

para las zonas donde no se cultivaba el grano, desapareciendo en las zonas marginales (Buriticá, 2010). Se elimina entonces el café de la microcuenca del caño El Berrión, y los suelos cambiaron su cobertura hacia cultivos limpios y un marcado desarrollo turístico que afecta la cantidad y calidad del agua. Hoy la Estación Piscícola recibe en promedio 1,8 L/seg de agua en verano y 15 L/seg en invierno; las aguas de escorrentía se recogen en un reservorio de 6.000 m², y posee un pozo profundo con una capacidad de generación 15 L/seg, cuya agua tiene en promedio un pH de 7,1, temperatura de 24°C y oxígeno de 3,3 ppm. Se estima una pérdida del 20% de agua a lo largo del recorrido por la Estación.

La calidad de agua de la Estación Piscícola fue determinada mediante bioindicadores, analizando los macroinvertebrados acuáticos (Hahn-von-Hessberg et al., 2009) encontrando 55 familias, siendo las más importantes Chironomidae (32,5%) y Thiaridae (26,7%) asociadas a bajos niveles de oxígeno, altas concentraciones de recuento de mesófilos, alta conductividad y altos niveles de microorganismos. Las demás familias tuvieron un 5% de representatividad, excepto la familia Palaemonidae con 6,7% de la población total. Los hongos registrados pertenecen a los grupos Oomycetos, Phycomycetos y Zygomycetos y morfoespecies como *Cladosporium* sp., *Thielaviopsis* sp., *Rhizopus* sp., *Penicillium* sp. y *Fusarium* sp. Los estudios limnológicos identificaron organismos planctónicos como *Chroococcus* sp., *Botryococcus*, *Closterium*, *Coelastrum*, *Golenkini* sp., *Pediastrum* sp., *Scenedesmus* sp., *Spirogyra* sp., *Staurostrum*, *Ulothrix* sp., *Navicula* sp., *Synedra*, *Tabellaria*, *Asplachna* sp., *Brachionus* sp., *Filinia* sp., *Keratella* sp., *Lecane* sp., *Philodina* sp., *Trichocerca* sp., *Daphnia* sp., *Copépodos*, *Ferrissia* sp., *Epistylis* (Hahn-von-Hessberg et al., 2007). Los parámetros fisicoquímicos del agua de la Estación en diversos puntos de observación (canales de acceso, estanques, rebose de los estanques, canales recolectores, noria) dieron como resultado para la temperatura un promedio de 24°C+1,59°C, oxígeno disuelto de 4,3+1,2 mg/L y pH de 7,2+0,45.

Diseño y elaboración del sistema de recirculación de agua

La infraestructura existente en la Estación Piscícola se diseñó acorde a las necesidades del campesino de zona andina donde predomina una topografía quebrada, poca cantidad y baja calidad de agua, en el que se han desarrollado modelos autóctonos y de recuperación, buscando la optimización de los recursos y minimizar costos. Los modelos de estanques han sido desarrollados en varias etapas, constan de 64 estanques (áreas unitarias entre 100 y 500 m², con profundidad promedio de 1 m, en tierra, cemento y tierra, cemento, polímero), un laboratorio ictiológico con 240 m² de área cubierta. A partir de 1990 se recobra y moderniza la infraestructura existente, realizando nuevos diseños y materiales de recuperación para estanques de la zona andina.

El área utilizada para la recolección de agua de rebose o primera fase de recirculación es de 9.352 m², la segunda fase comprenderá 6.200 m² de un total de 21.832 m² de espejo de agua que abarca la Estación. Para el desarrollo del proyecto de recirculación de agua no se realizaron modificaciones en el recorrido normal de abastecimiento de agua a los estanques ni de los canales de desagüe donde se obtiene el agua para su posterior recirculación (Figura 3). El recambio de agua en los estanques es únicamente de mantenimiento, devolviéndose normalmente (80%

promedio) al cauce natural de la quebrada. El sistema de recirculación desarrollado consta en su primera fase de la captación de agua de recambio de siete baterías de estanques, donde se construyeron cajas colectoras, adaptándolas con compuertas en la parte inferior y en la parte superior se adecuó una tubería de 3 pulgadas para conducir el agua hacia los compartimentos del cilindro, la cual hace parte de la Noria modificada, para así por medio de energía hidráulica impulsar esta a través de un sistema de poleas. La estructura en sí de la Noria consta de tres partes: una *Noria* compuesta por una rueda a la cual se le adaptaron canjilones e impulsada con una cadena de eslabones, un *Cilindro con compartimentos* donde se recolecta parte del agua y un sistema de Poleas ([Figura 4](#)).

