

# Riqueza del recurso hídrico y su relación con la cubierta vegetal en la Reserva Forestal Grecia, Alajuela, Costa Rica

Edwin Alberto Barrantes Barrantes<sup>1</sup> & Víctor Hugo Méndez Estrada<sup>2</sup>

1. Maestría Académica en Manejo de Recursos Naturales, Universidad Estatal a Distancia (UNED), Costa Rica; edwbarrantes@gmail.com
2. Laboratorio de Ecología Urbana, UNED; vmendez@uned.ac.cr

Recibido 02-XI-2015 • Corregido 20-XII-2015 • Aceptado 08-II-2016

**ABSTRACT: Wealth of water resources and its relation to vegetation cover in the Forest Reserve Greece, Alajuela, Costa Rica.** Ecosystems provide various environmental services such as key recharge and flow of the water resource, but they can be damaged by human activity. Understanding vegetation cover allows administrators to predict the effects of such changes on groundwater and the actions needed in administration. Grecia Forest Reserve is a 2000-hectare zone in Costa Rica that affects eleven settlements in the region. There we measured vegetation cover and water volume in all water springs (N=70). We identified four vegetation groups: secondary forest, scrubland, pasture and pine forest; and an overall mean flow of 1,12 l/s/ha. Most water springs were found in secondary forest, which had the highest vegetation cover; however, scrublands had higher flows.

**Key words:** Nascent, recharge zone, aquifers, gauging, volumetric system, land use.

**RESUMEN:** Los ecosistemas proporcionan diversos servicios ambientales, entre ellos la recarga de y flujo del recurso hídrico, pero son frágiles y pueden ser dañados por las actividades humanas. Conocer la abundancia y diversidad de la cobertura vegetal permite predecir los efectos y cambios que se generan en aguas subterráneas y las acciones necesarias para su adecuado manejo y administración. La Reserva Forestal Grecia es una zona de 2000 hectáreas en Costa Rica que abastece de agua a once asentamientos en la región. Medimos la cobertura vegetal y el volumen de agua en todas las fuentes de agua (n = 70). Identificamos cuatro grupos de vegetación: bosque secundario, matorrales, pastos y bosques de pino; y un caudal medio total de 1,12 l / s / ha. La mayoría de las fuentes de agua se encuentran en el bosque secundario, que tiene cobertura vegetal más alta; sin embargo, el área de matorral presenta flujos más altos.

**Palabras clave:** Naciente, zona de recarga, mantos acuíferos, aforar, sistema volumétrico, uso de suelo.

Los ecosistemas brindan diversos servicios ambientales, entre ellos el mantenimiento, recarga y flujo del recurso hídrico (Andrade & Navarrete, 2004), cuando su dinámica natural se ve alterada por las actividades que realiza el ser humano sobre la tierra, se influencia de manera diferente en la calidad y cantidad de afloramientos (nacientes) de mantos acuíferos de un lugar determinado y en la dinámica del ciclo hidrológico (Gonzaga, 1993; Huber & López, 1993; Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 1997; Manson, 2004; Ureña, 2004; Caballero & Jaramillo, 2007; Echeverría et al., 2007; FAO, 2008; Blanco, 2011; Castro et al., 2011). El conocer acerca de la abundancia y diversidad de la cobertura vegetal, brinda información que permite predecir los efectos que se generan sobre los mantos acuíferos y las acciones que se deben realizar en una futura gestión del recurso hídrico para una zona determinada (Gonzaga, 1993; Caballero & Jaramillo, 2007).

Las cubiertas boscosas durante el desarrollo y crecimiento captan alrededor del 50% de las precipitaciones pluviales; por lo tanto, son importantes para mantener y regular los patrones hidrológicos (Villegas, 2004). El suelo boscoso cuenta con alta densidad de hojarasca, raíces profundas, alto porcentaje de porosidad y materia orgánica, lo que permite que la lluvia se filtre lentamente hacia el subsuelo, facilitando la recarga de los mantos acuíferos. Si se interviene el bosque o se reemplaza por otro tipo de cobertura vegetal, se producen cambios en la distribución normal de las precipitaciones y se alteran las reservas de agua del suelo y de los mantos acuíferos (Manson, 2004; Echeverría et al., 2007).

Existen evidencias de cómo se relaciona la cobertura vegetal del suelo con la cantidad de agua que se filtra a través de ellos (Manson, 2004). Los estudios coinciden en que los suelos con cubiertas no boscosas presentan una mayor variación en la humedad que retienen y en la



cantidad de agua de las nacientes, aforo (Echeverría et al., 2007; Miller, 1977). Por ejemplo, en el sur de Chile se registró una disminución de las reservas de agua en los primeros 280cm de profundidad en los suelos con vegetación de *Pinus radiata*, pero cuando se eliminaron los árboles las reservas de agua fueron similares al de las praderas y zonas deforestadas, donde la disminución se dio a los 120cm (Huber & López, 1993).

