botánica, papel secante, periódico (varios)
Geografía y Vegetación	Telémetro (métrico)
Calidad del Agua	Agua desionizada (2 L/sitio)
Calidad del Agua	Libro de registro de calibración para medidor de calidad de agua de parámetros múltiples
Calidad del Agua	Soluciones de calibración para pH, oxígeno disuelto, conductividad, etc.
Calidad del Agua	Filtro de agua de 0.45 μ m y filtros de repuesto
Calidad del Agua	Cinta para etiquetar
Calidad del Agua	Guantes de latex y cubrebocas
Calidad del Agua	Medidor de Calidad del Agua (CA) de campo multiparamétrico; cables para temperatura, pH, DO, SC, y sondas opcionales (ORP, salinidad, nitrato, amonio, cloruro, turbidez); medidores de respaldo; y tiras de prueba CA
Calidad del Agua	Botellas Nalgene - 1 por sitio + 12 adicionales (250 ml, lavados con ácidos y enjuagadas con agua desionizada; dependiendo del proyecto)
Calidad del Agua	Botellas Nalgene - 1 por sitio + 12 adicionales (10 ml, lavados con ácidos y enjuagadas con agua desionizada; dependiendo del proyecto)
Calidad del Agua	Jeringas para filtrar (varias/sitio)
Calidad del Agua	Termómetro (°C) para aire y agua

relacionadas con drogas o de la frontera; encuentros con individuos furiosos; accidentes vehiculares; o los manantiales bajo estudio podrían ser sumergidos por un embalse de presa de castor.

Encontrando Manantiales Nuevos

Los equipos de estudio pueden encontrar manantiales no mapeados durante el transcurso de búsquedas de manantiales ya reportados. Antes del trabajo de campo, el grupo deberá estar preparado para tales descubrimientos. Las opciones varían desde una georreferenciación simple y fotografía en una verificación del sitio de Nivel 1, a la conducción de un inventario completo de Nivel 2 de los manantiales recién descubiertos.

Incapacidad para Localizar Manantiales

Las coordenadas de georreferencia comúnmente son imprecisas o claramente incorrectas (p. ej., Fig. 9). La fuente de los manantiales de recreo puede desplazarse hacia arriba o hacia abajo del canal debido a la fluctuación del agua subterránea. Tales imprecisiones, particularmente en terreno rugoso o áreas muy boscosas pueden impedir que el grupo encuentre el sitio.

El grupo debe proceder al punto designado, establecer un radio de búsqueda, y designar un límite de

tiempo para localizar los manantiales (p. ej., 250 m desde la ubicación reportada y 20 min. de tiempo de búsqueda). Las comunicaciones son una alta prioridad en situaciones tales como: cada miembro del grupo debe mantener un contacto de radio o línea visual. Finalmente, el líder del grupo determinará la intensidad de búsqueda, mientras asegura la seguridad del grupo. Cuando varios manantiales mal mapeados se agrupan, el distinguir uno del otro puede ser difícil o imposible.

HOJAS DE CAMPO

Las hojas de datos de campo son la documentación de información más eficiente y confiable para inventarios de manantiales de nivel 1 y 2. La compilación de información del equipo multipersonal y la detección de errores de ingreso de datos es imposible sin las copias impresas de las hojas de campo, y los datos relacionados con manantiales han probado ser demasiado complejos para los sistemas de ingreso de datos electrónicos en el sitio. Por lo tanto, recomendamos el ingreso de datos de campo en copias impresas, con ingreso de datos en el laboratorio pronto después y Garantía de Calidad/Control de Calidad. El líder del equipo es responsable de guardar todos los datos de campo de un sitio organizadamente en una carpeta o sobre y de enviarlo al laboratorio.

Las hojas de campo del SSI descritas a continuación están diseñadas para facilitar el ingreso de datos de campo, y para seguir la organización de la base de datos de Springs Online. Los campos de datos están separados por lo que el líder del grupo puede distribuir apropiadamente las páginas a los miembros del equipo (p. ej., el botánico llena las páginas de vegetación). Los miembros del equipo deben firmar con sus iniciales en el campo OBS en la parte superior de sus páginas para indicar quién completó el trabajo de campo.

Al final del inventario, el líder del grupo deberá reunir todas las hojas de campo y llenar los números de página en la parte superior de cada página (p. ej., Página 1 de 8) y asegurar de que el nombre del manantial haya sido incluido en cada página. La sección etiquetada como



Fig. 9. Ejemplo de inexactitudes e incertidumbres con diferentes fuentes de datos en el Distrito de Guardaparques de Kaibab Norte, Bosque Nacional de Kaibab en el norte de Arizona. El Manantial Mourning Dove Spring se escribe de manera diferente en tres bases de datos, y no tiene nombre en dos. La agrupación de múltiples fuentes en el Cañón Mangum dificulta la identificación de manantiales individuales.

“Llenado por”, “Revisado por” y “Fecha” en la parte inferior de la hoja de campo deberá completarse en laboratorio cuando todos los datos en esa página hayan sido ingresado en la base de datos y revisada por un supervisor.

INVENTARIO DE NIVEL 1

Un inventario de Nivel 1 de manantiales en un paisaje es utilizado para la distribución, acceso, y tipos de manantiales, así como el equipo de muestreo de flujo necesario para inventarios de Nivel 2. La hoja de campo de Nivel 1 se encuentra en el Apéndice A. Dado el entendimiento generalmente de baja resolución de la distribución de manantiales en Norte América y en otros lugares (Stevens and Meretsky 2008, Ledbetter et al. 2014), recomendamos que los administradores de grandes paisajes (p. ej., parques de paisaje, unidades de Bosques Nacionales, reservas Tribales) realicen un inventario de Nivel 1 sistemático de manantiales en su previo a conducir un más intenso inventario de Nivel 2. En grandes paisajes, un estudio de Nivel 1 deberá iniciarse primero revisando datos cartográficos disponibles, y llevando a cabo entrevistas a individuos con conocimientos sobre la distribución de manantiales. Tales esfuerzos, realizados previo al trabajo de campo de inventario de Nivel 1, pueden reducir enormemente el tiempo de búsqueda en campo y costos de inventario.

Los protocolos de visita al sitio de campo de un inventario de Nivel 1 están descritos por Sada y Pohlmann (2006) y Stevens et al. (2006). Una visita al sitio de un manantial Nivel 1, es una breve visita (10-20 minutos) para los propósitos de georreferenciación, fotografía, registro del tipo de manantial, y determinación de las necesidades del equipo de medición de flujo (Apéndice A). Los inventarios de Nivel 1 son típicamente realizados por 1-2 individuos capacitados, así como técnicos, científicos, o miembros del público laico educado. Este nivel de inventario es útil para identificar la distribución de manantiales en un paisaje, y para determinar las necesidades y métodos para un más riguroso inventario de Nivel 2. La información reunida en un estudio de Nivel 1 deberá incluir: georreferenciación (con tipo de equipo, datum, y precisión posicional), direcciones y advertencias sobre el acceso al sitio; observador(es) y fecha, una descripción verbal de los manantiales; fotografías de la fuente y el conjunto de microhábitats; tipo de manantial y terreno del área aproximado influenciado por manantiales; los métodos más adecuados para medir el flujo (p. ej.,

captura, placa de vertedero, canal aforador, o barra de molinete o de vadeo); y notas sobre la biota. Un inventario de nivel 1 puede ser realizado durante búsquedas programáticas de manantiales o en un ad libitum base mientras los manantiales son encontrados durante otras actividades.

INVENTARIO DE NIVEL 2

Introducción

Un inventario de manantiales de nivel 2 incluyen de otra manera, un conjunto de variables documentadas, medidas, u observadas relacionadas con el sitio y descripción del estudio, biota, flujo, y las condiciones socioculturales-económicas de los manantiales en el tiempo del estudio. En la mayor medida posible, las mediciones y las estimaciones deberán ser hechas en curso, en lugar de condiciones potenciales - esta una práctica necesaria para establecer las condiciones base y para monitorear comparaciones (p. ej., Stevens et al. 2006). Los protocolos presentados aquí fueron informados por una discusión de muchos administradores de recursos y recomendaciones hechas por Grand Canyon Wildlands Council (2002, 2004), Sada y Pohlmann (2006), Springer et al. (2006), Stevens et al. (2006), Springer et al. (2008), Springer y Stevens (2009), y U.S. Forest Service (2012). Estos protocolos están basados en el modelo conceptual de ecosistemas de manantiales de Stevens y Springer (2004) y Stevens (2008; Fig. 4). Las variables seleccionadas son necesarias y adecuadas para mejorar la comprensión básica de la ecología del ecosistema de manantiales, así como la integridad ecológica del sitio e influencias antropogénicas, incluida la extracción o contaminación regional y local de suelos y de agua superficial, uso de pastoreo en ganado o vida silvestre, visitas recreativas, y cambio climático.

Con la información de antecedentes adecuada, una única visita al sitio de Nivel 2 es suficiente para evaluar la integridad del ecosistema. Sin embargo, los protocolos de inventario de Nivel 2 y los protocolos de manejo de información que se presentan aquí también son adecuados para el monitoreo básico, y pueden proporcionar datos de referencia para los esfuerzos de manejo y restauración del sitio de Nivel 3 a largo plazo.

Los inventarios de manantiales de Nivel 2 son evaluaciones rápidas de los sitios, y consideramos actividades como la delineación de humedales, análisis de perfil de suelo, investigaciones de uso paleontológico e histórico, establecimiento de transectos y parcelas de vegetación, y otras actividades científicas y de

manejo a profundidad como la investigación de Nivel 3, gestión y actividades de monitoreo. Por lo tanto, no recomendamos que se incluyan esfuerzos tan intensos en el tiempo en el protocolo de inventario rápido de Nivel 2. La evaluación de tendencias también se puede derivar de los métodos del Nivel 2, pero se considera una actividad de Nivel 3 porque se desarrolla a través del monitoreo.

En las siguientes secciones describimos el razonamiento detrás de la selección de las variables consideradas importantes para el inventario de manantiales

de Nivel 2 y los métodos de muestreo. El texto guía al lector a través del formulario de campo de Nivel 2 de 9 páginas (<http://docs.springstewardship.org/PDF/FieldForm.pdf>; Appendix B). El inventario de Nivel 2 está diseñado con suficiente flexibilidad para agregar notas, observaciones, referencias, imágenes, archivos de datos, e información sobre las características únicas o inusuales de manantiales individuales, a medida que se encuentran. La Tabla 2 proporciona la secuencia de actividades para un inventario de Nivel 2. La Tabla 3 enlista las variables de inventario.

Tabla 2. Secuencia de actividades para los estudios de inventario de manantiales de Nivel 2. La secuencia del paso 1 deberá realizarse primero, después el paso 2, etc.

Secuencia	Hojas de Campo Página(s)	Actividad
1	---	Levante y revise el equipo, marcar vehículo con GPS
2	---	Proceder al sitio
3	1,3	Registre la hora de inicio; el Biólogo busca/observa rastros de la vida silvestre
4	9	El equipo camina por el sitio, busca fuentes corriente arriba, considera variables de evaluación
5	1	El equipo concuerda en medida del hábitat de manantiales, y la distribución y nombramiento de microhábitats
6	---	El equipo establece una base de operaciones
7	1	El geógrafo comienza la georreferenciación y a dibujar el mapa del sitio (el dibujo del mapa incluye nombre del manantial, fecha, flecha N, barra de escala, ubicaciones de mediciones, fotografía).
8	1,7	La calidad del agua y las mediciones del Solar Pathfinder son realizadas en la fuente
9	1	Sitio y fotografía del punto de medición
10	5-6	Botánico desarrolla una lista de especies de plantas
11	4	Biólogo observa/colecta invertebrados terrestres
12	5-6	El Botánico estima visualmente el % de cobertura de cada especie en cada microhábitat, y colecta muestras de especímenes desconocidos
13	8	Medición de flujo replicado en el punto de expresión de superficie máxima; después de medir el flujo, desmantele el equipo y restaure el sitio de medición
14	4	Llevar a cabo un muestreo cuantitativo de macroinvertebrados
15	9	El grupo lleva a cabo colectivamente la evaluación de la hidrogeología, geomorfología, hábitat, biota, e impactos humanos
16	---	Asegúrese de que todos los datos hayan sido compilados; recoger todo el equipo de campo; dejar el sitio impecable
17	---	Regrese al vehículo y proceda a la siguiente actividad

Tabla 3. Lista y descripción de las variables medidas u observadas durante un inventario de ecosistemas de manantiales de Nivel 2, y fuentes de información: C - visita de campo, L - Análisis de laboratorio, O - oficina. Ver clave de abreviaturas y opciones en los formularios de campo de Nivel 2.

Categoría de Variables	Variable(s)	Descripción	Fuente de Datos
General	Nombre del manantial, país, estado/provincia, condado/municipio, USGS Quad, HUC 8-dígitos, número único de ID del sitio	Información general sobre la ubicación del sitio. Una ID numérica del sitio es generada automáticamente cuando se agrega un manantial a la base de datos de Springs Online.	O
Propiedad de Tierras	Detalle y Unidad de Tierra	Administrador (p. ej. NPS o Servicio de Parques Nacionales, USFS, privado) y la unidad de manejo de tierras (p. ej., Parque Nacional del Gran Cañón)	O
Descripción del Sitio		Describe el contexto geomórfico permanente de configuración de paisaje y tipos de manantiales.	C
Direcciones de Acceso	Ubicación y acceso general	Direcciones de acceso al sitio, siendo los más específico posible, y tomando nota de cualquier precaución especial para el regreso de los equipos.	C/O
Condición del Sitio	Condición del sitio	Describa las condiciones del sitio tal como se presentan en el tiempo del inventario, incluyendo extensión y formas de la alteración natural y humana del sitio.	C
Georreferenciación	Fuente de información, datum, zona UTM, dispositivo, UTM del Este, Norte, latitud, longitud, altitud y precisión (EPE, (m o ft), comentarios	Detalles de georreferenciación	C
SPF	Presupuesto de radiación solar	Promedio mensual de salida y puesta del sol, medido utilizando un Solar Pathfinder para calcular el % total de flujo solar estacional y anual; sum significa invierno, primavera, verano, otoño y FS directo anual total y porcentaje.	C
Inventario	Fecha, tiempo de inicio, nombres completos de los inspectores	¿Quién realizó el inventario, cuándo y por cuánto tiempo?	C
Proyecto	Nombre del Proyecto	Permite agrupar y analizar juntos un conjunto de inventarios.	O
Microhábitats	Describa geomorfológicamente los distintos microhábitats influenciados por el manantial	Identificar cada microhábitat geomórfico y su tipo y subtipo de superficie; variabilidad de pendiente (baja, media, alta); aspecto cardinal (NM o NG); humedad del suelo, profundidad del agua y % de cobertura; composición de sustrato por % de distribución de tamaño de partícula superficial y cubierta orgánica del suelo; % de cobertura de precipitado, hojarasca y madera; profundidad promedio de la hojarasca.	C
		Describe el tamaño, irregularidad, aspecto y las cubiertas superficiales de los microhábitats.	C

Imágenes	Imágenes Fotografías	Describir fotografías tomadas, indicar sitios de las fotos en el croquis, e incluir qué cámara se utilizó. Asegúrese de que la fotografía capture la mayor cantidad de sitio posible para documentar cambios en comparaciones futuras.	C
Croquis	Croquis del sitio	Mapa dibujado a mano, fotografía aérea, o mapa digitalizado con escala, orientación, fecha, observadores, puntos de referencia, puntos de georreferenciación, puntos de fotografía. Indique las ubicaciones de medición de flujo, fotografía, orientación cardinal, mediciones de SPF y GPS, y en donde se almacena el croquis (adjunto, computadora, etc.).	C/O
Vegetación	Vegetación: Inventario de especies de plantas acuáticas, de humedales y terrestres	Liste todas las especies de plantas detectadas, indicando taxa endémica y no nativa. Calcule visualmente el % de cobertura en cada microhábitat por estrato: cobertura acuática (AQ), cobertura no vascular (NV), cobertura basal (BC; % del área de tallo leñoso que emerge del suelo), cobertura del suelo (GC, graminoide/herbácea/no leñosa) caducifolio), cobertura arbustiva (SC, 0-4 m de madera perenne), cubierta del dosel medio (MC, 4-10 m de madera perenne), cubierta alta de dosel (TC, > 10 m de madera perenne). Dosel muy alto (VTC) es opcional.	C/L
Invertebrados	Inventario de especies de invertebrados acuáticos, de humedales y terrestres	Liste las especies detectadas, indicando taxa endémica y no nativa. Tipos de muestreo Kicknet o Surber de área especificada cronometrada cuantitativamente, enumeración de especies, sustrato, profundidad, notas rápidas por microhábitat.	C/L
Vertebrados	Inventario de especies de invertebrados acuáticos, de humedales y terrestres	Lista de especies detectadas, indicando taxa endémica y no nativa.	C/L
Geomorfología	Ambiente de surgimiento	Cueva, subacuática, subaérea, otra.	C
	Mecanismo de forzamiento de flujo	Gravedad, presión térmica o de gas.	C
	Unidad hidroestratigráfica: capa geológica del acuífero, tipo de roca	Describe la roca parental y el tipo de roca.	O,C
	Dinámica de canales	Dominio de Superficie (vs.) flujo de manantial	C
	Geología de la fuente y subtipo de flujo	Surgimiento de manantiales: contacto, fractura, filtración, tubular.	C
	Tipo(s) de manantiales; 1 ° ámbito de descarga, 2 ° ámbitos de descarga	Describe el tipo y subtipo(s) de manantiales, sensu Springer y Stevens (2009; ver Apéndice C).	C

Flujo	Consistencia de flujo	Describa la perennidad del flujo a partir de los registros a largo plazo, historia, características geológicas, dendrocronología, o la presencia de organismos acuáticos.	C/O
	Técnica(s) de medición de flujo, ubicación, tasa media	Medición de flujo replicado usando las técnicas descritas; tenga en cuenta la ubicación de medición y en croquis.	C
Calidad del Agua (CA)	Parámetros de campo CA: hora del día; temperatura del aire y agua en la fuente; pH; conductancia específica ($\mu\text{S}/\text{cm}$); concentraciones de oxígeno disuelto, alcalinidad total (CaCO_3 , HCO_3)	Los instrumentos deben calibrarse diariamente para precisión. Mantener un registro de calibración. Corrija la conductividad eléctrica para temperatura y para calcular la conductancia específica. Mida la química del agua tan cerca de la fuente como sea posible.	C
	Laboratorio CA: Concentraciones de cationes y aniones base, sólidos disueltos totales, isótopos estables H y O ($\text{d}^{18}\text{OVSMOW}$ y dDVS-MOW), nutrientes	Colecte y filtre las muestras de calidad del agua tan cerca de la fuente como sea posible en un recipiente lavado con ácido. Refrigere, y analice lo antes posible. Las muestras para los análisis de nutrientes deben enviarse con prisa al laboratorio analítico.	C/L
Recursos Culturales	Recursos arqueológicos	Estudios arqueológicos, revisión de la literatura.	O,C
	Recursos culturales contemporáneos (TCP, etnobiología, etc.)	Entrevistas con ancianos Tribales, inventario botánico, visitas a sitios con Tribus, revisión de literatura	O,C
	Recursos históricos	Inventarios históricos, revisión de literatura, entrevistas con personas mayores	O,C
	Impactos y usos humanos	Señales de usos e impactos humanos	O,C
Bibliografía	Lista de citas	Lista de reportes y otras citas sobre el sitio	O
GC/CC (Garantía de Calidad/Control de Calidad)	Recopilación de datos y aseguramiento/control de calidad de entrada de datos	Esfuerzos de GC/CC y métodos analíticos y de manejo de información, incluidos elementos como el muestreo aleatorio de datos brutos, el archivo de registros de calibración, etc.	O

Hojas de Campo Página 1

Resumen

Una descripción clara y concisa del sitio y sus microhábitats es esencial para mapear, monitorear, establecer la elevación de la fuente (p. ej., útil para el modelado del agua subterránea), y relacionar otros elementos físicos básicos de los manantiales con su biota y usos humanos. La primera página del formulario de campo de un inventario del Nivel 2 incluye información geomorfológica general sobre el sitio y el inventario.