La Noria modificada está localizada al final de un canal de desagüe, donde se recoge el agua de recambio de tres baterías de estanques que desaguan directamente, y el agua de cuatro baterías de estanques que caen previamente en el Cilindro con compartimentos para generar movimiento con las poleas ([Figura 3](#)). La Noria es una estructura circular de 7 m de diámetro, construido de forma modular con ángulos de hierro ajustados entre sí con tornillería, adaptada con 32 canjilones construidos en fibra de vidrio, cada uno con una capacidad de 5 L, los cuales recolectan el agua cuando están en la parte inferior de la Noria, tomando únicamente la parte superficial del agua de la canal, evitando captar sedimentos; es llevado posteriormente el agua a la parte superior de la Noria donde los canjilones se desocupan y depositan el agua en la bandeja receptora, comenzando así la recirculación con un promedio de 1,5 L/seg de agua, esta es conducida inicialmente por un tubo galvanizado, que a su vez sirve de soporte de la Noria ([Figura 4](#)), a continuación es transportada por gravedad hasta la parte superior del canal principal de abastecimiento de agua de la Estación a la altura del Laboratorio Ictiológico, completándose así el ciclo.

El diseño de la Noria modificada fue realizado teniendo en cuenta las mediciones correspondientes a la cantidad de agua a ser recirculada procedente de las salidas de las baterías de estanques, tanto en la época de verano como en invierno; además, determinado por los niveles del terreno, adaptándose a una infraestructura existente en la Estación y diseñado en forma modular, para aplicarlo a diferentes terrenos y necesidades donde se requiere recircular agua por medio de la gravedad sin la utilización de energía eléctrica.



Figura 3. Plano general del sistema de recirculación de agua con la Noria modificada de la Estación Piscícola de la Universidad de Caldas.

[Haga clic sobre la imagen para ampliarla](#)

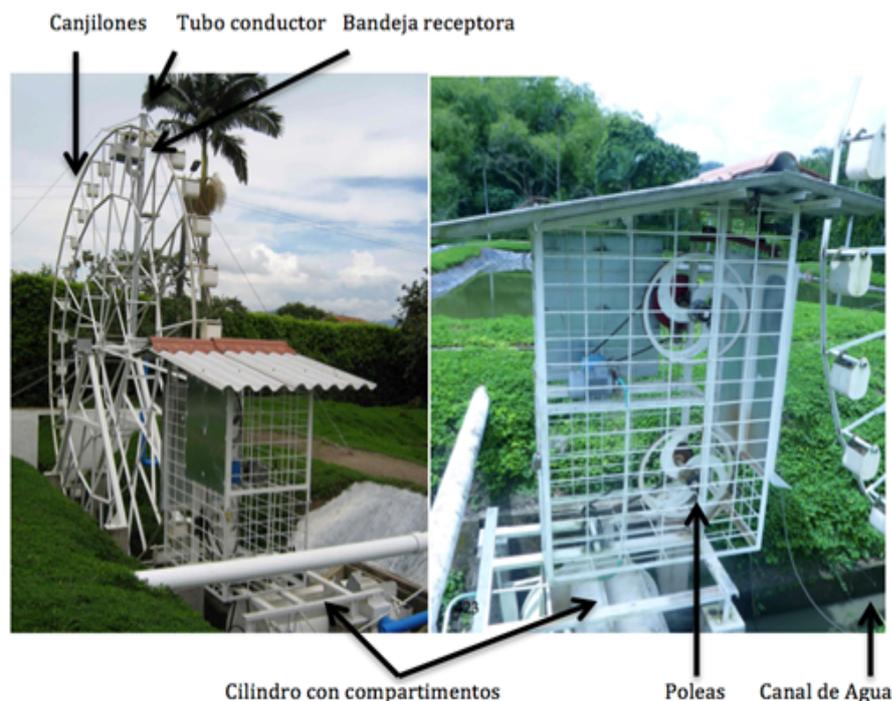


Figura 4. En la fotografía de la izquierda la Noria modificada con los canjilones, bandeja receptora del agua y el tubo de sostén de la Noria y a su vez conductor de agua a recircular, en la parte anterior la caseta donde se localiza el sistema de poleas.

