

# CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA PARA CONSUMO HUMANO EN EL TRÓPICO SECO DE COSTA RICA

Rainwater harvest systems for human consumption in the dry tropics of Costa Rica

Adolfo Salinas Acosta. ORCID: [0000 0002-4997 7029](#)

Álvaro Baldioceda Garro. ORCID: [0000 0003-1121-463X](#)

Andrea Suárez Serrano. ORCID: [0000 0002-1930 3381](#)

William Gómez Solís. ORCID: [0000 0002-0109-215X](#)

Johanna Rojas Conejo. ORCID: [0000 0002-9001 3694](#)

Anny Guillén Watson. ORCID: [0000 0001-6719 1276](#)

Recibido: 11-11-2022

Aprobado: 03-02-2022

Publicado: 13-08-2023

## Cómo citar

Salinas Acosta, A.; Baldioceda Garro, A.; Suárez Serrano, A.; Gómez Solís, W; Rojas Conejo, J.; Guillén Watson, A. (2023).

Captación de agua de lluvia para consumo humano en el trópico seco de Costa Rica. *Revista Digital Costa Oriental*, 1 (1), 3-24.

## RESUMEN

Desde el año 2016 se ha trabajado en el estudio e instalación de sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano en la región del trópico seco de Costa Rica, a través de la integración de esfuerzos de dos centros de investigación y extensión, el Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe y Centro Mesoamericano de Desarrollo Sostenible del Trópico Seco, esto con el objetivo de ofrecer a poblaciones vulnerables a la escasez hídrica, herramientas innovadoras para obtener agua potable ante un inminente desafío del cambio climático. Este trabajo se construyó a partir de una perspectiva social (sistematización de experiencias), la ingeniería de la construcción, inversión económica y estudios de calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia, durante el desarrollo de tres módulos de sistemas de captación de agua de lluvia. Entre las principales conclusiones se pudo considerar que los SCALL son una opción viable que sirve como medida de resiliencia ante el cambio climático y pueden adecuarse a las condiciones de las zonas con déficits hídricos prolongados, ya que después de un tratamiento simple, se pueden utilizar como fuente de agua para consumo humano.

**Palabras clave:** *cambio climático, cosecha de agua, consumo humano, purificación, resiliencia.*

## ABSTRACT

Since 2016, we have been working on the study and installation of Rainwater harvest Systems (RWHS or SCALL for the acronym in Spanish) for human consumption in the dry tropic region of Costa Rica through the integration of efforts of two research and extension centers, the Water Resources Center for Central America and the Caribbean and the Mesoamerican Center for Sustainable Development of the Dry Tropics, this to offer populations vulnerable to water scarcity, innovative tools to obtain drinking water in the face of an imminent challenge of climate change. This work is built from a social perspective (systematization of experiences), construction engineering, economic investment, and studies of physicochemical and microbiological quality of rainwater during the development of three modules of Rainwater Harvesting Systems. Among the main conclusions, it was possible to consider that SCALL is a viable option that serves as a measure of resilience in the face of climate change and may be suitable for the conditions of areas with prolonged water deficit since, after simple treatment, they can be used as a source of water for human consumption.

**Keywords:** *climate change, water capture, human consumption, purification, resilience..*



## Introducción

Los efectos del cambio climático son cada vez más evidentes en el ámbito global. El continuo aumento de las temperaturas extremas, así como la frecuencia, duración y escasez de las lluvias y sequías, ejercen una presión sobre los recursos hídricos disponibles, que a la vez representan algunas de las principales amenazas a la calidad del agua en distintas regiones del mundo, convirtiéndose en un tema de relevancia y un reto en la investigación científica en mejoras para solventar o minimizar estos efectos (Jodar, Ruiz y Melgarejo, 2018).

En Costa Rica, debido a las consecuencias del cambio climático, se realizan estudios en diferentes regiones del país para determinar la vulnerabilidad futura del sistema hídrico y, como resultado, se identificó que la región del Pacífico Norte presenta una vulnerabilidad alta debido a la baja disponibilidad del recurso hídrico, principalmente en época seca. Por ejemplo, en los años 2014-2016, debido al efecto de la sequía provocado por el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), las comunidades en esta región que eran abastecidas por acueductos comunales y pozos artesanales perdieron su fuente de agua (Echeverría, 2011; Suárez-Serrano, Baldioceda-Garro, Durán-Sanabria, Rojas-Conejo, Rojas-Castillo y Guillén-Watson, 2019). Además, datos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2021) indican que para esta región las precipitaciones son entre 1500-3000 mm/año, con duración de 6 meses y se prolongan aproximadamente, desde mediados del mes de mayo hasta mediados del mes de noviembre.