Nuestro objetivo se centró en la fase terrestre del ciclo hidrológico que se relaciona con el uso del suelo, pues allí se desarrollan efectos medioambientales inducidos por los cambios que se dan entre el suelo y la cubierta vegetal, los cuales inciden sobre el balance hídrico y el aforo. De allí el interés de comparar si la cantidad nacientes (afloramiento superficial de mantos acuíferos subterráneos) y su volumen de aforo (l/s) tienen relación con la cobertura vegetal del suelo existente en la Reserva Forestal Grecia, Costa Rica. Para dar respuesta a este objetivo se parte de tres hipótesis:

1. La mayoría de las nacientes de agua están en las zonas donde el uso de suelo es bosque secundario.
2. Las nacientes de agua con un mayor aforo se ubican en zonas boscosas.
3. El tipo de cobertura con mayor extensión posee mayor cantidad de nacientes captadas para uso de los seres humanos.

## MÉTODOS

La Reserva Forestal Grecia, se ubica en las faldas del Volcán Poás, 14km al Norte de la ciudad de Grecia, Alajuela, Costa Rica, cuenta con una extensión de 2000 hectáreas, con altitudes que varían entre los 1600 y los 2500 msnm (Sietma Nacional d Áreas de Conservación [SINAC], 2008; Maglianesi, 2010a,b). Se estableció el 5 de Diciembre de 1973 para proteger zonas de recarga de los mantos acuíferos de la zona (Salazar, 1988).

Las coberturas vegetales en la reserva consideradas en este estudio son: El bosque secundario es el resultado de zonas que fueron alteradas, pero actualmente se encuentran en regeneración natural (Maglianesi, 2010b). Los matorrales son zonas de transición entre el bosque secundario y los potreros; son lugares semi-abiertos que presentan pocas especies arbustivas y plantas más ramificadas que un árbol (Gómez, 1986). Los potreros son lugares abiertos donde existe poca presencia de especies arbustivas y el suelo se encuentra cubierto en su mayoría

por gramíneas y herbáceas. El bosque de ciprés y pinos son plantaciones de especies exóticas, que se establecieron con el fin de regenerar zonas alteradas y para aprovechar la madera (Barrantes, 2008; Maglianesi, 2010b).

Se realizaron recorridos de enero hasta julio del 2013 por todo el terreno de la reserva y se localizaron por observación directa la totalidad de las nacientes permanentes presentes en el área. La ubicación de cada una se registró por medio de un GPS y se identificó el tipo de cobertura vegetal donde se encuentran (apéndice digital 1); además, se determinó el aforo de cada una de ellas por medio del método volumétrico. Este método consiste en establecer el tiempo que demora en llenarse un recipiente de volumen conocido, posteriormente se divide el volumen en litros entre el tiempo promedio en segundos, obteniéndose el aforo en l/s (Instituto de Investigaciones Agropecuarias [INIA], 1994; FAO, 1997; Bello & Pino, 2000). En cada una de las zonas donde se presentó una naciente, se determinó la cobertura vegetal presente en un radio de 100m la redonda (Barrantes, 2008; Maglianesi, 2010b).

El área total (ha) que ocupa cada tipo de cobertura se determinó por medio de la fotointerpretación (Gonzales, 2006), con ayuda de los mapas de cobertura del FOFAFIFO (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones [MINAET], 2012) y por medio de observación directa en el campo. La densidad de nacientes por tipo de cobertura se estimó dividiendo la cantidad de nacientes entre el área total (hectáreas) de cada una de las coberturas. El promedio del volumen del aforo por tipo de cobertura (l/s/ha) se estimó dividiendo la cantidad de litros por segundo generados por las nacientes entre el área total para cada uno de los tipos de cobertura vegetal presentes.

Los datos los analizamos con el programa estadístico de IBM SPSS statistics 19, y realizamos las pruebas de Chi cuadrado, Kruskal-Wallis y la U de Mann-Whitney, en algunas pruebas se eliminó la cobertura de ciprés debido a que solo había una naciente.

La información sobre las comunidades que se benefician captando el recurso hídrico dentro de la RFG, se recogieron mediante la observación directa y entrevistas a los cinco funcionarios del MINAE que laboran en el área de estudio y a 38 funcionarios o miembros de las 11 ASADAS de las comunidades que captan agua dentro de la Reserva Forestal Grecia (de Poas: Calle Liles, San Juan Norte, de Grecia: Calle Rodríguez y Calle San José, San Isidro, San Miguel, San Roque, Los Ángeles, San Luis, San Juan, Cajón y Carbonal).