Esta primera página debe ser completada por el geógrafo, en consulta con los otros miembros del personal, y debe incluir las iniciales del observador (OBS). La

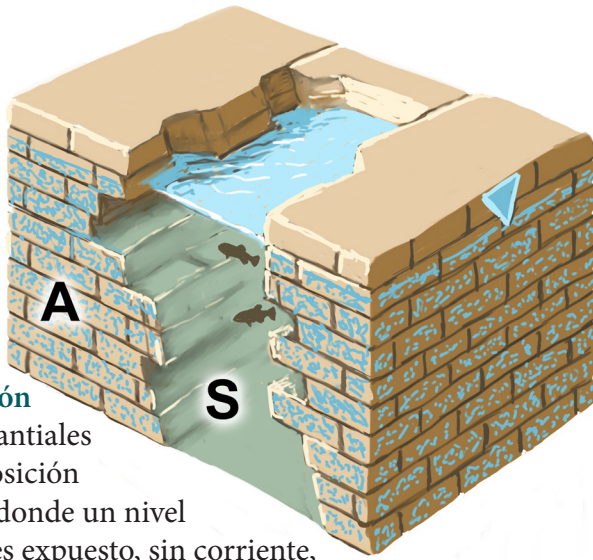
mayoría de las variables en la primera página se explican por sí mismas, y en la página 2 se proporciona una lista de opciones para algunos campos más técnicos. Aquí proporcionamos justificación y comentarios sobre esas variables. Las variables que se registrarán están listadas a lo largo del margen izquierdo de la hoja, e incluyen las pestañas General, Georreferenciación, SPF, Inventario, Microhábitats e Imágenes.

Sección General

Nombre del Manantial: Muchos manantiales no tienen nombre, y a menudo el nombre en los mapas topográficos entra en conflicto con el utilizado por la agencia de manejo de la tierra o la base de datos NHD.

Exposición

Los manantiales por Exposición ocurren donde un nivel freático es expuesto, sin corriente, en la superficie de la Tierra.



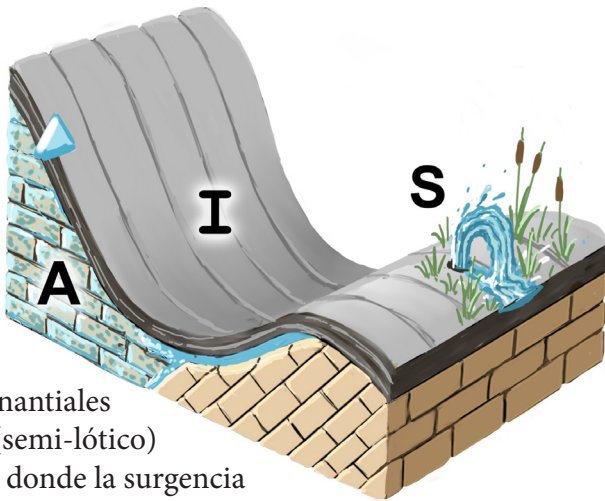
Hypocreno

Los manantiales Hypocrenos ocurren cuando el agua subterránea no es expresada en la superficie de la Tierra, pero el agua subterránea poco profunda se descarga por transpiración mediante la vegetación de humedales.



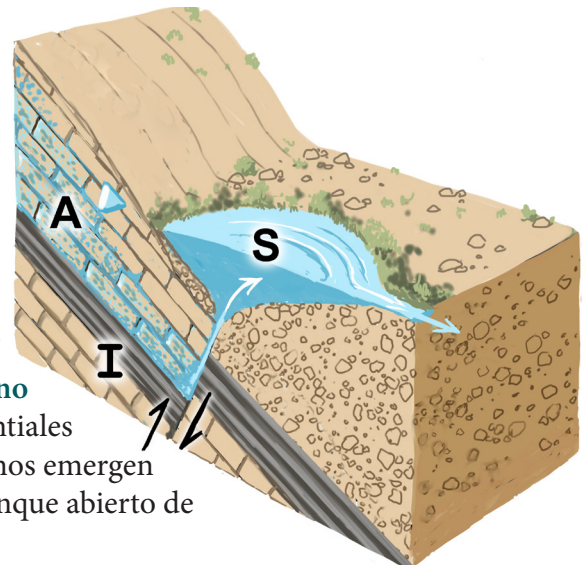
Fuente

Los manantiales Fuente (semi-lótico) ocurren donde la surgencia artesisiana causa que el flujo suba más alto que el paisaje circundante.



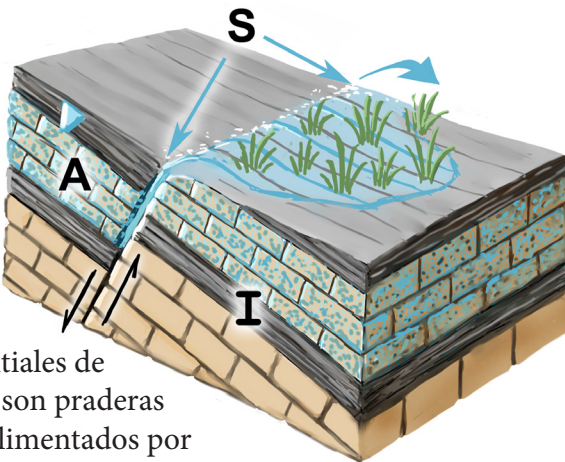
Limnocreno

Los manantiales Limnocrenos emergen en un estanque abierto de agua.



Helocreno

Los manantiales de Helocreno son praderas húmedas alimentados por manantiales, llamadas ciénegas a elevaciones de hasta aproximadamente 2,135 m (7,000 pies), o pantanos dependientes del agua subterránea a elevaciones más altas.



Formación de montículos

Los manantiales de Formación de montículos se forman donde las altas concentraciones de carbonato de calcio crean travertino. Este tipo también se forma en el ártico donde se acumula hielo, formando colinas de hielo pingo o capas de hielo aúfeis.

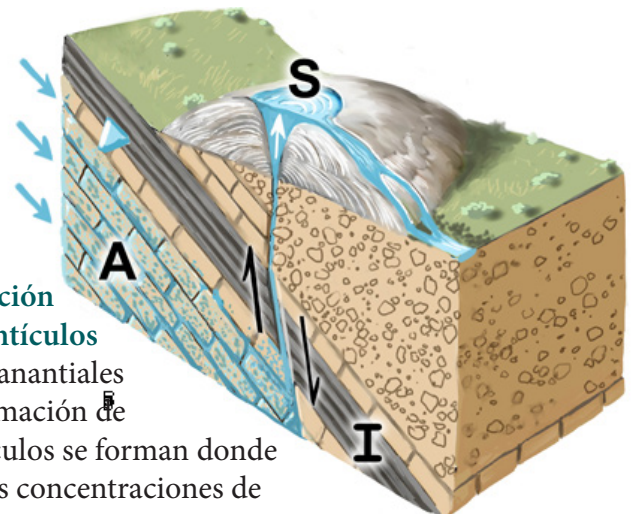
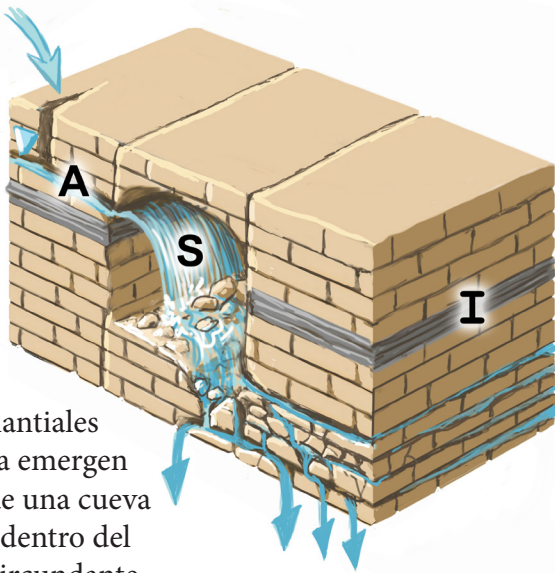
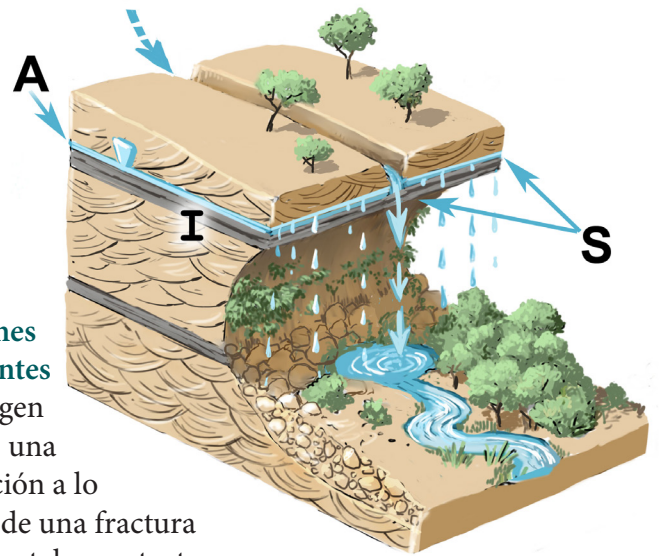


Fig. 10. Tipos de manantiales lénticos y semilóticos, rediseñados para SSI por V. Leshyk, modificados desde Springer y Stevens (2009).



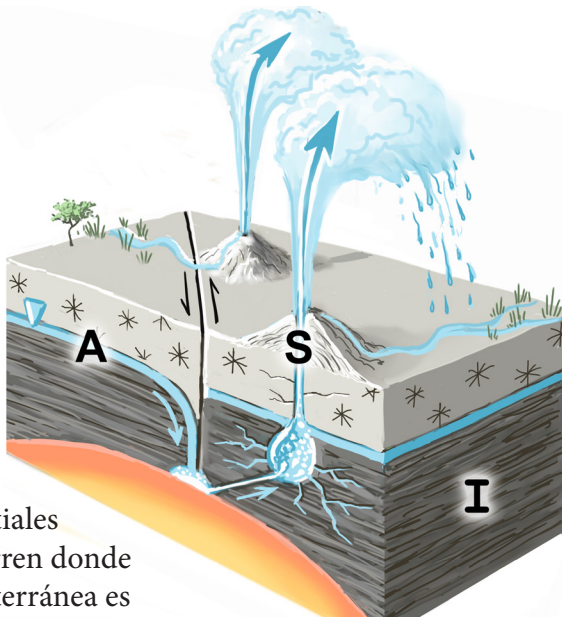
Cueva

Los manantiales de Cueva emergen dentro de una cueva y fluyen dentro del paisaje circundante.



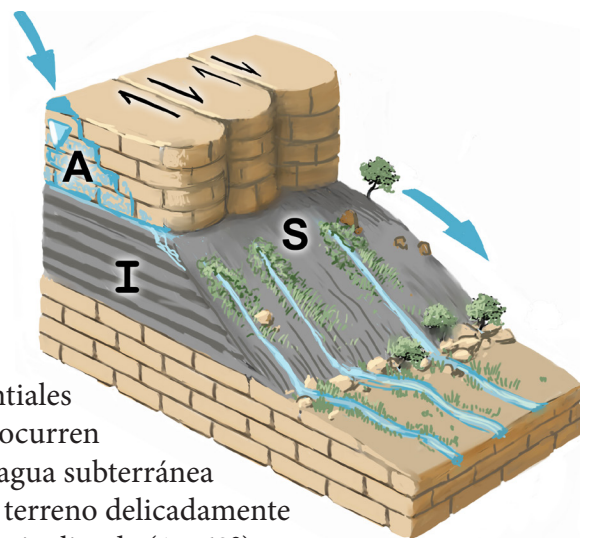
Jardines colgantes

Emergen como una filtración a lo largo de una fractura horizontal o contacto geológico.



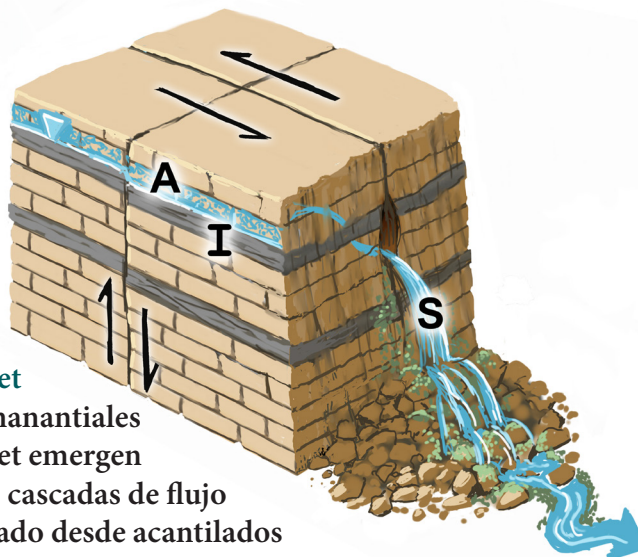
Géiser

Los manantiales Géiser ocurren donde el agua subterránea es forzada a hacer erupción por la presión del vapor o gas.



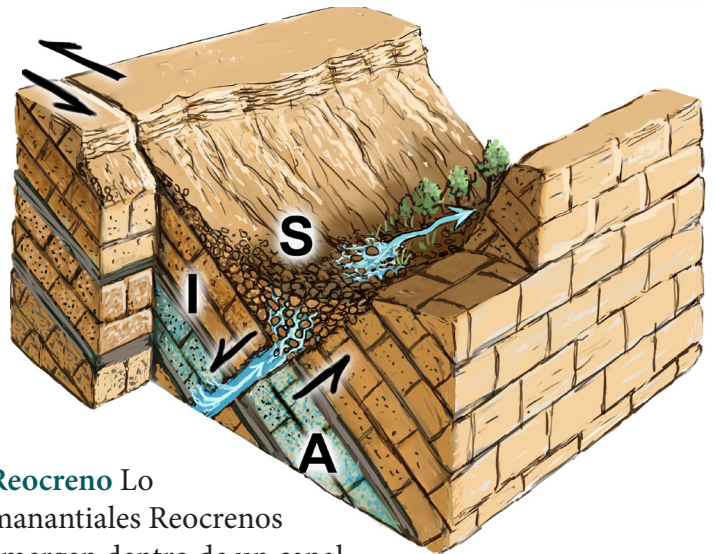
Ladera

Los manantiales de Ladera ocurren cuando el agua subterránea emerge en terreno delicadamente a pendiente inclinada (15-60°).



Gushet

Los manantiales Gushet emergen como cascadas de flujo centrado desde acantilados casi verticales.



Reocreno

Los manantiales Reocrenos emergen dentro de un canal húmedo o seco bien definido. Por lo general, están sujetos a inundaciones regulares de flujo superficial.

Fig. 11. Tipos de manantiales lóticos, rediseñados para SSI por V. Leshyk, modificados desde Springer y Stevens (2009).

Típicamente es mejor utilizar el nombre asignado por el administrador de la tierra. En los casos donde no exista un nombre de manantiales, es útil si el grupo del inventario de al manantial un complejo y distinto nombre coloquial—un nombre creativo que respete al sitio. Como muchos manantiales tienen múltiples fuentes, usar la forma plural, como “Manantiales los Martillos” es apropiado. Para evitar confusiones, evite nombrar un ecosistema de manantial “Grande”, “Caliente”, “Frío” o “Roca”. Del mismo modo, evite nombrarlo por el tipo de vegetación dominante (p. ej. “Manantial el Álamo”, “el Aliso” o “el Sauce”). Dichos nombres son sobre usados y pueden ser impermanentes, en este último caso porque la vegetación puede cambiar a lo largo del tiempo. Es habitual en los Estados Unidos renunciar al uso de apóstrofes en los nombres geográficos. Debido a que la mayoría de los manantiales no tienen nombre y porque el Servicio Geológico de EE. UU. (USGS) rige la denominación de las características geológicas en los Estados Unidos, el nombre aplicado por el grupo de inventario finalmente se convierte en el nombre oficial del ecosistema de manantiales. Por lo tanto, es importante asignar un nombre respetuoso.

Tipo de manantiales: Una administración efectiva requiere comprender el estado del suministro de agua subterránea, y el tipo y el contexto de los manantiales (Scarsbrook et al. 2007). Springer y Stevens (2009) identificaron 12 tipos de manantiales que incluyen manantiales lénticos (agua estancada; Fig. 10) y lóticos (agua en movimiento; Fig. 11). Los paleomanantiales sin flujo no han sido incluidos en esta lista.

Ubicación y propiedad: País, estado y condado, unidad de tierra (p. ej., Servicio Forestal de los EE. UU., Servicio de Parques Nacionales, Privado), y detalle de la unidad de tierra (p. ej., Distrito de Guardaparques Kaibab Norte, Parque Nacional del Gran Cañón) son campos obligatorios en la base de datos. El Quad de USGS y HUC de 8 dígitos son opcionales, pero a veces son útiles. Si se deja en blanco, estos se actualizarán automáticamente en la base de datos. Los sitios pueden ser catalogados como sensibles por el administrador debido a su ubicación (p. ej., asociado con recursos arqueológicos), inventario (p. ej., alberga especies en peligro de extinción), ambos, o ninguno. Permisos en la base de datos de Springs Online pueden restringir el acceso a esa información sensible, como el administrador desee.

Descripción del sitio: En este campo, los agrimensores deberán describir el contexto a largo plazo

del sitio. Esto incluye el entorno general geológico y geomórfico. Típicamente esta descripción debe aplicarse a la condición permanente y características del sitio. Este es un campo de texto libre en la base de datos, lo que permite un amplio espacio para describir el sitio, pero no su condición (ver más abajo).

Sección de Georreferenciación

Fuente y dispositivo de Georreferenciación: El dispositivo utilizado (GPS, mapa, etc.) indica la calidad de la información de ubicación. Tenga en cuenta que los cañones empinados pueden generar un error de GPS alto (señalado en EPE, a continuación).

Datum: Generalmente los agrimensores deberán usar NAD-83 o WGS-84, aunque cuando se utiliza una hoja Quad de USGS, NAD-27 puede ser inevitable. Es crítico documentar el datum utilizado, ya que puede dar lugar a un error de posicionamiento de hasta 400 m.

Coordenadas geográficas: El grupo ingresará UTM, grados decimales, o ambos. Sin embargo, la base de datos de Springs Online requiere grados decimales para agregar nuevas ubicaciones de manantiales. Si usa UTM, asegúrese de incluir la zona. La declinación es importante para el cálculo del norte geográfico contra el norte magnético. Los datos de elevación precisos son esenciales para el modelado de agua subterránea; sin embargo, las elevaciones precisas son notoriamente difíciles de obtener usando GPS. Por lo tanto, utilizando mapas topográficos o un modelo de elevación digital puede ser más preciso que usar datos GPS para determinar la elevación. Generalmente, el geógrafo puede tener una mayor confianza en la precisión de las ubicaciones de GPS con una posición de error estimada más baja (EPE). Use el campo de comentario para cualquier inquietud o notas sobre las coordenadas (p. ej., la fuente se encontró en un sitio de señal baja entonces las coordenadas fueron tomadas a 50 m de distancia donde una señal se pudo obtener).

Direcciones de acceso: Completar esta sección puede ahorrar a futuros agrimensores una enorme cantidad de tiempo y limitar peligro. Por ejemplo, si el sitio solo es accesible desde arriba, o si se requiere un ascenso difícil, esta información es importante registrar. Además, si un sitio solo es accesible con una larga caminata, o cruzando terrenos privados con perros grandes, documentando estos obstáculos se acelerará el futuro inventario y esfuerzos de monitoreo.