En la fotografía de la derecha la caseta con el sistema de poleas, la cadena de eslabones para el impulso de la Noria, y en la parte inferior el Cilindro con compartimentos.

El Cilindro posee 8 compartimentos, cada uno con una capacidad de 60 L, recibe el agua de recambio de 5.702 m² de espejo de agua proveniente de cuatro baterías de estanques. Una vez que un compartimento se ha llenado de agua, su peso produce un giro que induce un movimiento a través de las poleas conectado con una cadena de eslabones e impulsa la Noria, elevando los canjilones a la parte superior de la misma; la rueda se moverá dependiendo de la rapidez y la cantidad de agua que recibe el Cilindro con compartimentos. El sistema de poleas de la Noria está conformado por dos platos de hierro forjado de 70 cm de diámetro, conectados con la Noria y el Cilindro con compartimentos por medio de cadenas de eslabón permitiendo así su interacción.

En la [Tabla 1](#) se discriminan los costos de construcción del sistema de recirculación de agua, como se ha descrito anteriormente. Los costos se han dividido en costos de construcción y mano de obra. Para la instalación se debe considerar una persona capacitada de apoyo a los trabajadores no cualificados. Los costos de ingeniería para la asesoría hidráulica no están incluidos. Los costos de materiales se indican en dólares. Se considera una vida útil calculada de 30 años, con un mantenimiento anual de \$150 dólares, puede trabajar 24 horas durante los 365 días del año y no posee consumo de energía eléctrica.

Tabla 1. Costos de construcción del sistema de recirculación de agua

	Costos de construcción del sistema de recirculación de agua	
	Costo dólar-\$	Porcentaje
Noria modificada, Cilindro con compartimentos y Poleas	10.870	62,5%
Redes hidráulicas	3.043	17,5%
Mano de obra	3.479	20%
Total	17.392	100%

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el siglo XXI, el mundo se enfrenta a un aumento en la frecuencia de eventos extremos asociados a la variabilidad climática (Birkmann, Tetzlaff y Zentel, 2009); cerca del 50% de la tierra ha sido transformada, trayendo consecuencias funestas para la biodiversidad y el medio ambiente, y como consecuencia efectos sociales y económicos negativos (FAO, 2012b). Se plantean desafíos para el sector agropecuario, lo cual requiere incorporar estrategias de adaptación y tecnologías, que faciliten un desarrollo sostenible y anticiparse a los eventos hidroclimatológicos (Ocampo, 2012). A pesar de los esfuerzos generales para crear un futuro sostenible, los indicadores mundiales señalan que la humanidad se aleja de la sostenibilidad.

En Colombia se estimó para la década del 2000 una pérdida promedio anual de la cobertura boscosa de 273.334 ha/año para las regiones de la Amazonía y los Andes (Cabrera et al., 2011), afectando entre 2010-2011 el 60% de bosques primarios de alta complejidad (Naciones Unidas, 2012b). El agua es un recurso indispensable para el desarrollo económico y el bienestar social. En promedio se requieren 3.000 L de agua por persona para generar los productos necesarios para su alimentación diaria (Silva et al., 2008). Las actividades agrícolas requieren en promedio un 10% del agua usada (FAO y FIDA, 2006). Ante el crecimiento de la población, tipos de asentamientos, actividades productivas y sistemas tecnológicos, se presentan efectos como la desregulación de la disponibilidad espacial y temporal en la oferta hídrica, deterioro de las condiciones biológicas y fisicoquímicas del agua, conflictos intersectoriales e interterritoriales, lo que ha forzado a buscar nuevas fuentes de abastecimiento de agua considerándose las aguas residuales o usadas una alternativa de producción (Silva, Torres y Madera, 2008).