La región Pacífico Norte también se caracteriza por poseer un índice de desarrollo humano (IDH) bajo y una alta población en condición sensible. Por esto, las gestiones tendientes a asegurar la oferta del recurso hídrico para los diferentes usos, entre estas, aumentar la capacidad de almacenamiento y el uso eficiente del agua, son de vital importancia para la región, principalmente la búsqueda de herramientas que permitan suministrar el agua en cantidad y calidad, especialmente por la alta demanda debido al crecimiento poblacional (Echeverría, 2011).

Uno de los mecanismos alternativos que tomó fuerza en los últimos años para la gestión adecuada de este recurso, son los sistemas de captación de agua de lluvia (Scall), debido a que son tecnologías simples y se basan en el aprovechamiento de las precipitaciones en la época lluviosa para capturar, almacenar y potabilizar el agua. Esto permite proveer el recurso especialmente en época seca, es una opción conveniente en zonas donde el acceso al agua es limitado o su condición fisicoquímica o microbiológica no cumple con las normativas de calidad de agua potable (Basán, Sánchez, Tosolini, Tejerina y Jordan, 2018).

Algunos académicos de la Sede Regional Chorotega de la Universidad Nacional de Costa Rica, ubicada en la provincia de Guanacaste, han desarrollado e implementado desde el 2016 tres sistemas de captación de agua de lluvia (Scall). Estos sistemas fueron nombrados con la palabra Nimbu, en honor de los antepasados precolombinos de la región Chorotega, debido a que la palabra tiene un significado de agua o lluvia y es originaria de la lengua de los indígenas chorotegas que habitaron el trópico seco de Costa Rica (Quirós, 1999).

Los tres sistemas que se implementan son: a) Nimbu 1, un módulo experimental demostrativo construido en la sede Chorotega de la Universidad Nacional, cantón de Nicoya, para dar a conocer en el plano académico una alternativa para obtener agua potable; b) Nimbu II, un módulo implementado en isla Caballo, Golfo de Nicoya, para satisfacer la demanda de agua potable en cantidad y calidad durante los servicios en la clínica de salud (Ebais), esto se debe a las altas limitaciones con el acceso al agua potable por medio de las fuentes comunes de uso público (pozos) que existen en la isla y c) Nimbu III, un tercer módulo implementado en el acueducto comunal (Asada) de Playa Brasilito, cantón de Santa Cruz, como una herramienta demostrativa de la funcionalidad de estos sistemas en casas y comercios de esa zona.

Las zonas donde se ubicaron también se seleccionaron debido a su poca precipitación promedio anual. De acuerdo con el Instituto Meteorológico Nacional (2021), para las zonas donde se ubican el Nimbu II y III ronda de entre 1500 a 2000 mm/año, mientras que para Nicoya entre 2000 y 3000 mm/año, tomando en cuenta que aproximadamente un 60 % de esa precipitación cae en los meses de septiembre y octubre, durante la época lluviosa (ver Anexo 1).

Existe poca información sobre la purificación de agua de lluvia, equipos y técnicas por emplear, a esto se debe que este esfuerzo por generar datos y la experiencia para la población interesada en el recurso agua-lluvia colabora en la socialización de esta tecnología. Durante el proceso de investigación, tanto en el diseño como en la construcción de los módulos Scall, fue de suma importancia la selección del sitio de instalación, el tipo de construcción e inversión y el estudio de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia para establecer los diseños que se adaptan a los sitios. Por esto, en este artículo lo que se busca es comparar los tres distintos sistemas construidos para determinar semejanzas y diferencias, ventajas y desventajas, a través de un proceso de sistematización que involucra la reconstrucción histórica, analítica y científica de la experiencia alcanzada, con el fin de observar los aciertos y desaciertos que permitan una mejora continua, tanto del grupo de trabajo como de las personas investigadoras que deseen replicar estas experiencias en otras partes de Iberoamérica.

## Metodología

El desarrollo para obtener los resultados del proceso de investigación se diseñó metodológicamente desde el inicio para presentar un abordaje sociocientífico, que brinda dos visiones diferentes del mismo objeto investigativo. Esto a través de un abordaje cualitativo y cuantitativo.