Sección SPF (Solar Pathfinder)

La radiación fotosintéticamente activa (PAR) es importante en manantiales en terrenos topográficamente complejos porque determina la cantidad de luz disponible para la vegetación de manantiales, la duración y frecuencia de congelación y descongelación en invierno, y evaporación y humedad relativa en los meses de verano. Un Solar Pathfinder (SPF; Solar Pathfinder Inc. 2011; <http://www.solarpathfinder.com/>) puede ser utilizado para determinar rápidamente la duración promedio mensual de la insolación directa (fig. 12). El dispositivo SPF consiste en un domo reflectante, transparente, montado en una plantilla con el diagrama de la ruta del sol específica a la latitud del sitio. La plantilla estima el porcentaje medio de luz solar directa cada media hora entre amanecer y atardecer cada mes, definido por el horizonte. Se calcula el porcentaje de energía solar potencial total para un día promedio durante cualquier mes. Con una medición de 1-2 minutos, el geógrafo puede determinar el PAR

potencial del sitio para todo el año. Tenga en cuenta que la limitación atmosférica de la radiación solar no se mide, y que la cobertura de nubes, polvo y humedad reducen el PAR actual. El instrumento puede calibrarse en función de las horas reales de salida y puesta del sol cuando existen tales oportunidades. En general, el SPF tiene una precisión dentro de 0.5 horas y aproximadamente 5 m del punto de medición. En algunos entornos, se pueden producir dobles amaneceres o puestas de sol.

El Solar Pathfinder es por mucho el enfoque más eficiente y menos costoso para la recopilación de datos de radiación solar en micrositios. Incluso los modelos digitales de terreno de 10 m no pueden proporcionar información suficientemente precisa sobre la insolación de micrositios.

Para la investigación de Nivel 3, el SPF se puede usar para mapear el presupuesto de energía solar alrededor del perímetro de sitios más grandes. Alternativamente, se puede instalar un piranómetro y una estación meteorológica para monitorear temperatura, precipitación, y la humedad en relación con la radiación solar durante todo el año.

Sección de Inventario

Fecha del inventario, Hora de inicio, y Hora de término: La fecha del inventario es un campo obligatorio. Los tiempos de inicio y de término son útiles para calcular el tiempo total dedicado a realizar el inventario. La hora de término se olvida fácilmente: todos los miembros del grupo deben recordar al líder de grupo que incluya este valor al final del inventario.

Agrimensores: Ingrese los nombres completos de todos los agrimensores. Aunque es tentador simplemente agregar iniciales, el personal futuro no necesariamente las reconocerá.

Proyecto: Este es un campo obligatorio en la base de datos de Springs Online. Los proyectos son fáciles de agregar y permiten el ingreso fácil de datos, GC/CC, y reportes.

Condición del sitio: Este campo de texto libre debe incluir circunstancias específicas en los manantiales en el momento del inventario, incluidas las condiciones ecológicas generales y las características o impactos naturales y antropogénicos visibles, como inundaciones recientes, pastoreo, uso recreativo o incendios. Dicha información es temporal, a diferencia de la información de descripción del sitio (arriba).



Fig. 12. El Solar Pathfinder es utilizado para medir la radiación fotosintéticamente activa en un ecosistema de manantiales.

Sección de Microhábitats

Los manantiales son ecosistemas complejos, en parte porque pueden incluir un conjunto de microhábitats geomorfológicamente distintivos, que son parches que se forman a través de varios procesos físicos (Tabla 4). La lista de microhábitats comunes incluyen: cuevas, paredes posteriores, (húmedas o secas), canales, estanques, terrazas, pendientes coluviales y características antropogénicas, la ocurrencia y el tamaño relativo de los mismos varían según los manantiales y el tipo de manantiales. El grupo deberá discutir y acordar sobre el conjunto de microhábitats geomórficos existentes en el sitio previo al mapeo y descripción de la vegetación (abajo). La definición de microhábitat permite la medición del área y de la diversidad geomórfica, la densidad de especies de plantas, y otras características del sitio. Es importante diferenciar microhábitats geomórficos de la vegetación, porque la cobertura vegetal puede extenderse a través de porciones o varios microhábitats enteros. Humedad del suelo, textura, y composición, así como observaciones sobre la calidad

del suelo y el grado de perturbación (p. ej., pisoteo por ganado) se registran para cada microhábitat (Schoeneberger 2002).

Descripción del Microhábitat: Algunos sitios solo contendrán uno o dos microhábitats, mientras que los sitios grandes y complejos pueden contener muchos. Los microhábitats se listan de A-G (o más si es necesario) en la hoja de campo. El grupo de inventario asigna un nombre de letra único a cada uno y que todos puedan recordar fácilmente. Por ejemplo, podría haber un canal mojado (A), canal seco (B), terraza oeste (C), y terraza este (D). Sea conservador en todas las estimaciones.

Área: El miembro del grupo responsable del desarrollo del croquis debe calcular el área de cada microhábitat en metros cuadrados. Para sitios más pequeños, los agrimensores deben colocar una cinta métrica a lo largo del eje largo del ecosistema de manantiales (Fig. 13). Para sitios muy grandes, los agrimensores pueden usar un telémetro o un dispositivo GPS para recorrer el perímetro.

Tabla 4. Matriz de tipos de manantiales y posibles microhábitats asociados. Negro – alta probabilidad de ocurrencia de ese microhábitat en ese tipo de manantial, gris – moderada probabilidad de ocurrencia, blanco - baja probabilidad de ocurrencia.

Tipos de Manantiales	Tipos de Microhábitat													
	Pared Posterior	Cueva	Canal	Pendiente Coluvial	Ciénega fen de alto gradiente, Pantano	Ciénega fen de bajo	Madícola	Orilla Lenticia	Estanque	Roca Madre Inclinada	Zona de Rocío	Manantial de Montículo	Terraza	Otro
Cueva														
Esposición														
Fuente														
Géiser														
Gushet														
Jardín Colgante														
Helocreno														
Ladera														
Hypocreno														
Limnocreno														
Formación de Montículos														
Reocreno														



Fig. 13. El equipo de inventario debe estirar una cinta métrica a lo largo del eje largo del sitio, y perpendicularmente.

Tipo y subtipo de superficie: Los valores del tipo de microhábitat se listan en la Tabla 4. Los subtipos de superficie incluyen: canal (CH) rabiones, escurrimientos, márgenes, and Eph (efímero); superficies húmedas o secas de pendiente coluvial (CS) o roca madre inclinada (SB); terraza de canal (TE) en la hidro- (H; inundado > anualmente), inferior (L - inundado cada 1-2 años), medio (M; inundado cada 2-10 años) o superior (U; inundado > 10 años) zona ribereña (RZ; p. ej., “MRZURZ”). Todos los tipos de superficie pueden tener un subtipo antropogénico (Todos).

Variabilidad de la pendiente: Se considera baja, media o alta basada en la consistencia de la pendiente en un microhábitat. Por ejemplo, una pared vertical se le asignaría a un valor de variabilidad de pendiente baja si toda la superficie es consistentemente de 90°.

Aspecto: Registre la orientación cardinal de cada microhábitat, medida con un Brunton o una brújula de avistamiento, y note si la brújula ha sido ajustada para declinación (p. ej., magnético contra el norte verdadero). Recordemos que $360^\circ = 0^\circ$. Si el norte magnético es usado, ingrese el valor de declinación, recordando que la declinación también afecta la configuración del Solar Pathfinder. La base de datos de Springs Online convierte de magnético a norte verdadero.

Grados de pendiente: Mida el ángulo de inclinación de cada parche de microhábitat en grados utilizando un clinómetro.

Humedad del suelo: La humedad se estima visualmente como la humedad generada por los manantiales en suelos superficiales en una escala de 0-10, que va desde: seco (0 = sin humedad del suelo, el suelo se separa fácilmente), húmedo (3 = poca humedad), húmedo (humedad moderada), mojado (6 = el suelo se adhiere fácilmente), saturado (8 = completamente mojado, el agua agregada no es absorbida, pero no el agua estancada), e inundado (10 = agua que fluye a través o sobre la superficie). Estas categorías también se listan en el #6 en la Página 2 de las hojas de campo.

Profundidad del agua: Mida la profundidad máxima del agua en cm dentro de cada microhábitat.

% de agua: El porcentaje de humedad se estima visualmente como el porcentaje de la superficie de microhábitat que contiene agua abierta.

% de sustrato: El porcentaje visualmente estimado de cobertura del tamaño de grano del sustrato se registra en la hoja de datos en cada categoría numérica. Estas categorías de textura del suelo siguen una escala modificada de Udden (1914) - Wentworth (1922): 1) arcilla, 2) limo, 3) arena (0.1-1 mm), 4) gravilla (1-10 mm), 5) grava gruesa (1-10 cm), 6) rocas pequeñas (10-100 cm), 7) rocas grandes (> 1 m), 8) roca madre, y 9) suelo orgánico, incluida la turba. El color del suelo (medido con una tabla de colores de Munsell) puede indicar varios tipos de suelo y se utiliza en las actividades del inventario de Nivel 3, como la delineación de humedales.

% de Precipitado: El porcentaje de cobertura del precipitado se estima visualmente a través de todo el microhábitat. En algunos casos, el precipitado puede cubrir hojarasca y madera y por lo tanto puede ser tan alto como el 100%.

% de Hojarasca: El porcentaje de cobertura de hojarasca en el suelo mineral (Schoenberger et al. 2002) incluye el porcentaje de hojas, ramitas y pequeñas ramas caídas (<1 cm de diámetro) que cubren el suelo, y deben estimarse visualmente en cada microhábitat.

% de Madera: El porcentaje de cobertura de ramas o troncos >1 cm de diámetro se estima visualmente, con la disposición de que el porcentaje de cobertura de hojarasca y el porcentaje de cobertura de madera no pueden exceder el 100%.

Hojarasca (Profundidad; cm): Se deben promediar tres o más mediciones de la profundidad de la hojarasca en diferentes áreas dentro del microhábitat y para estimar la profundidad de la hojarasca a través de todo el microhábitat.

Sección de Imágenes

Los agrimensores deben tomar fotografías del sitio que capturen, al máximo posible, el contexto y la condición del ecosistema de manantiales en estudio. Tales fotografías también se pueden utilizar para comparaciones de monitoreo a largo plazo. Sin embargo, la cobertura de vegetación pesada puede ocultar importantes características del sitio, por lo que la selección del punto de captura de imagen debe ser cuidadosamente considerada. Los agrimensores deben tomar imágenes de otras características y biota (p. ej., especies de plantas de ocurrencia individual que no deben ser colectadas). Estos pueden ser subidos en los formularios de datos de plantas, vertebrados o invertebrados en Springs Online. Típicamente solo 1-3 fotografías del sitio se suben a la base de datos de Springs Online, y las imágenes adicionales se deben etiquetar y almacenar para referencia futura.

Cámara Utilizada: En este campo, los agrimensores deben identificar qué cámara se utilizó para tomar fotografías del sitio y en dónde se almacenan esas fotografías. Las fotografías generalmente son mal coloca-

das o se pierden durante y después de los proyectos de inventario.

de Foto y Descripción: Los agrimensores deben documentar los números de fotos generados por la cámara y describir el objeto de la fotografía. Las cámaras con capacidad GPS pueden ayudar a identificar la ubicación de las fotografías, pero esto no identifica el objeto de estudio.

Ubicación del Croquis: Se refiere a la ubicación donde se almacena el croquis (p. ej., en un libro de campo, en una carpeta, o electrónicamente en una base de datos).

Croquis

Una vez que se hayan identificado los microhábitats, el geógrafo deberá mapearlos en una fotografía orto-rectificada del sitio, en una tabla sujetapapel, en papel cuadriculado, midiendo las dimensiones y la orientación cardinal de los microhábitats (p. ej., Figs. 14 y 15). La longitud y el ancho del sitio se deben medir con una cinta métrica o un telémetro. Una vez que se describe el sitio, el croquis debe incluir carac-

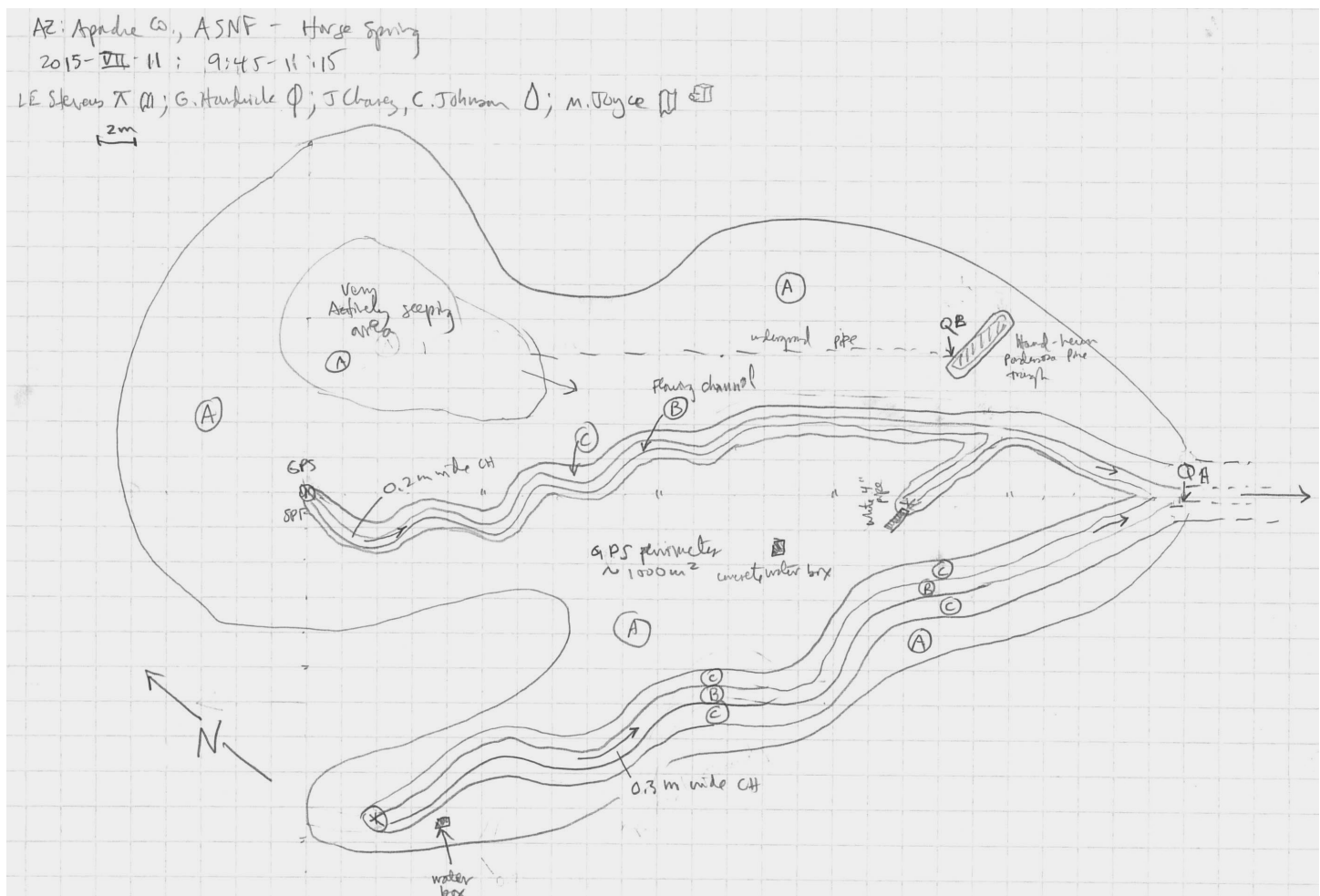


Fig. 14. Ejemplo de un croquis de campo. Horse Spring (Manantial Horse) en el Bosque Nacional Apache-Sitgreaves, Arizona.

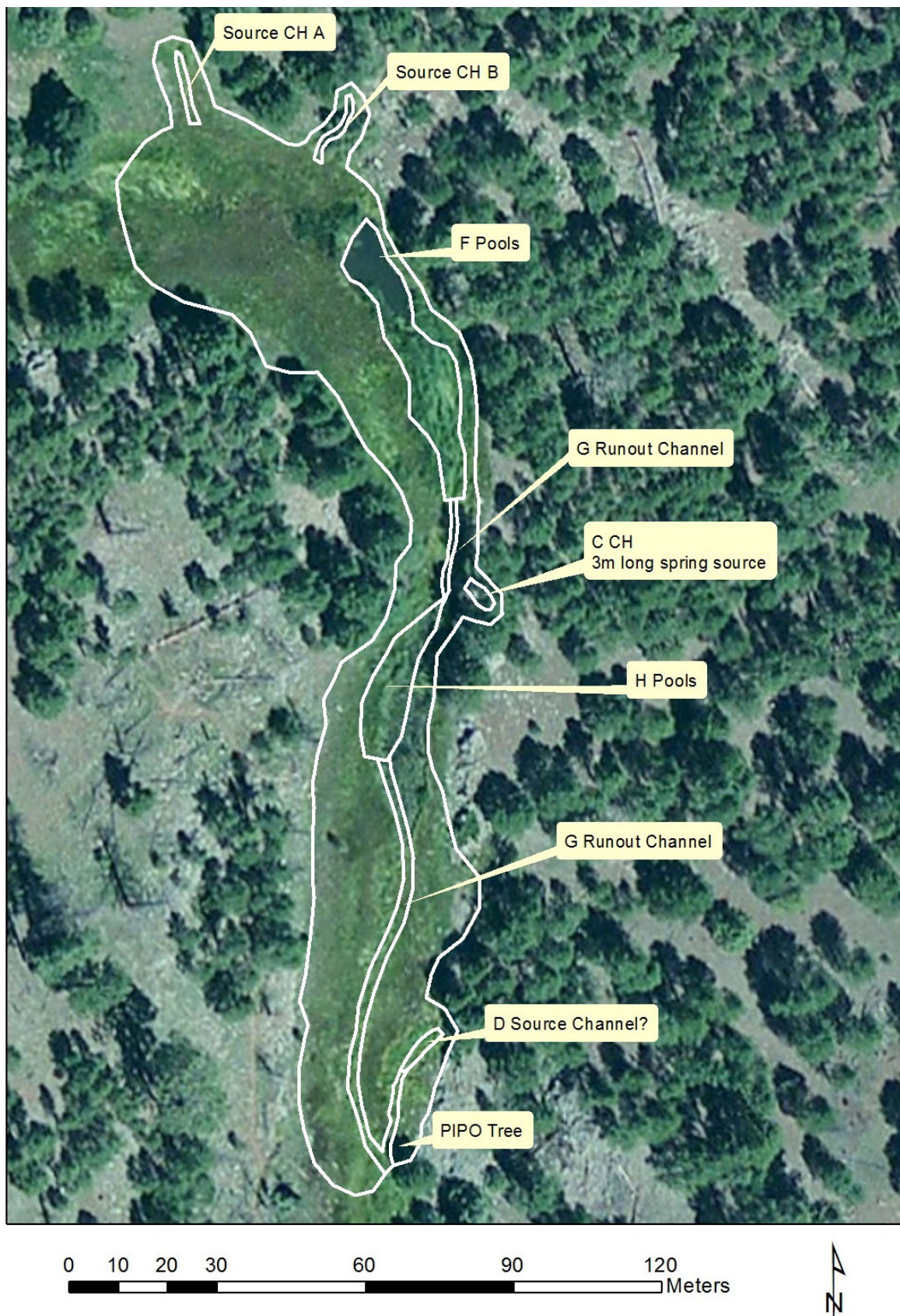


Fig. 15. Ejemplo de un croquis generado al recorrer los perímetros de microhábitats usando un GPS, después llevando los datos a ArcMap, refinar los polígonos y agregar etiquetas. Este método puede ser mucho más eficiente y preciso para sitios grandes, abiertos y planos. A veces también es posible dibujar polígonos utilizando imágenes aéreas. Cualquiera de estos métodos no es factible en sitios pequeños, o en aquellos con vegetación densa o terreno empinado. El sitio que se muestra aquí es de LO Spring, Kaibab National Forest, Arizona. Imágenes aéreas cortesía de ESRI.

terísticas distintas, tales como: 1) nombre del sitio, agrimensores, fecha, una barra de escala; 2) un boceto del sitio para aproximar la escala, dirección del flujo, la(s) fuente(s) de los manantiales, la configuración de los canales asociados, estanques, terrazas y otras formaciones terrestres indicadas; 3) puntos en los que se tomaron mediciones de georreferenciación, fotografía y Solar Pathfinder; y 4) caminos, senderos, cajas de manantiales, tuberías, zanjas y otras características construidas. Asegúrese de colaborar con todo el grupo para confirmar que el croquis corresponda con las descripciones de los microhábitats y la cobertura vegetal.