CUADRO 1  
Número de nacientes permanentes según el tipo de cobertura vegetal

Cobertura vegetal	Área (ha)	Nacientes	Densidad nacientes/ha	Promedio aforo/ha	Captación (f)	
					Sí	No
Bosque secundario	1031	42	0,041	0,029	25	17
Potrero	685	13	0,019	0,008	4	9
Matorral	166	14	0,084	0,254	7	7
Bosque ciprés	118	1	0,008	0,008	1	0
Total	2000	70			37	33

## RESULTADOS

La cobertura vegetal predominante es el bosque secundario ( $X^2 = 3,078$ ;  $gl = 3$ ;  $p < 0,000$ ). De acuerdo con lo esperado, la mayor cantidad de nacientes se encuentran en el bosque secundario que es la cobertura con mayor extensión ( $X^2 = 51,71$ ;  $gl = 3$ ;  $p < 0,000$ ).

Identificamos 70 nacientes de agua en los cuatro diferentes tipos de cobertura vegetal. El promedio del aforo es de 1,12l/s, el ámbito = 33,48; el mínimo = 0,02 y el máximo = 33,50, tanto el aforo mínimo como el máximo se ubican en el suelo cubierto por matorral (Cuadro 1).

Al contrario de lo esperado, no existe diferencia significativa en el aforo según la cobertura vegetal (Kruskal-Wallis = 6,293,  $N = 70$ ,  $p = 0,098$ ). Entonces, considerando el área, es en el matorral donde existe mayor concentración de litros de agua por segundo (0,254).

El 52,86% (37 nacientes) son captadas para abastecer de agua a diversas poblaciones, de estas el 67,57% (25 nacientes) se ubican en el bosque secundario, el 18,92% (7 nacientes) en el matorral, el 10,81% (4 nacientes) en el potrero y el restante 2,70% (1 naciente) en el bosque de ciprés y pino.

Estas nacientes son captadas por acueductos para abastecer de agua a aproximadamente 15 000 abonados de comunidades como San Juan Norte, Calle Liles, San Roque, San Miguel, Los Ángeles, San Juan, San Luís, Cajón, San Isidro, Carbonal, Calle Rodríguez, entre otras. Las nacientes que cuentan con mayor aforo son las que se encuentran captadas para abastecer a las comunidades (U Mann-Whitney = 335,50,  $N = 69$ ,  $p = 0,002$ ). También se encontró que la mayor captación de agua para consumo humano se presenta en el área con mayor cobertura vegetal: bosque secundario ( $X^2 = 23,565$ ,  $gl = 2$ ,  $p < 0,000$ ).

## DISCUSIÓN

El aumento de la población y su distribución de manera no planificada, el acelerado proceso de expansión urbana y el incremento en las actividades económicas y productivas, principalmente en los sectores agrícola e industrial están alterando el bosque (MINAET, 2012; Castro et al., 2011) y, a su vez presionan de manera negativa sobre los recursos naturales de las cuencas hidrográficas, afectando el volumen y calidad del agua (Ureña, 2004; Castro et al., 2011).

Los nuevos usos del suelo producto de las actividades antropogénicas atentan contra la recarga acuífera, debido a que se disminuye la retención de agua y la presencia de nacientes permanentes (Blanco, 2011; Castro et al., 2011). Los suelos con cobertura vegetal de ciprés retienen menor cantidad promedio de agua que el mismo suelo con cobertura de roble (Caballero & Jaramillo, 2007); el promedio de humedad del suelo en las microcuencas la Cubero y la Beta (Colombia) según cobertura y nivel de profundidad mostró diferencias, fue mayor en el suelo con cobertura de rastrojo, luego con la cobertura de pino y por último con la cobertura de ciprés (Gonzaga, 1993).

Esas evidencias científicas demuestran que la cobertura vegetal influye en la cantidad de nacientes que puedan existir, en este estudio, es el bosque secundario el que presenta mayor número de nacientes en relación con las otras coberturas vegetales; probablemente esto se deba a que esta cobertura cuenta con el mayor porcentaje de área y posee mayor permeabilidad para la retención del agua y para abastecer de forma más eficiente a los mantos acuíferos (Villegas, 2004); también a la baja diversidad de especies de flora reportadas en las otras coberturas (Maglianesi, 2010 a, b) que estaría limitando la retención de agua para abastecer a los mantos

acuíferos; a su vez, las especies del bosque de coníferas disminuyen la humedad del suelo y afectan la recarga de los mantos acuíferos (Villegas, 2004).