La cuenca del río Chinchiná, a la cual pertenece la microcuenca El Berrión, es afectada por el fenómeno de variabilidad climática natural ENSO-Oscilación del Sur; La Niña ocasiona un incremento en los caudales del 28% en promedio; El Niño produce una disminución en promedio del 24%. Los cambios de caudal se deben a variaciones en las precipitaciones que producen los episodios fríos –aumentos del 27% al 140%– y los eventos cálidos –disminución del 18% al 55%– (IDEAM, 2010; Ocampo, 2012). Se estiman reducciones en la precipitación del 10% y aumento en la temperatura de 1,4°C, presentándose una reducción en la

oferta hídrica entre el 5% y el 28%; el índice del uso del agua alcanzaría valores altos debido al crecimiento poblacional de la zona, las actividades económicas, la baja capacidad de regulación hídrica, manifestando un aumento considerable del Índice de Vulnerabilidad (Ocampo, 2012); coincidiendo con Pabón (2006), quien sugiere que se espera una disminución de los volúmenes de precipitación anuales hasta en un 30%, con posibles aumentos de temperatura en promedio de 4°C, en la región Caribe y Andina, afectando las vertientes de la zona Andina (PNUMA, 2006) y por ende la Estación.

El panorama planteado obligó a buscar alternativas, donde los problemas de cantidad y calidad de agua de la Estación puedan resolverse utilizando métodos tradicionales empleados durante cientos de años. El significado de la sostenibilidad en los tiempos modernos debe ser reevaluado a la luz de antiguas obras públicas y prácticas de gestión, sin embargo las tendencias actuales del uso del agua con tecnologías tradicionales cada día se están olvidando, poco se realiza para mantener y mejorarlas, para enfrentar el crecimiento de la población, la desertificación y los aspectos económicos. A nivel internacional, la inversión en investigación, evaluación, mantenimiento y despliegue de tecnologías tradicionales, ha sido básicamente inexistente (Mays, 2010b).

Es así como se desarrolló una Noria modificada como alternativa sostenible, para la recirculación de agua en producción piscícola; entendiéndose como sostenible, la capacidad de utilizar agua en cantidades suficientes para satisfacer las necesidades del ser humano, seguridad alimentaria y garantizar la restauración y mantenimiento de los ecosistemas para preservar la vida para las generaciones futuras (Mays, Koutsoyiannis y Angelakis, 2007), esta sostenibilidad del agua debe ser considerada en políticas de nivel local, regional, nacional y a nivel internacional (FAO, 2012a, b).

CONCLUSIONES

Se presentan las bondades de un proyecto exitoso de recirculación de agua, el cual responde a las necesidades de una Estación Piscícola integrando el recurso hídrico al desarrollo sostenible social, ambiental y económicamente rentable, como lo sugiere Naciones Unidas (2012a, b).

La microcuenca que abastece la Estación Piscícola sufre el deterioro propio de la zona Andina como es la intervención, deforestación y contaminación. El objetivo de este trabajo fue realizar un recuento de las condiciones ambientales y buscar la implementación de una tecnología milenaria como es la Noria, modificando su diseño y adaptándola a las necesidades locales para promover el uso sostenible y racional del agua.

Para completar el sistema de recirculación de agua, se recomienda acoplarlo a un sistema de tapetes biológicos que mejoren la calidad del agua y, de esta manera, lograr independencia de los factores externos de presión antrópica, como los asentamientos urbanos, cambio del uso de los suelos, pudiendo ser una solución para estaciones piscícolas o producciones agropecuarias.

La academia juega un papel clave al iniciar el enfoque y el fomento en pro de nuevas alternativas a partir de tecnologías milenarias, buscando así alternativas productivas de bajo impacto ambiental y económicamente aplicables al campo.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Agricultura de la Gobernación de Caldas, al Comité Departamental de Cafeteros de Caldas y a la Universidad de Caldas. Especial mérito al Señor Enrique Vélez Jaramillo, que con su ingenio y perseverancia fue posible realizar la Noria.