El croquis se escanea y se sube en el inventario en Springs Online, y se incluye junto con las fotografías del sitio en los archivos.

Hojas de Campo Página 2

Esta página contiene listas de opciones para muchas de las variables que se encuentran en la primera página. Por ejemplo, las opciones para el #1 Ámbito de Descarga (Tipo de manantial) en la parte superior de la página 1 incluyen: tipo de manantial antropogénico, cueva, exposición, fuente, géiser, jardín colgante, helocreno, ladera, hypocreno, limnocreno, formación de montículos, y reocreno (Figs. 10 y 11). Este sistema usa menos espacio que el listar todas las opciones en cada formulario de campo. A medida que los agrimensores se familiaricen más con las opciones, deberán consultar esta lista con menos frecuencia.

Hojas de Campo Páginas 3 y 4

Resumen de Fauna

Toda la macrofauna acuática y terrestre detectada en el sitio deberá ser documentada. Recomendamos que el biólogo pase al menos cinco minutos en el sitio previo a la llegada o perturbación por parte de los otros miembros del grupo para observar la vida silvestre, rastros o señas que puedan dispersarse o ser obliteradas posteriormente (Fig. 16). Los métodos de detección de macroinvertebrados acuáticos y terrestres difieren considerablemente y se describen por separado a continuación.

La vida acuática y de los humedales en los manantiales comúnmente incluye: taxa de Mollusca, Hexapoda, otros invertebrados; peces; anfibios y reptiles; y aves y mamíferos. Los grupos de especies que son propensos al endemismo en los manantiales de tierras áridas en los EE.UU. incluyen: caracoles hidrobiidos (Sada y Pohlmann 2006, Hershler et al. 2014); gusanos planos; caracoles acuáticos physidos; anfípodos e isópodos

acuáticos (Blinn 2008); varias familias de plecopteros; varias familias de chinches acuáticas del suborden Heteroptera (especialmente Nepomorpha; p. ej., Stevens y Polhemus 2008); escarabajos ditíscidos y dryopidos; pecesillos ciprínidos y pez cachorrito ciprinodóntidos; pecesillos ciprínidos y ciprinodóntidos (Nelson 2006); otros peces; y anfibios (p. ej., <http://www.pwrc.usgs.gov/naamp/index.cfm>). Además, se pueden detectar taxones raros pero no endémicos, así como especies potencialmente nuevas para la ciencia durante los inventarios de manantiales (Sada y Hershler 2002, Sada y Polhmann 2003, Stevens y Meretsky 2008, Stevens y Polhemus 2008, Stevens y Bailowitz 2009). Las técnicas para el muestreo varían según el taxón, y requieren equipo específico, protocolos de preservación, y una considerable experiencia de campo y laboratorio.

Vertebrados Terrestres

Documentar el uso de los manantiales por la fauna terrestre es importante para comprender el papel ecológico de los manantiales en el ecosistema circundante. Una amplia gama de taxones de vertebrados terrestres puede ocurrir en los manantiales, incluyendo: peces, anfibios, reptiles, aves de humedales y mamíferos. El uso de manantiales por la vida silvestre puede ser sorprendentemente intensivo. Por ejemplo, el Grand Canyon Wildlands Council, Inc. (2002) reportó 35 especies de aves, algunas de ellas en abundancia, bebiendo agua en un manantial pequeño, y remoto en el Borde Norte del Gran Cañón durante una visita al sitio



Fig. 16. A menudo, los agrimensores solo encontrarán signos de especies de vertebrados, como el excremento de oso aún cálido. Esto se puede anotar en la hoja de vertebrados bajo el nombre de la especie, con el tipo de detección como "signo" y "heces" en los comentarios. La imagen también se puede subir en la base de datos de Springs Online.



Fig. 17. Una serpiente de cascabel de cola negra (*Crotalus molossus*) asoleándose en la salida de un manantial cálido a lo largo del río Rio Grande debajo del Parque Nacional Big Bend.

de Nivel 2. Grand Canyon Wildlands Council, Inc. (2002, 2004) reportó una densidad de aves (y mariposas) de dos a cinco veces mayor y una riqueza de especies en los manantiales en comparación con las tierras altas circundantes. Aunque se pueden detectar muchas especies de vertebrados terrestres durante una visita al sitio, desarrollar una lista relativamente completa de las especies presentes requerirá de muchas visitas en diferentes momentos del año, un esfuerzo de inventario de Nivel 3. Mientras que todas las observaciones de vida silvestre deben ser anotadas, la cuantificación de invertebrados y vertebrados terrestres no se podrá completar durante una evaluación rápida de Nivel 2.

Los peces en manantiales se muestrean más efectivamente a través del monitoreo de Nivel 3. Sin embargo, la presencia de peces debe anotarse en los inventarios de Nivel 1 y Nivel 2 para alertar a los futuros observadores sobre equipo necesario. Durante el Nivel 2, se registran los inventarios de identificación y evaluación visual de los números de peces. Si está permitido, los especímenes pueden ser atrapados con redes, y si es necesario, preservarlos para su identificación. Se deben hacer recomendaciones en un inventario de Nivel 2 sobre el monitoreo de Nivel 3, incluyendo los hábitats a muestrear, preguntas específicas a responder y los métodos a utilizar, que incluyen: métodos subacuáticos (buceo y esnórquel), captura pasiva (redes de aros o hoop nets, redes de trasmallo, redes de enmalle, trampas de pez pequeño y vertederos), métodos de captura activa (redes de cerco, redes de arrastre y dragado), o pesca eléctrica de mochila o bote. Zale et al. (2013) proporciona detalles sobre las técnicas mencionadas anteriormente, así como el manejo de muestras,

manejo de datos, diseño, y análisis.

La detección y monitoreo de herpetofauna generalmente deben cumplir con los estándares y protocolos de datos del Servicio Geológico de EE. UU. (revisado en Dodd 2007), el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU. (Guilfoyle 2010), y los protocolos de inventario y monitoreo de múltiples especies del Servicio Nacional Forestal (https://www.fs.fed.us/psw/publications/wo/wo_gtr073.pdf). Si los agrimensores pueden tomar imágenes identificables de las especies observadas, se pueden subir a la base de datos de Springs Online (p. ej., Fig. 17).

La detección aviar variará por hora y por temporada (Manley et al. 2006). Las observaciones de aves serán oportunistas durante los inventarios de Nivel 2, pero los métodos de Nivel 3 pueden emplear puntos de conteo modificados o inventarios de encuentros visuales, con tipos de detección que incluyen vista, sonido o signo (p. ej., plumas, heces, huellas). Las observaciones de especies o señas dentro de 100 m de los ecosistemas de manantiales deben asociarse con el sitio de inventario. Las especies observadas a más de 100 m de los ecosistemas de manantiales son más difíciles de asociar con confianza al sitio y por lo tanto se pueden anotar en la hoja de datos, pero no se debe incluir en la lista de sitios. Los métodos de puntos de conteo de Nivel 3 se describen en el inventario de especies múltiples y en los protocolos de monitoreo del Servicio Nacional de Bosques (https://www.fs.fed.us/psw/publications/wo/wo_gtr073.pdf).

La detección de mamíferos similarmente también será oportunista durante los inventarios de Nivel 2. La detección y monitoreo de Nivel 3 utiliza inventarios de encuentros visuales. Dichos métodos abordan diversos grupos taxonómicos y son menos costosos que otros métodos fotográficos o de trampeo vivo. Las observaciones de especies de mamíferos y su rastro dentro de 100 m del ecosistema de manantiales pueden asociarse con el sitio del inventario, y con los tipos de detección que incluyen vista, sonido o signo (p. ej., heces, huellas, muertes, frotos y marcas de olor, etc.). Las fotografías activadas por movimiento de Nivel 3, placas de huellas, y trampas para conejos pueden usarse para una investigación más profunda.

Macroinvertebrados acuáticos

Muchos taxones de invertebrados ribereños y acuáticos se pueden documentar con la primera visita al sitio de Nivel 2. Sin embargo, el Grand Canyon Wildlands Council (2004) reportó que se necesitaron

varias visitas estacionales al sitio en diferentes temporadas y años para detectar el 90 por ciento de los taxones de macroinvertebrados presentes. Para los invertebrados acuáticos, recomendamos un muestreo intensivo de observación para detectar la mayor cantidad de especies presentes. Se debe tener cuidado de documentar las especies en varios microhábitats, incluyendo: vegetación ribereña y acuática; a lo largo de la orilla del agua; y en zonas madícolas, superficie de estanques, columna de agua, benticas, e hiporreicas.

Si existe un flujo suficiente (flujos con una profundidad de > 2 cm a través de áreas que exceden los 10 cm de ancho), el muestreo béntico cuantitativo cronometrado también es apropiado para establecer la densidad de referencia (número de individuos por m^2 /min de muestreo) y la densidad de especies (número de especies por muestra o por m^2). Las técnicas de muestreo bénticas cuantitativas incluyen kicknet, Surber, canasta de Hess (tamaños de malla de <1 mm), o muestreo de dragado con Ponar petite, y deben ser cronometrados, replicados y específicos del área, como lo describen Merritt et al. (2008) y la Agencia de Protección Ambiental (<http://www.epa.gov/owow/monitoring>). Se deben colectar al menos tres muestras cuantitativas y, en el monitoreo de Nivel 3, se debe realizar un muestreo hasta que se estabilice la variación en la riqueza y abundancia de las especies. Las trampas Malaise, pitfall, bandeja de color, y trapeo de luz ultravioleta, así como el muestreo de trampas de deriva y de emergencia también son informativas, pero son esfuerzos de Nivel 3. El muestreo de cangrejos de río u otros invertebrados invasivos incluye el muestreo puntual redes-D cuantitativa o cercos, según las necesidades de información del proyecto y el tiempo disponible, con captura por unidad de esfuerzo (CPUE) o área como métrica estándar. Se debe tener mucho cuidado si las especies protegidas están presentes, y las instrucciones específicas sobre el muestreo para o alrededor de dichas especies deben ser revisadas por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos y especificadas en el permiso de investigación. El muestreo de invertebrados y vertebrados en arroyos se realiza en sentido ascendente, para limitar el error relacionado con la deriva hacia las redes de muestreo.

El porcentaje de cobertura visual estimado (VE% C) de los sustratos acuáticos y otras variables del hábitat acuático se registran en cada sitio de muestreo béntico. Al igual que con la documentación de los suelos, el tamaño del grano béntico se estima visualmente utilizando la escala modificada de Udden (1914)-Went-

worth (1922). Las variables de velocidad, profundidad, especies de algas o plantas vasculares y cobertura, y las variables de calidad del agua también deben registrarse para cada sitio de muestreo cuantitativo. Los manantiales a menudo soportan un hábitat y un sustrato limitado; por lo tanto, no todas las categorías mencionadas anteriormente pueden estar presentes.

Los métodos cuantitativos apropiados para colectar macroinvertebrados acuáticos deben seleccionarse para cada tipo de hábitat específico. Los siguientes métodos de muestreo se emplean comúnmente en el muestreo de invertebrados acuáticos.

Red para arroyos o corrientes lentas (Kick-net): La técnica de muestreo de kick-net es un método cuantitativo que se utiliza en aguas que fluyen en profundidades > 2 cm. El kick-net se mantiene en el suelo del arroyo perpendicular a la corriente, estableciendo los extremos del polo firmemente en el sedimento para estabilizarse. Para arroyos poco profundos, se puede colocar un marco de $0.09m \times 0.09m$ en el suelo del arroyo y se puede interrumpir vigorosamente con una paleta o sonda durante un minuto. Los sustratos de grava y guijarros deben ser rotados y rasparse por todos lados mientras es alterado para desplazar a los macroinvertebrados a la red. Para profundidades de agua, superiores a 0.5 m, utilice una red kick-net con un área de $1 m^2$, y para profundidades de agua de 0.1 - 0.5 m use una red-D o red de inmersión y muestreé un área más pequeña (a menudo de $0.09 m^2$) porque el flujo puede no ser suficiente para llevar los especímenes hacia la red.

Muestreador de Surber: Se puede usar un muestreador de Surber para colectar macroinvertebrados en canales de manantiales con profundidades de agua de aproximadamente 5 - 50 cm. Haga frente a la abertura del dispositivo de muestreo de manera ascendente a la corriente. Estabilice la red colocando el pie de uno en las esquinas. El sedimento que se encuentra dentro del marco corriente arriba de la red debe ser alterado vigorosamente con una paleta o una sonda durante un tiempo específico (p. ej., 1 minuto), asegurándose de rotar y raspar todos los lados del área de muestreo. Los macroinvertebrados desalojados flotarán pasivamente hacia el interior del dispositivo colector al final de la red.

Muestreo acuático puntual: El muestreo por puntos es un método cualitativo que se utiliza para muestrear flujos de poca profundidad, vegetación, agua estancada y estanques, y macroinvertebrados de flotación libre. Se puede usar una red de mano (red de acuario), red



Fig. 18. Los agrimensores colectaron larvas de escarabajos buceadores que intentaban alimentarse de un saltamontes. Ambos fueron documentados y liberados en un manantial en el Bosque Nacional Apache-Sitgreaves, Arizona.

de marco en D o tamiz para tamizar macroinvertebrados bénticos o de flotación libre (p. ej., Fig. 18).

Muestreo con *Petite Ponar*: El muestreo de dragado se utiliza en entornos lénticos que son demasiado profundos para realizar muestreos con otros medios, por lo general en hábitats limnocrenos de aguas profundas. La muestra de dragado se levanta, se transfiere a una cubeta y se tamiza en un tamiz de malla de 0.5 a 1.0 mm. El área de una draga de un *Petite Ponar* es de 0.023 m² (6" x 6").

Almacenamiento e Identificación de Especímenes

Los especímenes acuáticos y de cuerpo blando se transfieren a una bolsa Whirlpack o a un vial y generalmente se conservan en etanol al 70-100%. Se devuelven al laboratorio para su clasificación, enumeración e identificación. Asegúrese de que la concentración de EtOH sea suficientemente alta ya que el agua de la muestra puede diluir aún más la muestra. Las muestras recolectadas por métodos cuantitativos incluirán una mezcla de sustratos y macroinvertebrados, y los materiales gruesos (Fig. 19) deberán retirarse de la muestra en el campo para prevenir daños a los especímenes.

La bolsa o el vial deberán estar etiquetados con el nombre del sitio, fecha y el sustrato o la afiliación del hábitat con un marcador permanente, y una etiqueta de tinta indeleble. La información también se debe colocar dentro de la bolsa o vial.

Si las muestras cuantitativas se clasifican y se enumeran en el campo (una práctica menos precisa pero más rentable), al menos tres individuos o porciones de diagnóstico de morfoespecies de macroinvertebrados

acuáticos se deben colectar para la verificación taxonómica. Sin embargo, la colección de especímenes no debe realizarse si tales acciones amenazan o acosan a las poblaciones locales o no están permitidas.

Si los análisis genéticos son anticipados para algunos especímenes, la muestra completa deberá ser preservada en EtOH al 100% en recipientes inertes, estériles y almacenarse en un ambiente oscuro y refrigerado.

Debido a que la identificación del laboratorio requiere mucho tiempo y es costosa, recomendamos el desarrollo de una colección de ejemplares para la unidad de gestión de tierras para agilizar los futuros estudios y monitoreo de Nivel 3. Los especímenes deberán ser comisariados y preservarse de acuerdo con los estándares de conservación a largo plazo de museo (Fig. 20).

Los macroinvertebrados son más difíciles de identificar en las etapas de larval y pupa que en la etapa adulta. Por lo tanto, a veces es útil criar larvas o pupas de etapa tardía a la etapa adulta para fines de identificación. Por ejemplo, las larvas de mosquitos (*Culicidae*), frigáneas (*Trichoptera*) y otras formas larvales de holometábolos (taxa que emerge de la etapa pupal a la etapa adulta) pueden colectarse vivas, y colocarse en un frasco etiquetado lleno de agua del arroyo. Especímenes vivos deben mantenerse frescos para minimizar el trauma del transporte. Los especímenes pueden criarse en el laboratorio hasta la etapa adulta para su identificación. Para obtener instrucciones detalladas sobre la crianza, consulte a Triplehorn y Johnson (2005) y Merritt et al. (2008).

Caracoles de manantial *Hydrobiidae*, plecopteros, frigáneas, gusanos planos turberlarios, y otros invertebrados acuáticos son de interés como indicadores potenciales de la perennidad del flujo, y debido a que



Fig. 19. Los materiales de sustrato grueso deberán retirarse de las muestras en el campo para prevenir daños a los especímenes.

las especies en esos grupos pueden ser endémicas de manantiales individuales (p. ej., Hershler et al. 2014). Las técnicas de colección y preservación difieren de las de otros macroinvertebrados acuáticos, y requieren consulta con un taxónomo. Sada y Pohlmann (2006; Apéndice B: 44-45) describen la colección y preservación de caracoles de manantial hidróbidos diminutos.

El muestreo acuático nocturno puede proporcionar una perspectiva biológica diferente del conjunto de invertebrados de manantiales, ya que muchos taxones (p. ej., sanguijuelas, Turbellaria, otros Annelida y muchos Hexapoda acuáticos) son nocturnos y es poco probable que se encuentren durante el día. Aunque es más apropiado como actividades de Nivel 3, el uso de trampas de luz ultravioleta y trampas Malaise resultará la cap-

tura de muchos taxones que no se detectan durante la luz del día, y en particular el trampeo de luz UV puede ser la única técnica para detectar algunos taxones, como los Trichoptera (Fig. 21).

Invertebrados Terrestres

Colección: Documentar el uso de los manantiales por la fauna terrestre también es importante para comprender el papel ecológico del ecosistema de manantiales. Puede haber una gran variedad de taxones de macroinvertebrados terrestres, incluyendo: taxa de adultos aéreos con larvas acuáticas (p. ej., Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Trichoptera, Lepidoptera y muchos Diptera) y Ochteridos semiacuáticos, gelastocoridos, y salidos.



Fig. 20. Taxa de invertebrados comunes dependientes de manantiales encontrados en Norteamérica, mostradas utilizando técnicas de preparación apropiadas.



Fig. 21. Emergencia masiva de frigáneas de *Metrichia nigritta* (Hydroptilidae) observada en Fossil Springs, Bosque Nacional de Coconino, Arizona.

Se requiere una taxonomía entomológica experta para la preparación e identificación de diversos invertebrados acuáticos y de humedales. Por ejemplo, las mandíbulas de los escarabajos tigre cicindeline deben extenderse para facilitar su identificación.