La alteración del bosque natural son actividades que atentan contra el artículo 1 de la Ley de Aguas 276 de Costa Rica, que indica que se debe proteger este recurso para el bienestar de los seres vivos (Asamblea Legislativa, 2004). Los estudios relacionados con la protección y gestión del recurso hídrico deben centrarse primeramente en realizar un inventario de las fuentes existentes, de su caudal de aprovechamiento promedio (Castro et al., 2011) y de la cobertura boscosa que la rodea.

La reserva presenta gran interés para los científicos, quienes se han dedicado especialmente a estudiar la abundancia y diversidad de especies vegetales y de la avifauna reportadas en sus tres zonas de vida: Bosque muy Húmedo Montano Bajo (es el predominante), Bosque muy Húmedo Premontano y Bosque Pluvial Montano Bajo (Maglianesi, 2010 a, b); pero se ha dejado de lado el estudio del recurso hídrico, el cual se ve determinado por la cobertura vegetal existente (Gonzaga, 1993; Huber & López, 1993; FAO, 1997; Caballero & Jaramillo, 2007; FAO, 2008; Blanco, 2011; Castro et al., 2011).

La zona presenta una importante riqueza hídrica, 70 nacientes permanentes y es en el bosque secundario donde existe el mayor número de ellas; por lo tanto, se esperaría que la mayor concentración de litros de agua por segundo se de en ese tipo de cobertura; sin embargo, no fue así, es en el matorral donde se da esa situación.

En tipo de cobertura de matorral se localizan "acuíferos confinados", como los del río Prendas que genera 35,2 l/s de agua; este tipo de acuífero está cubierto por una capa impermeable confinante (Ordoñez, 2011), lo que los hace menos vulnerables a sufrir afectaciones por actividades superficiales a corto plazo, como el cambio de uso de suelo (Gil, 2008). A largo plazo el manejo inadecuado de los ecosistemas, así como la remoción de la cobertura boscosa trae consecuencias negativas: rompimiento del ciclo hidrológico, alteración permanente del clima regional, aumento de la temperatura (por falta de nubes), reducción de las precipitaciones y el abastecimiento de los mantos acuíferos (Huber et al., 1985; Huber & López, 1993; Manson, 2004).

En los bosques reforestados de México se observó una disminución en el acceso al agua del suelo (Manson, 2004) y se aumentó la escorrentía del agua superficial, lo que disminuyó la filtración y reabastecimiento de la capa freática, como se demostró en plantaciones de *Pinus radiata*, donde la variación en la reserva de agua se produjo hasta los 280 cm de profundidad, mientras que en la pradera fue en los primeros 100cm (Huber & López, 1993);

situación que se mantiene en los bosques y praderas al sur de Chile (Echeverría et al., 2007). En este estudio se encontró que en suelos con matorrales se presenta la mayor densidad de nacientes/ha y la mayor densidad de aforo (l/s/ha); esto implica cierto grado de vulnerabilidad del recurso a sufrir alteraciones por actividades antrópicas, por lo tanto se requiere de un manejo científico que convierta a esa cobertura en un bosque con árboles nativos de la zona para asegurar la continuidad de disponibilidad del recurso hídrico.

La mayor cantidad de nacientes de las que se capta agua para consumo humano se localizan en el bosque secundario, área de mayor cobertura. Esta situación posiblemente se deba a la ubicación; accesibilidad, tipo de naciente, caudal y calidad del agua y al diseño del sistema de abastecimiento que debe construirse para abastecer en cantidad suficiente a la población (Benavidez et al., 2006); situación que no se analizó en esta investigación y que se sugiere hacer para contar con mayor información científica que sustente esta hipótesis.

## AGRADECIMIENTO

A Ligia Jeannete Bermúdez y Zaidett Barrientos Llosa por sus sugerencias para mejorar esta investigación.

## REFERENCIAS

- Andrade, A. & Navarrete, F. (2004). *Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico*. México, PNUMA, Serie Manuales de Educación y Capacitación Ambiental8.
- Asamblea Legislativa. (2004). *Ley de Aguas N° 276*. 4ta edición. IJSA. San José, Costa Rica.
- Barrantes, E. (2008). *Evaluación integral de la categoría de manejo de la Reserva Forestal Grecia, Alajuela, Grecia, Costa Rica*. (Tesis de Licenciatura en Manejo de Recursos Naturales). Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica.
- Bello, M. & Pino, M. (2000). *Medición de presión y caudal*. Punta Arenas. Ministerio de Agricultura de Chile.
- Benavidez, D., Castro, M. & Vizcaíno, H.M. (2006). *Optimización del acueducto por gravedad del municipio de Timaná (Huila)*. (Tesis en Ingeniería Civil). Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia.
- Blanco, H. (2011). Áreas de recarga hídrica de la parte media alta de las microcuencas Palo, Marín y San Rafaelito, San Carlos, Costa Rica. San José, Costa Rica, *Cuadernos de Investigación*, 3 (1), 181-204.