REFERENCIAS

- Al-Dbiyat M. (2009). Les Norias de Hama sur l'Oronte: un Système Traditionnel Original de L'Utilisation de l'eau fluviale gestion durable et équitable de l'eau douce en Méditerranée. Mémoire et Traditions avenir et solutions, Vèmes Rencontres Internationales Monaco et la Méditerranée Actes. *Association Monégasque pour la Connaissance des Arts*, 191-210.
- Ayalon, E., Milo, U. y Nes, Z. (2000). Typology and Chronology of Water-Wheel ("sāqiya"). *Israel Exploration Journal*, 50(3/4), 216-226.
- Birkmann, J., Tetzlaff, G. y Zentel, K. O. (2009). Addressing the challenge: recommendations and quality criteria for linking disaster risk reduction and adaptation to climate change. En Birkmann, J., Tetzlaff, G., Zentel y Karl-Otto (Eds.). *DKKV Publication Series 38*. Bonn.
- Bitzer, V., Francken, M. y Glasbergen, P. (2008). Intersectoral partnerships for a sustainable coffee chain: Really addressing sustainability or just picking (coffee) cherries? *Global Environmental Change*, 18, 271-284.
- Buriticá C., P. (2010). The Coffee Rust in Colombia: Achievements of National and International Impact in the Twentieth Century. *Revista Facultad Nacional Agronomía*, Medellín, 63(1), 5285-5292.
- Cabrera E., Vargas, D. M., Galindo, G., García, M. C. y Ordóñez, M. F. (2011). Memoria Técnica: Cuantificación de la tasa de deforestación para Colombia, Periodo 1990-2000, 2000-2005. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM–, Bogotá, D.C., Colombia.
- Corporación Autónoma Regional de Caldas –CORPOCALDAS–. (2006). El Papel de Corpocaldas como Autoridad Ambiental dentro de la Gestión Local del Riesgo. Taller Internacional sobre Gestión del Riesgo a Nivel Local, El Caso de Manizales, Colombia la Administración Pública y el rol de la Universidad. Manizales: Una Ciudad Laboratorio. Manizales, Septiembre 2006.
- Corporación Autónoma Regional de Caldas –CORPOCALDAS–. (2007). Plan de gestión ambiental regional 2007-2019 (Documento interno de trabajo, Corpocaldas - Agosto 2007).
- Grajales, A. (2004). *Evaluación de dos tipos de resolución de los SIG, utilizando la variabilidad espacial de la Erodabilidad del suelo en la Microcuenca "El Berrión", Municipio de Palestina, Caldas, Colombia*. Tesis de Magíster, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

- Hahn-von-Hessberg, C. M., Toro, D. R., Grajales Q., A. y Henao C., A. F. (2007). Producción limnológica en estanques para el levante de larvas y postlarvas de especies nativas y foráneas, Caldas, Colombia. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*, 2(2), 137-168.
- Hahn-von-Hessberg, C. M., Toro, D. R., Grajales, Q., A., Duque, G. M., y Serna, U. L. (2009). Determinación de la Calidad del Agua Mediante Indicadores Biológicos y Físicoquímicos, en la Estación Piscícola, Universidad de Caldas, Municipio de Palestina, Colombia. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 13(2), 89-105.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM–. (2010). *Estudio Nacional de Agua 2010*. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Kumar, D. (1978). Investigation into some physiological aspects of high density plantings of coffee (*Coffea arabica* L.). *Coffee Kenya*, 43(510), 263-272.
- Mays, L. W. (2010a). Water Technology in Ancient Egypt. Chapter 3. En *WT in ancient Egypt* (pp. 53-65).
- Mays, L. W. (2010b). Lessons from the Ancients on Water Resources Sustainability. Chapter 11. En *Lessons from the Ancients on Water resources sustainability* (pp. 217-239).
- Mays, L. W., Koutsoyiannis, D. y Angelakis, A. N. (2007). A brief history of urban water distribution. *Water Science and Technology: Water Supply*, 7(1), 1-12.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural –MADR–, FAO e INCODER. (2011). Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia. Diagnóstico del Estado de la Acuicultura en Colombia, Diciembre de 2011. Recuperado de http://www.ceniagua.org/archivos/Diagnostico_para_revison_Dic_5_2011_v1.pdf
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial –MAVDT–. (2010). *Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, República de Colombia*. Junio de 2010. Bogotá, D.C.: IDEAM. ISBN: 978-958-8067-31-5. Recuperado de <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/021658/2Comunicacion/IDEAMTOMOIIIPreliminares.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial –MAVDT– y Viceministerio de Ambiente. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá, D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. ISBN: 978-958-8491-35-6. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentaci%C3%B3n_Pol%C3%ADtica_Nacional_Gesti%C3%B3n_libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf
- Muschler, R. G. y Bonnemann A. (1997). Potentials and limitations of agroforestry for changing land-use in the tropics: experiences from Central America. *Forest Ecology and Management*, 19, 61-73.
- Naciones Unidas. (2012a). Colombia. Monitoreo de Cultivos de Coca 2011. UNDOC. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. ISSN - 2011-0596. Recuperado de https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Colombia/Colombia_Monitoreo_de_Cultivos_de_Coca_2012_web.pdf
- Naciones Unidas. (2012b). Conferencia de las Naciones Unidas sobre el desarrollo sostenible. Río de Janeiro (Brasil) 20 a 22 de junio de 2012. A/CONF.216/L.1. Recuperado de http://www.uncsd2012.org/content/documents/778futurewewant_spanish.pdf