Previo a la colección de macroinvertebrados terrestres, asegúrese de que las redes colectoras estén libres de propágulos de los sitios visitados anteriormente y prepare un frasco letal. El acetato de etilo (un agente letal de uso común) se puede agregar según sea necesario en frascos con yeso de París como medio absorbente. Los macroinvertebrados deben colectarse de todos los tipos de hábitat terrestres dentro de los alrededores del manantial, usando los métodos apropiados. El equipo utilizado para coleccionar macroinvertebrados dependerá del tipo de sustrato. Los agrimensores deben coleccionar al menos tres individuos o partes de diagnóstico de los macroinvertebrados encontrados, y registrar cualquier taxón observado pero no coleccionado en las hojas de datos. Algunas técnicas apropiadas para la colección y manejo de muestras se describen a continuación.

Técnica de red de arrastre: La colección en vegetación, que incluye árboles pequeños, arbustos, pastos y plantas anuales, se realiza mediante la técnica de red de arrastre (Triplehorn y Johnson 2005). Para coleccionar macroinvertebrados, mueva rápidamente la red de un lado a otro a través de la vegetación durante 1 minuto. Cada tipo de vegetación debe recolectarse por separado y registrarse en la hoja de datos. Una vez que se coleccionan los macroinvertebrados, agítelos al fondo de la red y transfíralos a un frasco letal.

Colección puntual terrestres: La colección por puntos se usa para macroinvertebrados que no pueden

recolectarse utilizando la técnica de red de arrastre, incluidos los que se encuentran en troncos de árboles, debajo de rocas, troncos o ramas caídas, en hojarasca y en vuelo. Los macroinvertebrados pequeños o venenosos se pueden coleccionar con fórceps. Macroinvertebrados voladores (p. ej., mariposas, libélulas y polinizadores) se pueden capturar con una red de arrastre, observando especies de plantas hospedadoras, si las hay. Una pequeña red aérea o un aspirador es útil para coleccionar moscas pequeñas y otros invertebrados en hábitats en la ribera.

Red de Golpeo: Este método es útil para coleccionar invertebrados que se encuentran en la vegetación y que dejan la planta cuando es perturbada (p. ej., arañas, y moscas de la piedras y frigáneas adultas). Coloque una red para insectos de malla de 1 mm o más fina debajo de un arbusto o árbol, y golpee las ramas de la vegetación hasta que los macroinvertebrados caigan de la vegetación a la red (Triplehorn y Johnson 2005).

Otros Métodos de Colección: Muestreo nocturno, o el uso de trampas de Malaise, trampas de luz ultravioleta, trampas de bandejas de colores, trampas Pitfall y trampas de cebo revelarán diferentes conjuntos de invertebrados terrestres. Sin embargo, el uso de estas técnicas es típicamente un ejercicio de Nivel 3.

Preservación y Almacenamiento de Especímenes

Terrestres: Los agrimensores deben colocar especímenes de insectos de cuerpo duro (p. ej., mariposas, saltamontes, escarabajos, avispa) en un sobre de acetato, etiquetado con la ubicación, fecha, colector y notas de hábitat. Los especímenes de cuerpo blando o muy pequeños se deben conservar en etanol con una etiqueta colocada en el interior.

Preparación de Especímenes: Consulte a Triplehorn y Johnson (2005) para obtener instrucciones detalladas de montaje y fijación. Los macroinvertebrados de cuerpo duro generalmente se fijan, mientras que las moscas de cuerpo pequeño y otros taxones se montan en puntas. Los especímenes fijados deben colocarse en cajas o cajones de invertebrados sellados y protegerse de las plagas.

Invertebrados de cuerpo blando, incluidos los insectos, ácaros, arañas y moluscos, deberán conservarse en un vial tapado lleno de alcohol etílico al 70-100%, teniendo cuidado de que la concentración general del conservante no llegue por debajo del 70% debido a la dilución con especímenes húmedos (Fig. 22). Si se coleccionan especímenes para análisis genéticos, se debe usar etanol al 100% y almacenamiento en frío para preservar los especímenes.



Fig. 22. Ácaros que viven en un caballito del diablo *Argia* capturado.

Hojas de Campo Páginas 5 y 6

Resumen de Vegetación

La vegetación de los manantiales usualmente está compuesta por un complejo de especies acuáticas, de humedales, ribereñas, y de tierras altas, y puede ocurrir en combinaciones profusas, diversas y únicas, a menudo con especies raras y no nativas. La caracterización de la vegetación se realiza en relación con las metas y preguntas de la administración, pero con frecuencia es el elemento más complejo y que consume más tiempo en un inventario y evaluación rápida de campo. Sin embargo, para muchos sitios de estudio, proyectos, y la mayoría de los tipos de manantiales, puede ser altamente informativo. Recomendamos la estimación visual del porcentaje de cobertura (VE% C) de cada especie en varios estratos para describir de manera rápida y completa la composición, estructura y función de la vegetación en los manantiales.

Los métodos de VE% C utilizados para el inventario rápido son modificados de Domin y Krajina (1933, como se describe en Bonham 2013), Daubenmire (1959) y Bailey y Poulton (1968). La VE% C incorpora medidas de composición y estructura de la vegetación a través de una estimación semicuantitativa de la cobertura de cada especie de plantas en cada estrato en cada microhábitat. Este enfoque permite documentar diferencias sutiles en la clasificación. Típicamente, a un solo individuo pequeño se le asigna un puntaje de rastro de 0.01% de cobertura, mientras que a una especie con pocos individuos pequeños se les puede dar puntajes de 0.1%, 0.2%, etc. Es probable que ocurra un

sesgo y un error del observador, pero la VE% C puede proporcionar puntajes de cobertura clasificadas para cada especie, lo que es útil en análisis no paramétricos.

La VE% C requiere un conocimiento detallado de la flora local, así como una práctica considerable es estimar la cobertura, datos que son menos confiables cuando se realizan de forma casual o por novatos. El error de estimación de la cobertura varía entre los observadores pero disminuye con la experiencia: puede exceder el 25% cuando es realizado por novatos, por lo que la capacitación con expertos es importante. Existen muchas técnicas más cuantitativas para medir y monitorear la vegetación, por ejemplo, establecimiento de transectos, parcelas o marcar plantas individuales (p. ej., Barbour et al. 1987, Bonham 2013), pero tales métodos requieren más tiempo y son más costosos que la VE% C, pueden faltar o tergiversar especies raras, y son más difíciles de interpretar en comparaciones entre sitios o entre tipos de manantiales.

La eficiencia de las técnicas cuantitativas las hace inadecuadas para el inventario y la evaluación de Nivel 2, pero tales técnicas pueden ser apropiadas para las investigaciones de Nivel 3 y esfuerzos de monitoreo. No obstante, el personal del inventario que esté colectando la VE% C de Nivel 2 debe de estar continuamente al tanto de los errores relacionados con el sesgo del observador, y deberá ser conservador en su práctica de estimación de la cobertura. En general, encontramos que la VE% C se calcula con mayor precisión a través de la discusión entre los miembros del grupo, y con una experiencia creciente.

Recopilación de Datos de Vegetación

Una vez que se ha determinado la extensión del área de muestreo, el grupo trabaja en conjunto para acordar en el número y el tipo de microhábitats (polígonos) presentes. El botánico deberá crear una lista de especies de plantas en el sitio en la hoja de campo.

El botánico luego estimará el VE% C para cada especie por código de cobertura (estrato) en cada microhábitat. Los códigos de cobertura incluyen lo siguiente:

- Acuático (AQ): algas y plantas emergentes
- No vascular (NV): musgos, hepáticas y líquenes
- Cobertura basal (BC): tallos vivos o muertos > 10 cm que emergen del suelo
- Cobertura de suelo (GC): plantas herbáceas y graminoides caducifolia y anual

- Cobertura arbustiva (SC): leñosa perenne 0-4 m de altura
- Cobertura de dosel media (MC): leñosa 4-10 m de altura
- Cobertura de dosel alta (TC): leñosa > 10 m de altura

En regiones dominadas por árboles altos (p. ej., bosques tropicales), también se puede considerar el dosel muy alto (VTC), pero la relación del hábitat faunístico VTC con los manantiales será débil. Tenga en cuenta que una especie de planta dada puede ocupar varios estratos. Por ejemplo, los árboles de álamo pueden estar presentes como plántulas (cobertura del suelo), y los árboles maduros pueden ocupar espacios de arbustos, dosel medio y alto. Además, ningún estrato debe superar el 100% en cada microhábitat.

Colección de Especímenes de Plantas

Las especies de plantas que no pueden ser determinadas en el lugar por el biólogo del personal deben documentarse en la hoja de campo con un número de colección, colectarse, etiquetarse con el sitio, fecha, y microhábitat, y devolverse al laboratorio para su identificación. Se deben coleccionar varios individuos o porciones de diagnóstico de plantas inidentificables. Si solo se detecta un individuo de una especie en un sitio, es mejor fotografiarlo en lugar de coleccionarlo (Fig. 23). Las muestras de plantas deben incluir hojas, tallos, raíces, conos y flores, si es posible. Los especímenes de plantas deben colocarse en una prensa botánica y mantenerse secas para prevenir el moho.

Se pueden coleccionar algas, hepáticas, musgos y otras plantas no vasculares para la identificación taxonómica. Las algas se conservan mejor colocando la muestra en glutaraldehído tamponado filtrado al 3%, neutralizado a pH 7 con NaOH.; o en solución de Lugol u otros conservantes de tinción. Los musgos se pueden coleccionar a mano y colocar en un sobre para preservación seca. Las especies de plantas acuáticas a menudo se prensan mejor en papel encerado para evitar que el espécimen se adhiera a las hojas de prensado. En el laboratorio, las bolsas deben secarse al aire o secarse en horno a 60 °C durante 48 horas, antes de la identificación, preparación y curación.

Hojas de Campo Página 7

Resumen de Medición de Flujo

Las mediciones hidrogeológicas sistemáticas son necesarias para clasificar, comprender y monitorear los



Fig. 23. Fotografíe, en lugar de coleccionar, especies desconocidas raras encontradas en el sitio.

ecosistemas de manantiales; sin embargo, la medición del flujo en los manantiales puede ser un desafío. El flujo y la geoquímica pueden agregar una gran percepción para comprender la mecánica de los acuíferos y la duración de la trayectoria del flujo subterráneo. El modelado de la variabilidad del flujo mejora con el monitoreo de múltiples décadas, por lo que es importante recopilar datos de flujo durante cada visita al sitio. El flujo de los manantiales se puede medir con uno o más de los protocolos listados a continuación. Dichos datos deben evaluarse para determinar la calidad antes de integrarlos con otra información física y biocultural para evaluar la condición y los riesgos de la alteración hidrológica del ecosistema de manantiales (p. ej., Wilde 2008).

Meinzer (1923) desarrolló un esquema de clasificación para la tasa del flujo de manantiales, una escala que se usa ampliamente (p. ej., Jay y Blair 2005) pero que es ilógica e incompleta: relaciona inversamente clasificación con la descarga y no captura bien el rango

de descargas de manantiales. La escala presentada en Springer et al. (2008), ligeramente aumentado por debajo, utiliza una escala logarítmica SI para clasificar las tasas de descarga de los manantiales (Tabla 5).

Dónde y Cuándo Medir el Flujo: La medición del flujo requiere planificación, tanto para la logística del muestreo como para el equipo a utilizar. El flujo de los manantiales debe medirse en el punto de máxima descarga superficial, que probablemente no sea en la fuente, sino una cierta distancia río abajo. El punto de medición de flujo deberá registrarse en el croquis (véase a continuación). Comprender la variabilidad del flujo es importante en muchas situaciones, y se puede esperar que el flujo varíe según la temporada en la mayoría de los acuíferos poco profundos o en los acuíferos de tiempo de residencia baja. Las mediciones de flujo más conservadoras se realizan cuando, o en entornos donde las pérdidas de transpiración y las contribuciones de precipitación son mínimas (p. ej., en invierno, en entornos de emergencia de roca madre). Sin embargo, es igualmente importante comprender los impactos de la vegetación ribereña y de la extracción de agua subterránea en el consumo de agua durante la temporada de crecimiento, por lo que las mediciones a mediados del verano también son relevantes. En resumen, no hay un solo momento del año que sea el mejor para medir el flujo.

Técnicas de Medición de Flujo

General: Las técnicas de medición de flujo varían en relación con el sitio y la temporada (Tabla 3), y la hoja de campo de SSI proporciona un espacio para

documentar los métodos utilizados para medir el flujo de manantiales. Los datos del inventario de Nivel 1 deberán ayudar a informar al hidrogeólogo del grupo sobre qué equipo se necesita para medir el flujo.

Se necesitan mediciones de flujo replicadas para desarrollar una estimación estadísticamente creíble de la cantidad de agua que se descarga desde el manantial. Recomendamos que se realicen al menos seis mediciones y que se calcule el valor promedio. Si la descarga del manantial es baja (primera magnitud de SSI), la medición de la descarga puede tomar docenas de minutos y debe iniciarse temprano en la visita al sitio. La descarga de segunda a quinta magnitud es relativamente más rápida y más fácil de medir.

La medición de descargas de sexta o mayor magnitud (canales grandes a no viables) puede tomar tanto o más tiempo que mediciones de inmedibles a de primera magnitud. El nombre, número de serie (si está disponible), y la precisión del instrumento(s) utilizado para medir el flujo deberá registrarse, así como las observaciones de las indicaciones de flujos altos recientes (p. ej., marcas altas de agua o vegetación orientada o escombros en o sobre el canal o terreno inundable).

A continuación, listamos varios métodos para medir el flujo de manantiales, que van desde la medición del área de área mojada cuando el flujo es inmedible, hasta la captura de flujo cronometrada para manantiales pequeños, el uso de vertederos o canales aforadores portátiles para manantiales más grandes, y la medición de la velocidad de sección transversal del flujo de corriente.

Tabla 5. Magnitudes del caudal modificadas de Springer et al. (2008), rangos de caudal por clase, y los instrumentos recomendados para medir el caudal.

Magnitud del Caudal	Caudal (Inglés)	Caudal (métrico)	Instrumento(s)
Cero	No hay caudal discernible para medir	No hay caudal discernible para medir	Depresión
Primero	< 0.16 gpm	< 10 mL/s	Depresión, Volumétrico
Segundo	0.16 - 1.58 gpm	10 - 100 mL/s	Vertedero, Volumétrico
Tercero	1.58 - 15.8 gpm	0.10 - 1.0 L/s	Volumétrico, Vertedero, Canal aforador
Cuarto	15.8 - 158 gpm	1.0 - 10 L/s	Vertedero, Canal aforador
Quinto	158-1,580 gpm; 0.35-3.53 cfs	10. - 100 L/s	Canal aforador
Sexto	1,580 - 15,800 gpm; 3.53 - 35.3 cfs	0.10 - 1.0 m ³ /s	Medidor de corriente
Séptimo	35.3 - 353 cfs	1.0 - 10 m ³ /s	Medidor de corriente
Octavo	353 - 3,531 cfs	10 - 100 m ³ /s	Medidor de corriente
Noveno	3,531 - 35,315 cfs	100 - 1,000 m ³ /s	Medidor de corriente
Décimo	>35,315 cfs	>1,000 m ³ /s	Medidor de corriente

Si menos del 100% de la descarga es capturado por el canal aforador, el porcentaje de flujo capturado deberá estimarse y registrarse para cada medición.

Placa de vertedero portátil (Wilde 2008): Las placas de vertedero se usan a menudo para medir la descarga en canales de manantiales que tienen valores de baja a moderada magnitud. El vertedero se empuja hacia un canal de material suelto (Fig. 24). El vertedero tiene una muesca en “V”, u otra forma geométrica regular a través de la cual se debe enfocar toda la descarga en el canal, con aberturas de 45 °, 60 ° o 90 °. El vertedero incluye una graduación o una escala limnimétrica con la escala orientada hacia el lado a corriente arriba y la calibración de la placa de vertedero es una función de la geometría de la muesca. La medida 0 se encuentra en la parte inferior de la muesca y se usa para medir arroyo arriba en el vertedero. El uso de una placa de vertedero en los canales de roca madre o canales con material de lecho más grueso que la grava fina requiere un represamiento parcial del canal con limo, arcilla, o masilla de plomería mientras se asegura de no obstruir la muesca en V.

Una vez colocado en el canal, el vertedero se pondrá verticalmente y se nivelará mediante un nivel de torpedo de mano o un nivel de burbuja preinstalado. El cuenco amortiguador de corriente arriba creado por el vertedero debe primero estabilizarse en la elevación previa a la medición. La cabeza estática sobre la parte inferior de la muesca se mide 6 veces. Luego se calcula el flujo medio y se usa en una ecuación de flujo del vertedero para encontrar la descarga volumétrica (L/s).

Las placas de vertedero portátiles utilizadas en la medición de descarga de manantiales deben calibrarse y tener un coeficiente de descarga variable único para ser utilizado en la ecuación de flujo (Rantz et al. 1982; <http://www.lmnoeng.com/Weirs/RectangularWeir.php>). El montaje de medición de flujo también debe fotografiarse (Fig. 24).

Medidor de corriente (Wilde 2008): Los medidores de corriente se utilizan para medir el flujo en corrientes de manantiales viables o en canales anchos o en canales de alta descarga donde el flujo no se puede dirigir a un vertedero o canal aforador (Fig. 25). Las ubicaciones de medición se seleccionan en un alcance recto donde el lecho de la corriente está libre de rocas grandes, malezas, y obstrucciones prominentes que crean turbulencia, y con un perfil del lecho de corriente plano para eliminar las componentes verticales de la velocidad. Una cinta métrica se estira ajustadamente a través del canal perpendicular al flujo, y se ancla en cada lado.



Fig. 24. Los hidrólogos usan una placa de vertedero de pared delgada en V para medir flujos de bajo volumen en un sustrato suave.



Fig. 25. Los medidores de corriente se utilizan mejor en flujos de mayor volumen.



Fig. 26. Los canales de aforadores son útiles para entornos más desafiantes. Aunque son “portátiles”, son pesados y difíciles de usar en sitios remotos. Este canal aforador se utilizó para medir el flujo en un manantial recreo en Canadá.

La sección transversal del canal se divide en numerosas secciones parciales espaciadas uniformemente, o en secciones que capturan cantidades iguales de flujo. Una sección es un rectángulo cuya profundidad es igual a la profundidad medida en la ubicación y cuyo ancho es igual a la suma de la mitad de las distancias de las verticales adyacentes. Las mediciones se realizan vadeando la corriente con el medidor de corriente a lo largo de la cinta métrica. El miembro del grupo vadeando el canal deberá estar parado corriente abajo del medidor de velocidad. Debido a la seguridad involucrada en vadear un canal, esa persona no debe meterse muy profundamente en el agua y no debe usar vadeadores de cadera en aguas rápidas sin el uso de una cuerda de seguridad u otro equipo de seguridad apropiado.

En cada vertical, las siguientes observaciones se registran en la hoja de datos, (1) la distancia a un punto de referencia en el banco a lo largo de la cinta métrica, (2) la profundidad del flujo, y (3) la velocidad como lo indica el medidor de corriente. La velocidad debe medirse al 60% de la profundidad desde la superficie del agua hasta el piso del canal. La descarga de cada sección parcial se calcula como el producto de la velocidad media por la profundidad en cada vertical, sumado a través del canal para proporcionar la descarga total.

La nueva tecnología en forma de medición de flujo de sección transversal integrada por computadora ahora está disponible (p. ej., Flowtracker, Sontek/YSI 2006), lo que mejora enormemente la precisión de la medición de flujo de corriente en canales abiertos y viables. En corrientes más grandes, que no son viables, se necesita un teleférico o un bote para medir el flujo a través de una cinta métrica.