- Caballero, B. & Jaramillo, D. (2007). Humedad crítica y repelencia al agua en andisoles bajo cobertura de *Cupressus lusitanica* y *Quercus humboldtii* en la cuenca de la quebrada piedras blancas (Medellín, Colombia). Universidad Nacional de Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 60 (2), 4001-4024
- Castro, G., Chavarría, F., de la Cruz, J., Gelabert, C., Martínez, D., Paniagua, W., Sánchez, N., Sibaja, K. & Tejada, A. (2011). Impacto antrópico en el manto acuífero Barva (Heredia, Costa Rica) con énfasis en el uso del suelo (1992-2006). *Cuadernos de Investigación*, 3 (1), 71-80.
- Echeverría, C., Huber, A & Taberlet, F. (2007). Estudio comparativo de los componentes del balance hídrico en un bosque nativo y una pradera en el sur de Chile. *Bosque*, 28(3), 271-280.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO).(1997). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*. Roma, Italia.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO).(2008). *La ganadería amenaza el medio ambiente*. Roma, Italia.
- Gil, J. (2008). Recursos hidrogeológicos. *Geoparque de las Villuercas Iboreas Jara*. Gobierno de Extremadura, España.
- Gómez, L.D. (1986). Vegetación de Costa Rica. *Apuntes para una biogeografía costarricense*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica.
- Gonzaga, L.(1993). Efecto de las coberturas vegetales ciprés, pino y rastrojo sobre la humedad del suelo en dos microcuencas de Piedras Blancas, Antioquía. *Crónica Forestal y del Medio Ambiente*, 8, 7-24.
- Gonzales, X. (2006). *Fotointerpretación de los usos del suelo*. Departamento de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Santiago de Compostela, España.
- Huber, A., Oyarzún, C. & Ellies, A. (1985). Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* y una pradera. Il humedad del suelo y evapotranspiración. *Bosque* 6(2), 74-82.
- Huber, A. & López, D. (1993). Cambio en el balance hídrico provocado por la tala rasa de un rodal adulto de *Pinus radiata* (D. Don), Valdivia Chile. *Bosque*, 14(2), 11-18.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). (1994). *Cómo medir el agua de riego*. Santiago, Chile.
- Maglianesi, M. (2010a). Avifauna asociada al bosque nativo y plantación exótica de coníferas en la Reserva Forestal Grecia, Costa Rica. *Ornitología Neotropical*, 21, 339-350.
- Maglianesi, M. (2010b). Caracterización de la comunidad vegetal en áreas de bosque nativo y plantaciones de coníferas en la Reserva Forestal Grecia (Alajuela, Costa Rica). *Cuadernos de Investigación*, 2 (2), 245-253.
- Manson, R. (2004). Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques*, 10(1), 3-20.
- Miller D. (1977). *Water at the Surface of the Earth. An Introduction to Ecosystem Hydrodynamics*. International Geophysics series. Nueva York, Estados Unidos de América. Academic Press. 557 p
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET). (2012). *Estudio de cobertura forestal de Costa Rica 2009-2010*. San José, Costa Rica. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, Cooperación Financiera entre Alemania y Costa Rica. Proyecto: Programa Forestal Huetar Norte.
- Ordoñez, J. (2011). *Aguas subterráneas-acuíferos*. Global Water Parthnership, Sociedad Geográfica de Lima, Perú.
- Salazar, H. (1988). *Reconocimiento ecológico de la Reserva Forestal Grecia*. Grecia, Costa Rica. Municipalidad de Grecia.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2008). *Plan de manejo Reserva Forestal Grecia*. San José, Costa Rica, MINAET.
- Ureña, N. (2004). *Efectos del aumento poblacional y del cambio de uso del suelo sobre los recursos hídricos en la microcuenca del Río Ciruelas, Costa Rica*. Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar por el grado de Magister Scientiae. Turrialba, Costa Rica.
- Villegas, J. (2004). Análisis del conocimiento en la relación agua-suelo-vegetación para el Departamento de Antioquía. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquía*, 1, 73-79.

## Ver Apéndice digital 1