- Ocampo L., O. L. (2012). *Análisis de vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático*. Tesis de Magíster, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura –FAO– y Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola –FIDA–. (2006). El agua para la alimentación, la agricultura y los medios de vida rurales. En *El agua, una responsabilidad compartida. 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Recuperado de http://www.unesco.org/water/wwap/index_es.shtml
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. (2012a). The State of World Fisheries and Aquaculture 2012. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/016/i2727e/i2727e.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. (2012b). Voluntary Guidelines on the Responsible Governance of Tenure of Land, Fisheries and Forests in The Context of National Food Security. Rome. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/016/i2801e/i2801e.pdf>
- Pabón, J. D. (2006). Escenarios de cambio climático para Colombia. En *Memorias del IV Encuentro de la Red de Universidades del Pacífico Sur (RUPSUR)*, 8-10 de noviembre de 2006. Recuperado de http://www.idea.unal.edu.co/eventos/CisdalV/ponencias/E2_Cambio_clima/E2_daniel_pabon.pdf
- Ponte, S. (2002). The 'latte revolution'? Regulation, markets and consumption in the global coffee chain. *World Development*, 30, 1099-1122.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente –PNUMA–. (2006). *El Cambio Climático en América Latina y el Caribe*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales –SEMARNAT–. ISBN 968-817-677-X. Recuperado de http://www.oei.es/decada/ElcambioClimatico_r.pdf
- Quintero-Ángel, M., Carvajal-Escobar, Y. y Aldunce, P. (2012). Adaptación a la variabilidad en el cambio climático: intersecciones con la gestión del riesgo. *Revista Luna Azul*, 34, 257-271. Recuperado de <http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=content&task=view&id=706>
- Ruiz R., L. E. (1990). Colombia y la acuicultura. Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente –INDERENA–. Bogotá. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/005/ad020s/AD020s04.htm>
- Silva, J., Torres, P. y Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347-359.

1. Esp. (c)Msc. Docente, Departamento de Producción Agropecuaria, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. christine.hahn@ucaldas.edu.co

2. Ph. Docente Investigador, Pesquerías y Acuicultura, Universidad British Columbia - Canadá. qfherbert@gmail.com

3. Ph. Docente, Departamento de Producción Agropecuaria, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. alberto.grajales@ucaldas.edu.co

Para citar este artículo: Hahn-von-Hessberg, C. M., Quintero, H. E. y Grajales-Quintero, A. (2016). Desarrollo e implementación de una Noria modificada como propuesta sostenible de recirculación de agua para una estación piscícola. *Revista Luna Azul*, 42, 185-199. Recuperado de http://200.21.104.25/lunazul/index.php?option=com_content&view=article&id=134