Canal Aforador Portátil: Normalmente, los canales aforadores se utilizan en manantiales de descarga de tercera a sexta magnitud (Fig. 26). Los canales aforadores funcionan mejor en canales de bajo gradiente con material de lecho de grano fino. Las paredes del ala del canal aforador están apuntadas corriente arriba en el canal de tal manera que enfocan la mayor cantidad de flujo posible a través del perfil regular de la abertura del canal aforador. El canal aforador requiere la caída libre del agua desde el extremo de corriente abajo del canal aforador. El canal aforador se coloca en un canal de material suelto. Se utiliza un nivel de burbuja para asegurarse de que el canal aforador esté nivelado. El piso de la sección de corriente arriba está nivelado tanto longitudinalmente como transversalmente. Se permite que el flujo se estabilice previo a la medición, y se registra 6 veces y se calcula el promedio. Se utiliza una curva de valoración estándar para el canal aforador para convertir la altura de la escala a descarga (Skogerboe et al. 2016). El valor medio para la descarga (L/s) se calcula y se registra. La precisión del instrumento depende de la escala en el canal aforador. También se debe hacer una corrección a la medición de descarga para tener en cuenta el porcentaje de descarga no capturada por el canal aforador.

Medición volumétrica cronometrada (captura de flujo): Las mediciones volumétricas se usan típicamente en manantiales de descarga de baja magnitud (Figs. 27-29), donde el flujo se puede enfocar fácilmente en un contenedor volumétrico. Se construye una presa temporal de masilla de tierra o de tubería para desviar el agua a través de un tubo de tamaño adecuado para la cantidad de descarga de manantiales. Se debe permitir que el flujo se estabilice antes de usar



Fig. 27. Los miembros del grupo miden el flujo creando una presa con tierra, o en este caso con heces de vaca, para dirigir el flujo a través de un tubo.

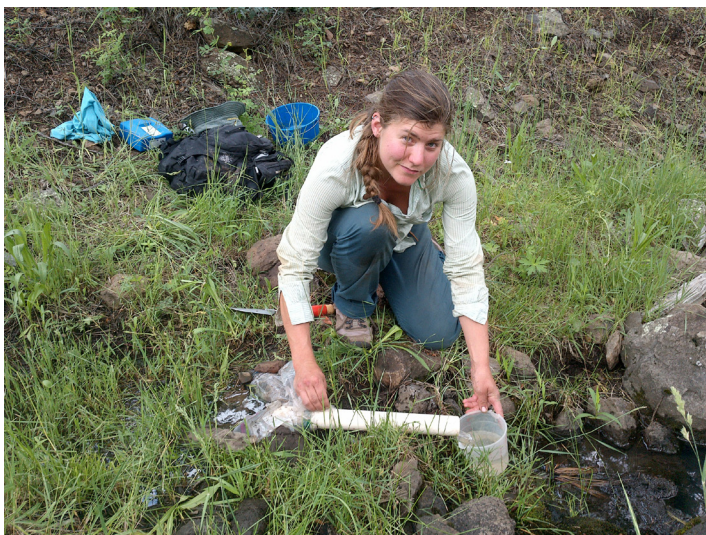


Fig. 28. Este agrimensor desvió el flujo a un tubo usando una bolsa zip-loc grande.

el contenedor volumétrico para capturar la descarga desde el tubo. El tiempo para llenar el contenedor se registra y la medición se repite 6 veces. El valor medio se calcula (L/s) y se utiliza como medida. La precisión de este tipo de medición depende de la calibración del contenedor utilizado, y de la estimación del observador del porcentaje de captura de descarga de los manantiales. Deben llevarse al campo varios tubos y contenedores calibrados de varios tamaños apropiados para manantiales de descarga de primera a segunda magnitud para garantizar la mejor medición posible. Cuando no se usan para mediciones volumétricas, los contenedores pueden usarse para ahorrar espacio y empacar otros equipos de campo utilizados para la evaluación rápida. El flujo en jardines colgantes a menudo es difícil de medir, pero a veces se puede usar



Fig. 29. Los agrimensores ocasionalmente deben improvisar para medir el flujo. En este caso, el grupo usó una lona para coleccionar gotas en un manantial jardín colgante en la orilla del Río Colorado en el Gran Cañón, Arizona.

una lona para capturar el flujo a lo largo de un contacto geológico que gotea.

Medición de la velocidad de flotación: Se seleccionan dos secciones transversales y se marcan con cinta de color (Flagging) a lo largo del alcance del canal recto. La distancia entre las dos secciones se mide con la cinta métrica. El ancho y la profundidad de cada sección transversal del canal son medidos y registrados. Las ubicaciones de las secciones transversales están separadas para permitir un tiempo de flotación de viaje de >20 segundos (si es posible). Un flotador (p. ej., un disco de madera) colocado en el canal de corriente y le es permitido alcanzar la velocidad de corriente antes de pasar a través de la línea de corriente arriba. Se anota la posición del flotador relativo a los lados del canal. El flotador es cronometrado entre las dos secciones transversales. Este procedimiento se repite 6 veces, ya que el flotador se coloca en diferentes ubicaciones a través del canal. La velocidad del flotador es igual a la distancia entre las secciones transversales dividida por el tiempo de viaje. Se calcula el valor medio de la velocidad horizontal de la superficie (m/s). Para convertir la velocidad media de la superficie en velocidad vertical media un coeficiente de 0.85 se multiplica por la velocidad media de la superficie. La descarga (m^3/s) se calcula multiplicando el valor de la velocidad media por el área promedio de la sección del canal de corriente medido. Este método es menos preciso que las técnicas de medición de velocidad listadas anteriormente.

Depresión/sumidero: Este método es típicamente usado para manantiales inmedibles o de flujo bajo con poca o ninguna expresión superficial de flujo, y se usa como un valor de comparación relativo de descarga. Una depresión es excavada dentro del área de infiltración. La depresión se deshidrata, y se registra el tiempo requerido para llenar la depresión. El volumen de llenado se cuantifica utilizando un contenedor calibrado o un método similar. Este procedimiento relativo e indirecto se repite 6 veces y el valor medio se registra como la medición en ese punto, reconociendo que toda la superficie puede filtrarse.

Cambio de cabeza estática: Este método se puede usar para una comparación relativa del cambio en la elevación de pozas estancadas, y es útil para medir el flujo en pozos o alcantarillas verticales poco profundas. Se coloca una escala limnimétrica en la poza y se registra la elevación del agua superficial, se mide la geometría de la parte superior de la poza (p. ej., el diámetro de una alcantarilla vertical). La poza es rápida-

mente drenada y la tasa de recuperación es registrada. Esta técnica de medición puede ser el único medio para medir el flujo en aguas estancadas, y la precisión depende de la calidad de los datos de geometría del estanque.

Medición de la profundidad del área húmeda y del nivel freático: Helocrenos, filtraciones y otros manantiales con descarga altamente difusa son sitios en los que el flujo de la superficie no se puede enfocar y medir directamente. La medición y fotografía del área húmeda puede ser la única opción para estimar la extensión del flujo de manantiales. Los piezómetros (pozos poco profundos) se instalan comúnmente en helocrenos para el monitoreo de Nivel 3 de la profundidad del nivel freático.

Estimación visual del flujo: Las condiciones del sitio, como la cobertura de vegetación densa, la pendiente empinada o plana, descarga difusa en un área pantanosa, y el acceso peligroso a veces pueden no permitir la medición directa de la descarga mediante las técnicas enumeradas anteriormente. Aunque la estimación visual es altamente imprecisa, puede ser el único método posible para algunos manantiales, pero el método debe considerarse como un último recurso. Las mediciones y fotografías deben tomarse para registrar el flujo, y las observaciones deben registrarse en la hoja de datos, junto con las recomendaciones sobre futuras mediciones de flujo.

Otros comentarios de medición del flujo: Manantiales subacuáticos emergen de los suelos de arroyos, lagos o del océano. Se pueden usar métodos de diferencia para estimar el flujo de manantiales más grandes en canales de arroyos. Sin embargo, la medición en entornos lénticos subacuáticos, como los suelos lacustres o entornos marinos, puede implicar la medición del área y la velocidad del flujo de descarga utilizando SCUBA, bolsas de plástico grandes, modelado térmico, u otras técnicas que no se pueden realizar durante una evaluación rápida.

Geomorfología

Entorno de emergencia: El ambiente en el que surgen las fuentes incluyen:

- Cueva—Fuentes subterráneas que solo pueden estar expuestas indirectamente a la atmósfera
- Subaerial, por entorno geomórfico—Emergencia sobre el suelo—observe el entorno geomórfico (p. ej., terreno inundable, pradera, piedemonte, piso o pared del cañón, ladera de montaña, etc.)

- Agua dulce subacuática léntica—Emergencia acuática en un estanque o lago—note sustrato (exudado orgánico, limo, arena, roca)
- Agua dulce subacuática lótica—Emergencia acuática en un arroyo o río—note sustrato (exudado orgánico, limo, arena, roca)

Descripción de la Unidad Hidroestratigráfica: Se debe describir el nombre y el tipo de roca del origen del estrato de la fuente del manantial. Antes de visitar el sitio, el geólogo debe revisar la literatura sobre geología y estructura local. Si existe una columna estratigráfica o un mapa geológico, debe revisarse y llevarse al campo para confirmar las observaciones.

El tipo de roca se define como ígneo, metamórfico, o sedimentario y el subtipo descrito. El tamaño y la forma de los granos individuales que comprenden la roca se pueden describir: si los granos son lo suficientemente grandes, el tamaño se puede estimar con una regla mm, pero si los granos son pequeños, se puede usar una lupa para examinar el tamaño y forma de los minerales que comprenden la roca para la descripción de la roca. Se puede colocar una gota de HCl al 10% en una superficie fresca, y poco erosionada para discernir si los minerales o el cemento de la roca están compuestos de carbonato (si es así, la superficie húmeda efervesce). Se consulta una tabla de colores de rocas para describir el color de la roca. Si no está claro cuál es el tipo de roca o el nombre de la unidad estratigráfica, y si se obtiene un permiso apropiado, se debe coleccionar y analizar una muestra de la roca en el laboratorio. Si se colecciona una roca, la fecha y la ubicación del sitio deben registrarse en la roca con un marcador permanente. Si la muestra está mal consolidada, debe colocarse en una bolsa de muestras con la información y la fecha de ubicación del sitio.

Mecanismos de forzamiento del flujo: Las fuerzas que llevan el agua a la superficie pueden no ser evidentes en una sola visita, o sin información sobre el agua subterránea de pozos circundantes. Si las fuerzas que traen agua a la superficie son evidentes, deberán ser descritas. Típicamente, la mayoría de los manantiales son alimentados por gravedad. Los manantiales artesianos descargan agua a presión, o pueden provenir de un acuífero que tiene una capa de confinamiento superior, sometiendo el flujo a presiones de fluido en exceso a la presión debida a la gravedad en el punto de descarga (Fig. 10). Los manantiales termales emergen cuando el agua subterránea entra en contacto con el magma o la corteza calentada geotérmicamente y es

forzada, a veces de forma explosiva en géiseres a la superficie (Fig. 11). Algunos manantiales no fluyen y no están sujetos a descargas presurizadas (Fig. 10), mientras que otros tienen múltiples mecanismos de forzamiento. Los factores antropogénicos, como la carga de agua subterránea alrededor de grandes reservorios, pueden crear fuerzas que antropogénicamente afectan la emergencia de los manantiales. Uno de los siguientes mecanismos debe registrarse junto con notas adicionales. Tenga en cuenta que pueden ser necesarios datos adicionales para determinar el mecanismo de forzamiento.

- Manantiales impulsados por gravedad—Depresión, contacto, fractura o manantiales tubulares
- Manantiales artesianos—Aumento de la presión debido al diferencial de presión del cabezal impulsado por gravedad
- Manantiales geotérmicos—Manantiales asociados con el volcanismo
- Los manantiales emergen debido a la presión producida por otras fuerzas—por ejemplo, los manantiales de botellas de coca son impulsados por la constante acumulación y liberación de gas
- Emerge debido a la presión producida por antropogénicos fuerzas—Sistemas artesanales o géiseres antropogénicos (por ejemplo, aguas termales asociadas con la presa Hoover, Arizona-Nevada)

Geomorfología de la fuente: El agua subterránea puede estar expuesta o fluir desde configuraciones de filtración (materiales permeables, pobremente consolidados), o desde juntas de fracturas de lecho de roca, o pasajes de solución. Además, puede existir un manantial como agua subterránea expuesta en la superficie, pero que no fluye por encima de la superficie terrestre. Un tipo adicional es un entorno de contacto estratigráfico en el que emergen manantiales como los jardines colgantes a lo largo de los límites geológicos estratigráficos. Las siguientes son las formas de las fuentes:

- Manantial de filtración—agua subterránea expuesta o descargada desde numerosas aberturas pequeñas en material permeable
- Manantial de fractura—agua subterránea expuesta o descargada de juntas o fracturas
- Manantial tubular—agua subterránea descargada o expuesta en aberturas de canales, como pasajes de solución o túneles

- Manantial de contacto—flujo que se descarga a lo largo de un contacto estratigráfico (por ejemplo, un jardín colgante)

Canales de escurrimiento de manantial: Se examina la morfología del canal (si existe un canal) para determinar si está dominado por un manantial o si está dominado por el flujo de superficie. Si un canal está dominado por descarga de manantiales, el canal a menudo es casi un banco en condiciones de flujo base. Si el canal está dominado por el flujo de superficie, generalmente el canal está sobredimensionado para el flujo base del manantial. Normalmente, hay dos etapas bancarias para los canales dominados por el flujo de superficie; un canal pequeño e inciso para la condición de flujo base y un canal más grande y ancho creado por inundaciones de superficie regulares (Rosgen 1996).

Si existe un canal de manantial en el sitio, se debe medir y / o describir la pendiente, el ancho del canal, la profundidad, la sinuosidad, el sustrato y el tipo de canal. La pendiente se mide con un clinómetro sobre su distancia. El ancho del canal se mide desde la parte superior de la orilla de canal izquierda a orilla de canal derecha. Una cinta métrica debe estirarse a través del canal y asegurarse. En el centro del canal (la vaguada) se mide la profundidad desde la cinta estirada hasta la parte inferior del canal para registrar la profundidad del canal. El ancho y la profundidad deben medirse en 3 a 5 ubicaciones dentro del canal dominado por manantiales o en un meandro del canal. La distancia entre los dos meandros debe medirse con la cinta métrica (o medida a pasos si la distancia es mayor que la cinta). El tamaño y la forma de los clastos en el canal se deben describir utilizando la escala de tamaño de partícula del sustrato. Si el canal está directamente en el lecho rocoso, se debe registrar el nombre de la unidad de roca.

Hoja de Campo Página 8

Resumen de Calidad de Agua

Los métodos de campo y de laboratorio de geoquímica del agua están descritos por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (revisado en Wilde 2008; Tabla 6) y aprobados por la Agencia de Protección Ambiental. La temperatura del aire y agua, el pH, la conductancia específica, la conductividad eléctrica, la alcalinidad total y la concentración de oxígeno disuelto se miden comúnmente utilizando instrumentación de campo calibrada diariamente. Las muestras y mediciones de la calidad del agua se realizan en la



Fig. 30. Hay kits de prueba disponibles para medir con precisión las características del agua como la alcalinidad. Estos no requieren calibración, son relativamente económicos, y proporcionan un sistema de respaldo útil para las unidades electrónicas.

fuelle de los manantiales, en lugar de corriente abajo de la fuente, para capturar en la medida posible las características del agua subterránea emergente. Los dispositivos individuales a menudo están diseñados para medir múltiples parámetros (p. ej., multímetros),

pero cada sonda debe calibrarse cada día según los estándares de laboratorio. Los kits de calidad de agua pueden proporcionar mediciones de respaldo cuando las unidades electrónicas fallan inevitablemente en sitios remotos (Fig. 30).

Las muestras filtradas de 100 ml de calidad de agua se pueden coleccionar en botellas lavadas triplemente con ácido para análisis de laboratorio de los principales cationes, aniones y nutrientes, si dichos análisis se encuentran entre los objetivos del proyecto. Se pueden coleccionar una o dos muestras de agua filtrada en botellas de 10 ml lavadas con ácido para realizar análisis de isótopos estables. Las muestras de agua utilizadas para analizar las concentraciones de nitrógeno y fosfato deben devolverse al laboratorio para su análisis dentro de las 48 horas posteriores a la colección de la muestra. Las muestras de calidad de agua se almacenan en hielo, pero no se congelan, siguiendo los protocolos estándar de almacenamiento de muestras y tiempo de análisis. Una nota: según nuestra experiencia, cuanto más caro es el dispositivo de muestreo, más probable es que no funcione correctamente en los entornos de campo

Tabla 6. Parámetros químicos, tipo de instrumento, límite de detección, preparación de muestras y tiempos recomendados de manipulación de muestras.

Parámetro Químico	Instrumento	Límite de Detección	Preparación de Muestras	Tiempo de Manipulación
18-Oxígeno (^{18}O)			No requiere filtrado ni preservación	28 d
2-Hidrógeno (^2H)			No requiere filtrado ni preservación	28 d
Nitrógeno-Amoníaco (NH_3)	Analizador Automático Technicon, o comparable	0.01-2mg/l $\text{NH}_3\text{-N}$	Filtrado, 4	2 d
Fósforo (PO_4^{-3})	Analizador Automático Technicon, o comparable	0.001-1.0 mgP/l	Filtrado, 4	2 d
Nitrato-nitrito (NO_3^-)	Analizador Automático Technicon, o comparable	0.05-10.0mg/L NO	Filtrado, 4	2 d
Cloruro (Cl^-)	Cromatografía de intercambio iónico	0.5mg/L y mayor	Filtrado, no requiere preservación	28 d
Sulfato (SO_4^{-2})	Cromatografía de intercambio iónico	0.5mg/L y mayor	Filtrado, no requiere preservación	28 d
Calcio (Ca^{+2})	Espectroscopía de absorción atómica	0.2-7 mg/L	Filtrado, HNO	28 d
Magnesio (Mg^{+2})	Espectroscopía de absorción atómica	0.02-0.5 mg/L	Filtrado, HNO	28 d
Sodio (Na^+)	Espectroscopía de absorción atómica	0.03-1mg/L	Filtrado, HNO	28 d

remoto. Por lo tanto, se recomienda la planificación de contingencia, con varios dispositivos de respaldo o estrategias para obtener información sobre la calidad del agua, particularmente para sitios remotos.

Parámetros de Campo: La medición de la calidad del agua en el campo de conductancia específica (uS/cm), pH, temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L) debe realizarse siguiendo los protocolos de la Agencia de Estudios Geológicos y de Protección Ambiental de los EE. UU. Por ejemplo, se puede utilizar un medidor de calidad de agua multiparámetro InSitu, Inc. Troll9000 o YSI con lector portátil resistente y soluciones de calibración rápida. Estos instrumentos son livianos y portables y, con sondas adicionales, se pueden usar para medir el potencial de reducción de oxidación, salinidad, profundidad, presión barométrica, nitrato, amonio, cloruro y turbidez si se necesitan estos datos de parámetros de campo. Alternativamente, se puede emplear un medidor de conductividad eléctrica (EC), pH y temperatura, o equivalente, para las mediciones de campo.

La calibración del instrumento debe seguir las recomendaciones del fabricante. Como mínimo, el instrumento debe calibrarse diariamente. Debe guardarse un libro de registro por separado con el instrumento con la información de calibración. Las páginas del libro de registro de calibración deben copiarse e incluirse con el formulario de datos de campo.

Las mediciones de la calidad del agua en campo de los sitios donde fluye agua deben ser de áreas de descarga con flujo uniforme y condiciones de fondo estables (Wilde 2005, 2008). Las mediciones de calidad del agua en el campo de aguas tranquilas o en sitios con pozas pueden tomarse utilizando perfiles verticales distribuidos espacialmente; sin embargo, tales aguas estancadas en los manantiales probablemente serán alteradas por las condiciones atmosféricas y es posible que no reflejen bien la calidad del agua subterránea.

Medición de Calidad del Agua de Laboratorio:

Antes del trabajo de campo, lave las botellas de polietileno de 100 ml y de 4 ml adicionales apropiadas en ácido HCl tres veces y enjuague con agua desionizada. Después de lavar, deje que las botellas se sequen al aire y luego tápelas. Etiquete cada botella con un color distintivo de cinta de etiquetado para distinguir los tratamientos, si es necesario. Registre el sitio, la fecha y el tratamiento en la etiqueta durante la colección de datos de campo.

Se deben usar guantes de látex y gafas de seguridad para el muestreo de calidad del agua. Filtre, llene y

enjuague el recipiente de la muestra con agua del manantial tres veces antes de coleccionar la muestra. No contamine el interior del recipiente de muestreo o la tapa.

Las muestras deben almacenarse en hielo en el campo, pero no congelarse, deben transferirse a un refrigerador y almacenarse a 4 °C, luego debe entregarse a un laboratorio analítico certificado para su procesamiento. PO_4^{-3} , NO^{-3} , y NH_3 deben procesarse dentro de las 48 horas posteriores a la colección, siguiendo los estándares de USGS y EPA, mientras que los análisis de cationes y aniones deben realizarse dentro de los 28 días. Los análisis se realizan utilizando técnicas automatizadas de imágenes en color u otro equipo analítico apropiado (Tabla 4). Se debe usar espectrofotometría de absorción atómica de llama para analizar Mg^{+2} , Ca^{+2} , y Na^{+} . La cromatografía iónica se utiliza para analizar PO_4^{-3} , NO^{-3} , y NH_3 (Tabla 5). Las muestras duplicadas apropiadas deben colectarse como controles (típicamente, una de cada 10 muestras se colectan dos veces).

Hoja de Campo Página 9

Protocolo de Evaluación de Ecosistemas de Manantiales (SEAP)

La Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU., El Cuerpo de Ingenieros del Ejército y las oficinas estatales de calidad del agua protegen la calidad de aguas subterráneas y superficiales, la salud del ecosistema de los humedales y el ecosistema relevante, los recursos e impactos socioculturales y otras funciones naturales y sociales de los ecosistemas acuáticos y de los humedales, según sea necesario (p. ej., Cowardin et al. 1979; Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU. 1987; Consejo Nacional de Investigación 1992, 1994; Comité Federal de Datos Geográficos 2013; NWI 2015).

El protocolo de evaluación de ecosistemas de manantiales de SSI (SEAP) se basa en un inventario de Nivel 2 para evaluar la integridad ecológica y el nivel de riesgo de un sitio. El SEAP es un proceso de evaluación y comparación de datos de inventario dentro de los sitios y entre ellos, así como también la evaluación de otra información externa para generar orientación de gestión para los administradores de manantiales sobre las condiciones de los recursos y los riesgos entre seis categorías de variables. Tal evaluación general de la integridad ecológica de los manantiales, los impactos humanos y el contexto de la gestión a menudo es necesaria para organizar y priorizar la planificación, la implementación y el monitoreo de la gestión de un

manantial específico, o en todo un paisaje. La evaluación ecológica es mejor cuando se basa en datos cuantitativos que se han aplicado sistemáticamente dentro del sitio o en todo el paisaje.

SSI revisó la literatura existente y entrevistó a los administradores de manantiales sobre los enfoques de evaluación de ecosistemas de manantiales, e integró esta información para desarrollar el SEAP integral, cuantitativo y de opinión de expertos. Proporciona a los administradores información sobre el estado ecológico o la condición de un ecosistema de manantiales, así como los riesgos y el potencial de restauración de una amplia gama de recursos asociados, en relación con el contexto administrativo de los manantiales. El riesgo se interpreta como la amenaza potencial o la “inercia de la condición” (el inverso del potencial de restauración) de esa variable. En otras palabras, ¿cuál es la probabilidad de que la variable permanezca sin cambios?

Adicional

Inventario sociocultural e histórico

Los manantiales desempeñan roles importantes en los paisajes culturales locales y regionales, en la historia y en la socioeconomía, roles que son poco conocidos fuera de las tribus. La documentación y el archivo de dicha información pueden ser útiles para garantizar una administración cuidadosa de los manantiales; sin embargo, la información sociocultural sobre manantiales es propiedad intelectual de los administradores, y debe recopilarse y compilarse como información confidencial protegida. Las categorías de información histórica y sociocultural pueden reunirse a través de la revisión de la literatura y mediante entrevistas con propietarios de manantiales o con los líderes y personas mayores de la administración de tribus. Dicha información puede incluir una amplia gama de conocimientos y datos ecológicos, etnoambientales, económicos, religiosos, históricos y ecológicos tradicionales. El formulario de campo Nivel 2 proporciona un contexto para documentar componentes, procesos y características importantes en manantiales individuales, a través de casillas de verificación y casillas de comentarios. Estos se registran en la base de datos, que también puede documentar e hipervincular a otras formas de información, incluidas fotografías, videografía y grabaciones de entrevistas. Por lo tanto, la base de datos de inventario de Nivel 2 está diseñada específicamente para proporcionar a los administradores de los manantiales tribales un medio seguro para archivar

información cultural e histórica crítica que, de otro modo, podría perderse con el tiempo.

DESPUÉS DEL TRABAJO DE CAMPO

Gestión de Datos de Especímenes

Resumen: Los especímenes físicos y biológicos requieren preparación, identificación, bases de datos, y curación, y deben archivar en colecciones de museos profesionales.

Invertebrados: Una vez separados los materiales de la matriz en el laboratorio, los especímenes se clasifican inicialmente en morfo-taxones y se identifican por Orden. Los macroinvertebrados de cuerpo duro se fijan o transfieren a sobres separados, y los macroinvertebrados acuáticos se deben transferir a viales individuales con $\geq 70\%$ de alcohol etílico distinguido por orden. Posteriormente, los macroinvertebrados se identifican en niveles taxonómicos más bajos, preferiblemente a nivel de género o especie por un taxónomo acreditado y utilizando claves taxonómicas de América del Norte (Thorp y Covich 1991, Triplehorn y Johnson 2005, Merritt et al. 2008). Si se colectaron muestras cuantitativas, se debe enumerar los macroinvertebrados y calcular la densidad (especies/m²).

Cada muestra debe ir acompañada de una etiqueta con el nombre del sitio, la fecha, el sustrato o la afiliación al hábitat, el nombre taxonómico del macroinvertebrado y el nombre inicial y apellido del colector. Las etiquetas de colección final para macroinvertebrados deben escribirse e imprimirse en fuente 3-5 pt. en alto contenido de algodón, papel blanco no más de 6 x 15 mm de tamaño (Triplehorn y Johnson 2005). Las etiquetas deben colocarse debajo de los macroinvertebrados para muestras fijadas, y dentro de viales para muestras conservadas en alcohol. Las muestras se deben almacenar adecuadamente en un ambiente oscuro y fresco, y se deben ingresar a la base de datos.

Datos de Vegetación: Varias características de la base de datos ayudan al ingreso de datos de vegetación, la verificación de errores, y los reportes. La taxonomía de especies de plantas, la natividad dentro de los biomas, y el estado de los humedales se archivan en la base de datos en una tabla de consulta que evita automáticamente los errores tipográficos taxonómicos durante la entrada de datos. El VE% C por microhábitat, estrato, natividad y estado de humedal se resumen por especie, por estrato y por grupo funcional en un informe automatizado dentro de la base de datos SIP, ahorrando una gran cantidad de tiempo analítico y

de informe. La base de datos de SSI Springs Online distingue a los “estratos taxonómicos” de la riqueza total de especies en los informes automatizados de vegetación.

Las estimaciones de cobertura de vegetación se utilizan para enmarcar el análisis SEAP de la extensión, calidad y función del hábitat (ver la sección SEAP, a continuación). Junto con el alcance de la cobertura de especies no nativas y la riqueza de especies, la base de datos informa automáticamente muchos componentes de la estructura y función del hábitat en función de las características de la vegetación del sitio. Cuando se haya analizado una gran cantidad de manantiales en busca de vegetación, será posible refinar nuestra comprensión de las complejas interacciones entre los suelos, el aspecto, la elevación, el clima y la afinidad biogeográfica en la vegetación de los manantiales y la estructura del hábitat.

Mantenimiento de Equipo

Las herramientas, piezas y materiales utilizados durante la realización de trabajos de campo para muchas docenas de manantiales durante muchas semanas, sin duda requerirán un mantenimiento más correctivo y preventivo. Los equipos electrónicos sensibles, como las unidades de GPS, las computadoras de campo, los teléfonos satelitales, las radios y los medidores de calidad del agua deben almacenarse adecuadamente de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Esto a menudo implica reemplazar los electrodos del probador de calidad del agua y almacenarlos en una solución de almacenamiento especial, actualizaciones de software para las unidades de GPS y computadoras, y mantenimiento general de las baterías de los radios.

Los vehículos también sufren daños y desgaste del transporte del equipo de inspección a través de paisajes a veces vastos durante los inventarios de manantiales. Durante las temporadas de primavera y verano en el sudoeste, el clima es altamente impredecible, con temperaturas que a menudo exceden los 100 °F, y los monzones atronadores pueden dejar los caminos y bosques erosionados y arrasados o inundados con agua y extremadamente lodosos y difíciles de navegar. Debido a las condiciones variadas y, a menudo, rigurosas de los vehículos de inspección, el mantenimiento preventivo y correctivo debe ser de la más alta prioridad. Esto implica cambios regulares de aceite y filtro, control del desgaste de la banda de rodadura de los neumáticos, limpieza a fondo del chasis y el compartimiento del motor, y limpieza general de la cabina y la plataforma

del vehículo. Todo el equipo de campo también debe lavarse y esterilizarse siguiendo los protocolos establecidos anteriormente en este documento.

Gestión de Información

Resumen: Los protocolos de inventario de Nivel I y Nivel 2 se desarrollan en el supuesto de que los administradores asumirán y mantendrán un programa de gestión de información a largo plazo. En el caso de grandes unidades de gestión del paisaje (parques nacionales, bosques, reservas tribales, etc.), dichos sistemas de gestión de la información deben estar relacionados con la base de datos geográfica del administrador y los sistemas de información geográfica. Es probable que dichos administradores tengan archivado de datos, fotografía del sitio, colección de muestras y estándares de informes y metadatos claramente definidos.

El sistema de gestión de información de SSI Springs Online y sus metadatos es seguro, de fácil acceso, fácil de informar y permite realizar análisis adicionales o nuevos. Ningún otro sistema de gestión de datos de este tipo existe actualmente para los ecosistemas de manantiales, pero el valor a largo plazo de dichos sistemas de gestión de información es la protección y el intercambio de datos con otros administradores de ecosistemas de manantiales dentro de los acuíferos. Presentamos una base de datos integral, relacional de manantiales y un sistema de gestión de información, junto con los informes auto-formateados solicitados comúnmente.

Todos los datos, fotografías, croquis y otra información sobre la biología de cada variable y el ecosistema de manantiales global supervisado deben ingresarse en una base de datos relacional tan pronto como sea posible mientras los miembros del grupo del inventario aún recuerden los sitios. La base de datos de Springs Online en <http://springsdata.org/> proporciona un sistema de gestión de información de manantiales gratuito, en línea, seguro, fácil de usar y completo.

Administración de Fotos y Croquis: El procesamiento de imágenes recibe la máxima prioridad después de regresar del trabajo de campo para hacer que el ingreso de datos sea más eficiente y para asegurar que no se extravíen. Los equipos deben organizar todas las fotografías en carpetas etiquetadas para cada sitio. Las imágenes deben tener menos de 1 megabyte para cargarse en la base de datos de Springs Online. Utilizando Adobe Photoshop o un software de edición de fotografía similar, las macros pueden redimensionar

las imágenes en lotes. Aunque es útil cambiar el nombre de los archivos de imagen para identificar sujetos específicos e incluir el nombre, mantenga los números de las fotos originales en los nombres de los archivos tal como están documentados en la página 1 de las hojas de campo.

Los Croquis deben primero verificarse en cuanto a calidad para detectar discrepancias (p. ej., corregir los totales de área de polígonos, barras de escala, flechas del norte, nombres de agrimensores, etc.) y luego escanearse y guardarse en sus respectivas carpetas. Los Croquis también deben tener un tamaño inferior a un megabyte para ser archivados en la base de datos de Springs Online, y es mejor guardarlos en formato jpeg.

Garantía de Calidad/Control de Calidad (QA/QC): Los análisis de control de calidad de los datos ingresados en dicho sistema deben realizarse utilizando métodos estándar (Ledbetter et al. 2014, descritos en: <http://springstewardshipinstitute.org/>). Una base de datos bien diseñada solo debería archivar datos de monitoreo, pero también producir informes automatizados sobre la condición y las tendencias a lo largo del tiempo de las variables focales. Dicha capacidad de base de datos simplifica enormemente los informes regulares y conserva el tiempo del personal.

El control de calidad de los datos para la precisión y el ingreso de los datos es responsabilidad del supervisor del grupo. Los datos de campo se ingresan en la base de datos de Springs Online inmediatamente después de regresar del campo, y los datos de campo deben conservarse en formato escaneado electrónicamente o en papel. La base de datos de inventario de SSI Springs Online (www.Springsdata.org) está diseñada para marcar valores sobresalientes para muchas variables y maximizar la veracidad de los datos. Toda la entrada de datos debe ser supervisada y verificada por el supervisor del proyecto o el administrador de información. Los errores de entrada de datos y la verificación de datos deben documentarse y corregirse.

QA/QC se documentan de tres formas en la base de datos de Springs Online. Los formularios de campo contienen campos para documentar la finalización del ingreso de datos. La pestaña “Historial” del formulario del sitio documenta quién ha realizado cambios en ese sitio. La pestaña “QA/QC” de los inventarios documenta el historial de cambios en los datos, así como el nombre, la fecha y los comentarios relacionados con QA/QC. La base de datos de Springs Online realiza un seguimiento automático de los cambios en los datos

con un sello de fecha y un nombre de inicio de sesión. La verificación estándar de QA/QC de la precisión de los datos se debe realizar e informar para al menos el 5% de los datos ingresados.

Todos los documentos impresos deben archivar de forma segura (es preferible escanear) y deben permanecer disponibles para futuras consultas. Si se hacen copias de documentos originales, las copias deben ser claramente legibles. QA/QC en colecciones de especímenes están garantizados.

Otras recomendaciones

Las responsabilidades del equipo de inventario continúan después de regresar del campo, incluido el mantenimiento del equipo, la reposición de suministros, la organización y preparación de las muestras y la entrada de datos. El seguimiento con voluntarios y partes interesadas es otra responsabilidad del equipo, y puede incluir actualizaciones de comunicación, informes de estado, revelación de descubrimientos y notas de agradecimiento. La atención a estas tareas ayudará a mantener el proyecto a tiempo. Las agencias estatales y federales a veces requerirán informes de viaje. La publicación de los resultados debe ser el objetivo final de cualquier esfuerzo científico, y el personal y la administración deben tomar las medidas adecuadas para alcanzar ese objetivo.

INVENTARIO DE NIVEL 3

Resumen: El trabajo de manantiales de Nivel 3 se lleva a cabo en sitios que son: el enfoque del monitoreo; protección sociocultural o económica; investigación; o sitios en los que se lleva a cabo la rehabilitación ecológica (p. ej., Biebighauser 2015). Varias tareas se realizan comúnmente en los sitios de Nivel 3: 1) coordinación administrativa para garantizar el financiamiento a largo plazo y el apoyo logístico; 2) gestión y archivo de la información existente y de fondo; 3) la producción de un mapa detallado del estudio de la tierra de los manantiales, sobre el cual se organizan acciones de administración priorizadas; 4) se lleva a cabo el monitoreo de geoquímica y flujo a largo plazo; y 5) el desarrollo de un modelo de agua subterránea se realiza para predecir la variación en la descarga, la geoquímica, los impactos de bombeo y los efectos del cambio climático. El monitoreo general se puede lograr usando técnicas de inventario de Nivel 2, y se pueden justificar métodos de monitoreo adicionales dependiendo de las necesidades de datos a largo plazo. Debido a que los estudios a largo plazo son raros y altamente específicos

del contexto, no intentamos prescribir protocolos para los esfuerzos del Nivel 3 aquí. Más bien, dirigimos al lector a las sinopsis de la investigación realizada en Silver Springs (p. ej., Kemp y Boynton 2004), Montezuma Well (Blinn 2008) y Yellowstone Hot Springs, donde se han realizado estudios detallados de Nivel 3. Los elementos del monitoreo de nivel 3 se describen a continuación.

Monitoreo

El monitoreo es la adquisición científica y el análisis de datos para informar a los administradores sobre los cambios del sistema o las respuestas a los tratamientos a lo largo del tiempo, y se realiza mejor en relación con metas claramente definidas, objetivos y preguntas científicas. Un plan de monitoreo es una buena manera de enmarcar los conceptos, las razones y los protocolos para un programa de manantiales de Nivel 3. El monitoreo es una de varias actividades potenciales de administración de manantiales del Nivel 3 que también pueden incluir investigación, planificación e implementación de rehabilitación o desarrollo. El monitoreo debe considerarse como un proceso que se llevará a cabo a perpetuidad, por lo que los administradores de tierras deben definir y acordar claramente el compromiso, el costo, la organización, la conducta y la gestión de la información del programa antes de su inicio.

El propósito de un programa de monitoreo es evaluar y mejorar la administración de recursos. Dependiendo del alcance del plan de manejo, los datos de monitoreo contribuirán a la administración de recursos individuales, manantiales individuales o manantiales múltiples a través de un paisaje. La revisión regular y consistente de los resultados del monitoreo ayudará al equipo de administración a comprender los desafíos y el éxito del proyecto. Esta información ayudará a aclarar el desarrollo de cambios en la dinámica de recursos y los próximos pasos necesarios para mejorar la administración.

Antes de comenzar el monitoreo del ecosistema de manantiales, también es importante desarrollar y refinar el marco estadístico para responder las preguntas de gestión. Esto ayudará con el desarrollo del plan de monitoreo al identificar las variables a medir y la frecuencia de muestreo. Si se propone un programa de monitoreo amplio, recomendamos consultar con un estadístico capacitado para asegurar la eficiencia de costos del proyecto y la credibilidad científica de los resultados.

Qué Monitorear

El monitoreo debe centrarse en un conjunto de variables y/o sitios que son importantes para los administradores, teniendo en cuenta la importancia de comprender la variación entre los tipos de manantiales (sensu Springer y Stevens 2008), los valores culturales y económicos y la integridad ecológica. Los manantiales que se están rehabilitando, en particular, requieren una línea de base antes del tratamiento y un seguimiento posterior al tratamiento (Davis et al. 2011).

Los métodos de muestreo del Nivel 2 del Springs Stewardship Institute y el proceso SEAP son apropiados para monitorear el área del hábitat, el flujo, la calidad del agua, la geomorfología del sitio, la cobertura y composición de la vegetación, la presencia de invertebrados y vertebrados, los impactos antropogénicos y el contexto administrativo. Estos métodos son generalmente útiles para la cuantificación de la integridad y función física y biológica de los manantiales, y el alcance de los impactos humanos. Sin embargo, variables como la dinámica de poblaciones raras pueden ser de interés específico en proyectos de Nivel 3.

Cuando Monitorear

Ninguna estación del año individual es mejor para la caracterización de todas las variables de interés de manantiales, y es probable que la variación en las características de manantiales entre temporadas y entre años sea sustancial y necesaria para comprender la función del ecosistema de manantiales (Stevens et al. 2011). Las visitas al sitio en el apogeo de la temporada de crecimiento (junio a septiembre) son necesarias para caracterizar la composición y la estructura de la vegetación y la presencia de la fauna, y para minimizar la variación en la intensidad del uso estacional antropogénico. Sin embargo, es probable que a mediados del verano sea el período con la descarga más baja debido a la disminución estacional de los niveles freáticos y la evapotranspiración máxima, lo que genera compensaciones entre el monitoreo del flujo y las variables biológicas.

Elementos del Plan de Monitoreo

Monitoreo físico del sitio: El inventario inicial de Nivel 2 puede proporcionar información de referencia sobre geografía, hidrogeología, presupuesto de radiación solar y características biológicas, así como impactos humanos y contexto y usos administrativos. Sin embargo, la expansión de detalles sobre estas u otras variables puede desearse para el monitoreo a largo plazo.

Mapa del sitio: Es necesario desarrollar un mapa del ecosistema de manantiales de resolución estrecha tanto para la rehabilitación como para el seguimiento posterior al tratamiento. Un mapa de alta calidad del sitio de estudio permite documentar los cambios en la geomorfología y la cobertura vegetal, así como el lugar donde se realizan las mediciones de muestreo. Dicho mapa puede desarrollarse a partir de fotografías aéreas a 0.3 m o una escala más fina para determinar el cambio geomórfico, el éxito de la plantación y otras actividades similares.

Los microhábitats se reubican durante cada visita al sitio, y el área de cada uno se mide y se vuelve a dibujar en el mapa del sitio. El porcentaje de contribución de área de cada tipo de hábitat geomórfico puede cambiar entre visitas, y dichos cambios proporcionan una indicación útil de la tendencia en la diversidad de hábitats geomórficos de Shannon-Weiner. Los cambios en estas variables pueden identificar tendencias en las características físicas y biológicas a través del tiempo en el ecosistema de los manantiales.

Medición de flujo: Las mediciones hidrológicas sistemáticas son necesarias para clasificar, comprender y monitorear los ecosistemas de manantiales, pero la medición de flujo puede ser difícil o imprecisa. El flujo y la geoquímica añaden información para comprender la mecánica de los acuíferos y la duración de la trayectoria del flujo subterráneo. El modelado de la variabilidad del flujo requiere datos a largo plazo: es importante recopilar datos del flujo durante cada visita al sitio.

Dichos datos deben evaluarse para determinar su calidad antes de integrarlos con otra información física y biocultural para evaluar la condición y los riesgos de la alteración hidrológica en el ecosistema de los manantiales (p. ej., Wilde 2008).

La medición de flujo requiere planificación, tanto para la logística de muestreo como para el equipo a utilizar. En el sitio, el flujo debe medirse en el punto de máxima expresión, que no es probable que sea la fuente, sino una cierta distancia corriente abajo. El punto de medición de flujo debe registrarse en el mapa del sitio.

Comprender la variabilidad del flujo es importante y se puede esperar que el flujo varíe según la temporada en la mayoría de los acuíferos poco profundos o en los acuíferos de tiempo de residencia bajo. Las mediciones de flujo más conservadoras se realizan cuando, o en entornos donde las pérdidas de transpiración y las contribuciones de precipitación son mínimas (p. ej., en invierno, en entornos de emergencia de roca madre).

Sin embargo, es igualmente importante comprender los impactos de la vegetación ribereña en la captación de agua, por lo que las mediciones a mediados del verano también son relevantes. Como se indicó anteriormente, las compensaciones entre la estacionalidad y la vegetación significan que no hay un solo momento del año que sea el mejor para medir el flujo. Las mediciones de flujo replicadas proporcionarán un valor promedio confiable y aclararán la incertidumbre dentro de las mediciones; recomendamos medir el flujo al menos tres veces.

Si la descarga del manantial es baja (cero, no medible o de primera magnitud), la medición de la descarga puede tomar algún tiempo y debe iniciarse temprano en la visita al sitio. Las descargas de segunda a quinta magnitud son más rápidas y fáciles de medir. La medición de descargas de sexta o mayor magnitud (canales no intercambiables) puede requerir la mayor parte del día. Las observaciones importantes pueden incluir los marcadores de cualquier alta descarga reciente, como marcas altas de agua, vegetación orientada o escombros en o sobre el canal o la llanura de inundación. Una nueva forma de documentar eventos de alto flujo es el uso de la fotografía oblicua automatizada.

Monitoreo de Calidad de Agua: Los métodos de geoquímica del agua en el campo y en el laboratorio están descritos por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (revisado en Wilde 2008) y recomendados por la Agencia de Protección Ambiental. En general, la temperatura del aire y el agua en el campo, el pH, la conductancia específica, la alcalinidad total y la concentración de oxígeno disuelto se miden utilizando una instrumentación de campo calibrada diariamente. Las muestras y mediciones de la calidad del agua se realizan lo más cerca posible de la fuente de los manantiales para capturar las características de las aguas subterráneas emergentes.

Los dispositivos individuales (p. ej., los multímetros) a menudo están diseñados para medir múltiples parámetros, pero cada sonda debe calibrarse al menos diariamente según los estándares del laboratorio. El hidrólogo del equipo debe registrar esta información de calibración en un libro de registro con confirmación en la hoja de datos de campo. Según nuestra experiencia, cuanto más costoso es el dispositivo de muestreo, más probable es que no funcione correctamente en el entorno de campo remoto. Por lo tanto, recomendamos varios dispositivos o estrategias de respaldo para obtener información sobre la calidad del agua.

Las muestras filtradas de 100 ml de calidad del agua se pueden recoger en botellas enjuagadas triplemente con ácido para análisis de laboratorio de los principales cationes, aniones y nutrientes, si se desea. También se pueden coleccionar una a dos muestras de agua filtrada en botellas de 10 ml lavadas con ácido para análisis de isótopos estables. Las muestras de agua utilizadas para analizar las concentraciones de nitrógeno y fosfato deben enviarse rápidamente al laboratorio para su análisis. Las muestras de calidad del agua se almacenan en hielo, pero no se congelan, siguiendo los protocolos estándar de almacenamiento de muestras y tiempo de análisis.

Monitoreo de la geomorfología: Los cambios geomorfológicos en un sitio pueden evaluarse cualitativamente utilizando una fotografía comparativa aérea o indirecta, o mediante una descripción verbal. Sin embargo, se prefiere la documentación cuantitativa del cambio. Re-mapear el sitio a intervalos apropiados y documentar cambios en el área de microhábitat y la calidad son técnicas efectivas. Las comparaciones automáticas de fotografías también pueden proporcionar evidencia cuantitativa de cambios a través del tiempo.

Monitoreo Biológico

Vegetación: Los métodos de inventario de Nivel 2 son apropiados para documentar el cambio de vegetación a través del tiempo. Se pueden calcular varias métricas a partir de los datos del Nivel 2 y se pueden utilizar para la evaluación de tendencias. La base de datos de SSI autocalcula la densidad de las especies de plantas al dividir el número de especies de plantas por el área de los microhábitats geomórficos y la de todo el sitio. Además, la base de datos calcula el porcentaje de cobertura y la densidad de especies de las especies de plantas de humedales nativas y las especies de plantas no nativas de acuerdo con la base de datos de USDA-PLANTS (2013).

Macroinvertebrados: Los invertebrados se deben coleccionar en cada sitio mediante el muestreo puntual durante un período de al menos 15 minutos durante la visita de monitoreo. Las técnicas de recolección puntual incluyen colección general, redes de inmersión y redes aéreas en los diversos microhábitats del sitio. Las visitas al sitio nocturno a menudo son útiles para detectar especies que de otra manera no se podrían observar. La captura de luz ultravioleta nocturna también se puede usar para coleccionar adultos de algunos grupos (p. ej., frigáneas) que de otra manera no podrían detectarse. Durante los primeros años de monitoreo se

debe considerar el muestreo estacional nocturno, por observación, de luz ultravioleta, Malaise, y Pitfall para establecer el rango de variación natural y, si se justifica, a intervalos de 3 a 5 años a partir de entonces para evaluar las tendencias en la composición de las especies de macroinvertebrados y densidad.

El muestreo cuantitativo de macroinvertebrados benthicos se utiliza mejor para monitorear si los flujos son suficientes para proporcionar hábitats de estanque profundo, o los canales tienen un flujo de más de 2 cm de profundidad. Los invertebrados bentónicos se pueden muestrear cuantitativamente utilizando métodos estandarizados basados en tiempo y área. Se puede utilizar un muestreador Surber o mini-Surber, una red de pesca (ya sea de 1.0 m o 0.25 m de ancho), un muestreador de Hess o mini-Hess, o un acuario o D-net para muestrear invertebrados bentónicos colocando el dispositivo en una posición seleccionada al azar en la corriente, perturba vigorosamente un área conocida (generalmente 0.09 m²) durante un minuto, y permite que el agua con invertebrados fluya hacia la red. El mallado neto debe ser lo suficientemente fino para capturar macroinvertebrados (0.2 a 0.5 mm de diámetro). El porcentaje de cobertura de sustratos, profundidad y velocidad debe anotarse en cada sitio, así como las variaciones de calidad del agua en el campo del sitio (temperatura, pH, conductancia específica y concentración de oxígeno disuelto). Se deben coleccionar tres o más réplicas de muestras bentónicas en 70% de EtOH, cada una en una botella de muestra separada de 0.5 L, y devolver al laboratorio para su enumeración y análisis taxonómico. Si la financiación es insuficiente para dichos costos de enumeración e identificación de laboratorio, se puede lograr una enumeración e identificación rápidas en el campo. Los especímenes de especies no reconocidas deben recolectarse para el análisis taxonómico.

Se han desarrollado muchos índices útiles para evaluar las relaciones entre la calidad del agua y los macroinvertebrados (Merritt et al. 2008). Entre los más utilizados se encuentra el índice de EPT, que se calcula al sumar el número de efémeras (Ephemeroptera), plecoterios (Plecoptera) y frigáneas (Trichoptera) en muestras bentónicas estandarizadas (Barbour et al. 1999, Merritt et al. 2008). La mayoría de las especies en esas órdenes requieren agua de alta calidad, y por lo tanto son buenos indicadores de deterioro. Sin embargo, las aguas ricas en iones a menudo son naturales en Arizona y tales aguas no admiten altos niveles de EPT. En tales casos, otros invertebrados (particularmente

raros o endémicos) pueden ser mejores indicadores del deterioro de la calidad del agua.

Vertebrados: El grupo del inventario debe registrar la presencia, los signos o los sonidos de las especies de vertebrados detectados durante el monitoreo. El monitoreo a largo plazo eventualmente contribuirá a una lista de uso de vertebrados del sitio. Sin embargo, si se necesita información más detallada, se pueden emplear cámaras activadas por movimiento, trampeo y un calendario de visitas al sitio más intensivo.

Elementos Especiales de Monitoreo

Una vez que se ha realizado un inventario completo de los tipos, especies y condiciones de los manantiales en un paisaje, se pueden tomar decisiones sobre un monitoreo más detallado de características especiales (p. ej., formas de relieve particulares, variables hidrológicas, especies o procesos ecológicos). La dinámica de la población de varios taxones se puede monitorear más de cerca y se estudia mejor en relación con las preguntas específicas de la administración de la población o el hábitat. Para la vegetación acuática y la calidad del agua, el análisis de travertino en rodajas finas puede proporcionar información sobre la composición de diatomeas en relación con la calidad del agua a lo largo del tiempo. Para los humedales y la vegetación terrestre, los transectos a largo plazo pueden proporcionar información más detallada que se puede comparar con mayor precisión a lo largo del tiempo, y se pueden planificar y emprender estudios de la cantidad, condición y crecimiento de especies de plantas sensibles individuales. Para los árboles, los análisis dendrocronológicos pueden proporcionar datos de tendencias retrospectivas sobre el crecimiento y quizás el flujo y la calidad del agua.

El tamaño y/o la condición de las poblaciones de invertebrados sensibles a menudo se monitorean utilizando los métodos de muestreo bentónicos estandarizados (arriba), o la cuantificación de números de individuos/unidad de área/duración de muestreo durante el ciclo de vida de la especie objetivo (Merritt et al. 2008). Por ejemplo, Martinez y Thome (2006) utilizaron el monitoreo cuantitativo para determinar la dinámica de la población y la historia de la vida de la endémica del caracol de manantial Page (*Pyrgulopsis morrisoni*) en el centro de Arizona.

El monitoreo de los vertebrados en los manantiales se debe realizar de manera sistemática, y se pueden determinar las tendencias en el tiempo. El monitoreo de peces generalmente involucra métodos de captura

por unidad de esfuerzo por unidad (CPUE) indirectos o la estimación directa de la densidad mediante el cerco, pesca eléctrica de mochila, snorkeleo o buceo. Las inspecciones y el monitoreo de anfibios y otros herpetofaunales se realizan de manera más eficiente utilizando levantamientos visuales “letales” no letales, en los cuales los topógrafos exploran suavemente hábitats adecuados, voltean y reemplazan troncos, rocas o hábitats instalados artificialmente (p. ej., tableros de madera contrachapada). Además, pueden usar trampas temporales Pitfall para localizar o capturar herpetofauna (O'Donnell et al. 2007). Los métodos de conteo de puntos son estándar para el monitoreo de aves (US Fish and Wildlife Service 1999: http://www.fws.gov/mountain-prairie/migbirds/avian_monitoring.pdf). La evaluación de la población de muestreo de trampas vivas y los métodos de monitoreo de vectores de enfermedades se han desarrollado para mamíferos pequeños (p. ej., <https://clu-in.org/download/ert/2029-R00.pdf>). Los métodos de muestreo genético también se usan a veces para evaluar la viabilidad poblacional de los vertebrados, utilizando muestras de sangre o tejido de animales que se colectan, o de pelo o heces colectadas al azar o a lo largo de transectos (https://en.wikipedia.org/wiki/Genetic_monitoring#Estimating_abundance_and_life_history_parameters .E2.80.93 Category Ia).

Esterilización de equipo

Al salir del sitio de monitoreo, los agrimensores deben esterilizar los zapatos, las redes y otros artículos para prevenir la propagación de hongos quítridos, otros microorganismos de la enfermedad y especies no nativas. Los métodos de esterilización apropiados para ropa, equipo y vehículos se encuentran en: <http://johnsonlab.byu.edu/Portals/80/docs/Field%20Gear%20Disinfection.pdf>. Ese sitio web informó que “los productos más efectivos para [esterilizar el equipo de campo y la ropa para prevenir la dispersión de hongos quítridos] fueron Path-XTM y el Compuesto de amonio cuaternario 128, que se pueden usar en diluciones que contienen niveles bajos del compuesto activo didecil dimetil amonio cloruro. El cloro, que contenía el ingrediente activo hipoclorito de sodio, fue eficaz en concentraciones de hipoclorito de sodio al 1% y superiores. Cloruro de didecil dimetil amonio a una concentración superior al 0,0012% durante 2 minutos, o hipoclorito de sodio a una concentración superior al 1% durante 1 minuto son procedimientos de tratamiento efectivos”. Sin embargo, las altas concentracio-

nes de fluidos de esterilización también representan una amenaza para la biota de los manantiales, por lo que también recomendamos el enjuague posterior a la esterilización con agua limpia.

REPORTANDO

Descripción Individual del Sitio

La base de datos de SSI Online genera reportes específicos del sitio automáticamente una vez que se han cargado los datos del inventario y se completan los campos de datos relevantes. Estos informes de resumen del inventario incluyen: la ubicación con todos los datos geográficos y de georreferenciación, así como los nombres del equipo del inventario, la fecha y la hora de inicio y finalización del inventario; la descripción física que detalla el tipo de manantial, su fuente, microhábitats de manantiales, diversidad geomórfica, radiación solar disponible, entorno emergente y mecanismo de fuerza de flujo; notas del inventario que incluyan la condición del sitio; los datos de flora que incluyen los tipos de cobertura vegetal y el porcentaje de cobertura junto con los nombres de los botánicos, la natividad de las especies, y las colecciones; datos de fauna incluyendo la riqueza de especies de invertebrados y vertebrados; categorías de información de evaluación del SEAP y definición del riesgo y la condición de la biología específica del sitio, la geomorfología, la funcionalidad del acuífero y la calidad del agua, el hábitat y las influencias humanas; y fotos representativas y adicionales de fuentes de manantiales, mediciones de flujo y esquemas. Haciendo click sobre el botón de reportes, simplifica enormemente la generación y exportación de informes en formato de Microsoft Word, y permiten a los administradores de proyectos la flexibilidad en la edición.

Análisis de Paisaje

Este análisis recopila todos los datos de manantiales individuales de un proyecto en un solo documento detallando todos los inventarios realizados e incluye múltiples mapas de distribución de manantiales a través del área del proyecto. Los resultados de este análisis explican el número total de manantiales inventariados, mejorando la georreferenciación de la ubicación de manantiales, el área media y promedio de manantiales inventariados, y el número total de manantiales reportados. A partir de las áreas medias de manantiales totales e inventariadas, podemos indicar

la cantidad de hábitat de manantiales dentro de un paisaje.

La calidad del agua se resume y explica las tendencias generales observadas durante los inventarios. Esto también se incluye en un apéndice para referencia del administrador de la tierra. Los inventarios de vegetación se compilan en tablas que resumen la riqueza de especies de plantas por natividad y grupo funcional. Los datos de vegetación también se utilizan para extrapolar las densidades de especies de plantas por hectárea del área dada de hábitat inventariada. Esto también ayuda a documentar el porcentaje aproximado de vegetación que se produce en los manantiales de paisajes; esto a menudo constituye un porcentaje muy pequeño del hábitat total dentro de un paisaje y demuestra el papel desproporcionado que los manantiales tienen en el contexto de la distribución de vegetación. Los inventarios totales de vida silvestre también se resumen y están disponibles para los administradores como reportes de sitios individuales.

Los métodos y resultados de SEAP (descritos por separado en springstewardshipinstitute.org) concluyen este análisis con los puntajes de riesgo y condición para cada manantial trazado en una gráfica que representa los manantiales que merecen la atención más inmediata de administración. Los administradores pueden usar este análisis para aplicar recursos limitados a aquellos manantiales que tienen el mayor potencial de mejora. También se proporcionan puntajes SEAP individuales para las 6 categorías y 42 subcategorías variables para un análisis detallado de los problemas de administración.

Detección de Tendencias

La detección de tendencias es una parte valiosa y a menudo crucial del monitoreo, y dicha información se puede exportar fácilmente para cualquier sitio o proyecto desde Springs Online. Muchas de las variables utilizadas en la detección de tendencias en los ecosistemas de manantiales están influenciadas por la estacionalidad. Por lo tanto, se debe tener precaución al intentar extraer conclusiones basadas en la comparación entre un pequeño número de visitas repetidas al sitio. Algunas variables pueden no ser medidas de monitoreo apropiadas en algunos manantiales o tipos de manantiales.

Reporte de Sitio y Proyecto

Algunos gushet y jardines colgantes, y la mayoría de los reocrenos están sujetos a inundaciones, y las

variables como la cobertura de vegetación pueden ser altamente dinámicas. El Grand Canyon Wildlands Council (2004) reportó que la cobertura de vegetación de los humedales varió de 20 a 80% durante tres años en un manantial gushet. Dicha variabilidad indica que la cobertura vegetal no es una medida de monitoreo útil en estos manantiales altamente dinámicos.

Un usuario puede descargar un reporte de resumen para un ecosistema de manantiales, un reporte de resumen para un inventario específico de ese sitio de manantiales, o un reporte para todos los manantiales de un proyecto. Estos reportes pueden incluir la información general del sitio de manantial, así como los resúmenes de cada inventario registrado. Los archivos deben estar en formato .doc. Los usuarios también pueden exportar una hoja de cálculo o una tabla cruzada de todas las especies de flora observadas durante un inventario del sitio. Esta tabla cruzada incluye nombres de especies, códigos de cobertura vegetativos, porcentaje de cobertura por polígono, y estado de natividad y humedal. Se puede crear una página de resumen de cobertura de vegetación que incluya el porcentaje total de cobertura por polígono y por tipo de cobertura, conteo de especies por polígono, densidad de especies/ m^2 , natividad, y especies de humedales por estrato, junto con los valores totales. Las tendencias geoquímicas y de flujo se pueden exportar y reportar de forma similar.