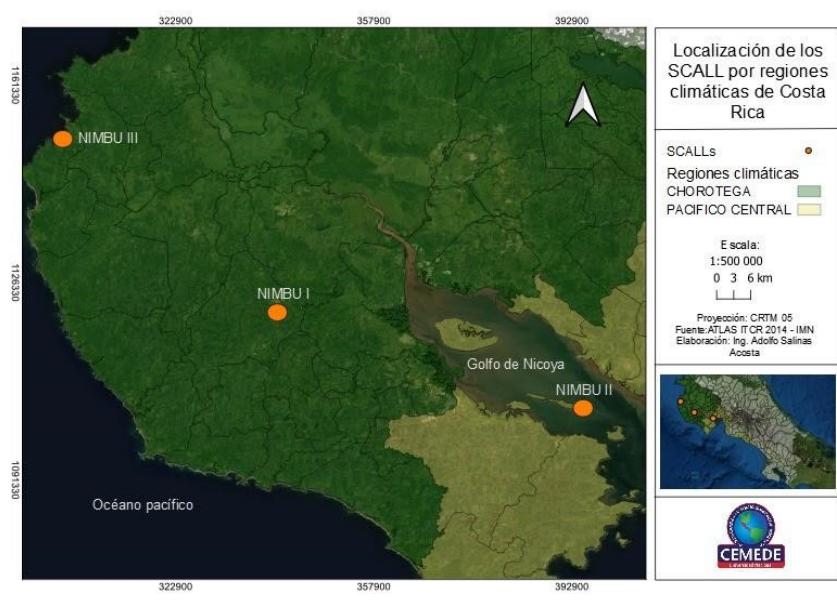
El primer abordaje se elaboró mediante una perspectiva cualitativa de sistematización denominada de experiencias, en la cual los resultados se presentan como descriptivos o explicativos del proceso. Para esto, se implementó la metodología desarrollada por Jara (2018) basada en tres etapas: reconstrucción histórica de la experiencia, identificación de los hitos históricos mediante un análisis crítico y elaboración de conclusiones y recomendaciones sobre el proceso. Se identificaron mediante análisis sociológicos las principales experiencias que se vivieron en el proceso de investigación, lo cual condujo a la definición de hitos que después se estudiaron críticamente para analizar el porqué de las decisiones tomadas en el camino. Por ejemplo, por qué se construyó el sistema en un sitio y no en otro y por qué un sistema para la comunidad fue más exitoso que el otro. Estos aprendizajes son de vital importancia para el análisis integral del proyecto y que provocaron una mirada crítica sobre la experiencia.

La recuperación histórica consistió en explicar para cada uno de los hitos que se identifican: a) el contexto en que se dio el momento significativo (dónde, cuándo, quiénes participaron, con qué propósito, entre otros); b) descripción y narración de lo sucedido durante ese momento (desarrollo de la situación, su proceso y el rol desempeñado por los diferentes actores involucrados); c) mención de las enseñanzas que ese momento dejó, así como las recomendaciones y d) sugerencias que pueden servir en el futuro (Restrepo Salazar y Sánchez Acuña, 2022).

De igual modo, la construcción de los módulos fue otro de los enfoques cualitativos que se analizó en este estudio. Los módulos Scall se inspiraron en los diseños analizados y estudiados con una metodología de recopilación de datos experimental, tanto en Latinoamérica como en otras zonas (FAO, 2013; Pizarro, 2015; Lancaster, 2009), pero que se basan principalmente en las metodologías aplicadas por el Colegio de Postgraduados Cidecalli de México (Anaya et al., 2020). Los diseños de los tres modelos de Scall se adaptan a cada una de las necesidades de las comunidades donde se ubican y se desarrollaron tomando en cuenta una propuesta ingenieril teórica y la aplicación de esta en la práctica, de manera funcional, para los usuarios del recurso. Aunque cada diseño de Scall tiene su sello propio que lo identifica, los tres sistemas instalados tienen en común tres módulos: área de captación con infraestructura existente, almacenamiento y tratamiento. Los procesos de diseño y construcción de los módulos se basan en reglamentos constructivos de Costa Rica y de las normas internacionales en estos temas.

El enfoque cuantitativo o segundo abordaje de investigación se basó en la determinación y comparación de los costos de construcción, así como de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a partir de muestras de agua con volúmenes determinados de acuerdo con los ensayos por realizar. En los tres sitios de estudio ubicados en tres puntos geográficamente distintos: Nimbu I construido en el cantón de Nicoya, Nimbu II en una isla del Golfo de Nicoya y Nimbu III en una zona con influencia turístico-costera, playa Brasilito (ver Figura 1).

**Figura 1**  
**Ubicación de los tres Scall en el Pacífico Norte de Costa Rica**



Elaboración propia, 2021.

El financiamiento para cada sistema se obtuvo por los fondos concursables de las universidades públicas de Costa Rica, llamados Conare-Regionalización, que son fondos para fomentar el desarrollo de las regiones rurales en Costa Rica. Los resultados de este apartado se generaron a partir de la comparación de los costos de inversión de cada uno de los Nimbu, debido a las diferencias que presenta cada uno de los diseños según su ubicación.

La calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia captada en los Scall se analizó mediante la colecta de agua en cada uno de los tanques de almacenamiento de cada Nimbu, esto con el objetivo de corroborar el buen funcionamiento de los módulos Scall y la condición real de la calidad del agua. Una vez que el sistema estuvo implementado y funcionando, se tomaron dos muestras en la entrada y la salida de los tanques, según la metodología expuesta en el Método Estándar 1060 (APHA, 2012).

Las muestras analizadas tuvieron un tiempo de almacenamiento en el tanque del Nimbu de aproximadamente 6 meses, periodo que equivale a la duración máxima en que el agua de lluvia puede

permanecer en los tanques antes de la próxima estación lluviosa. Las muestras se tomaron mediante frascos de vidrio directamente de los tanques y después se trasladaron en condiciones de enfriamiento (hieleras) a los laboratorios. después de esto, se realizaron los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de acuerdo con los parámetros establecidos para los niveles 1, 2 y 3 del Reglamento para la Calidad del Agua Potable en Costa Rica (n.º 38924-S).

Los análisis también se desarrollaron con base en el Método Estándar (APHA, 2012). Estos se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 1**

**Metodologías empleadas para realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos (N1, N2 y N3) en agua de lluvia almacenada de los módulos de los Scall (Nimbu I, II y III)**

Parámetro	Método analítico Nimbu I*	Método analítico Nimbu II y III*
Turbidez	2130 B	2130 D
PH	2510 A. B	4500-H+. B
Color	2120 B	2120 B
Conductividad eléctrica	2510 A. B	2510 B
Cloro residual libre	4500 Cl G	4500 Cl
Temperatura	2550	2550 B
Aluminio	3113 B	3113 B
Calcio	3111 B	3111 B
Cloruro	4110 B	4110 B
Cobre	3111 B	3111 B
Dureza total	2340 B	2340 C
Fluoruros	4110 B	4110 B
Hierro	3111 B	3111 B
Magnesio	3111 B	3111 B
Manganoso	3111 B	3113 B
Potasio	3113	3111 B
Sodio	3111 B	3111 B
Sulfato	4110 B	4110 B

Zinc	3111 B	3111 B
Amonio	4500 NH3	4500 NH3
Antimonio	3113	3113 B
Arsénico	3113	3113 B
Cadmio	3113	3113 B
Cromo	3113	3113 B
Mercurio	3113	CHEM-PT-089**
Níquel	3113	3113 B
Nitrato	4110 B	4110 B
Nitrito	4110 B	4500 NO <sub>2</sub> -
Selenio	3113	3113 B
Plomo	3113	3113 B
Coliformes fecales	9223 B	9221 C
<i>Escherichia coli</i>	9223 B	9223

\*APHA, 2017.

\*\*Análisis realizados por el Laboratorio Chemlabs Servicios de Análisis Ambientales número de alcance del ECA V09 LE-043, según la solicitud CHEM-ID-(1509 1511)-2019.

Nota. Elaboración propia, 2021

## Resultados

A continuación, se presentan y discuten los principales resultados bajo las dos perspectivas de investigación descritas: cualitativas y cuantitativas.

### 1. Resultados cualitativos

El método de sistematización de la práctica permitió hacer la conversión de práctica a teoría. Sistematizar es reproducir conceptualmente la práctica, procesos que quedarían afuera si se tomara únicamente la perspectiva cuantitativa de resultados concretos.

Los diseños y la construcción de cada uno de los Scall tuvieron sus particularidades, en el caso de Nimbu I, fue un módulo con el que se buscaba establecer un laboratorio experimental que generara posibilidades de investigación y extensión a los diferentes académicos que se relacionan con la temática. El Nimbu II al

estar instalado en la isla Caballo, en una comunidad con poca disponibilidad de agua potable para consumo humano, tuvo como objetivo brindar disponibilidad de agua en calidad y cantidad al centro de salud (Ebais). El diseño del Nimbu III en playa Brasilito tuvo la particularidad de contar con el apoyo del acueducto de la comunidad, tanto en logística como en la compra de materiales, así como la experiencia de los dos Scall anteriores, lo que permitió profundizar en los objetivos, mejorar la metodología y planificar con un carácter adicional dirigido a una visión comercial mediante la venta de agua de lluvia potable embotellada.

A continuación, se mencionan las principales experiencias encontradas en la construcción de cada módulo:

Scall Nicoya (Nimbu I). El primer módulo surge como una necesidad de los acueductos comunales (Asadas), Asociación de Desarrollo Integral Comunitario (ADIS), organizaciones no gubernamentales (ONG) y diversos actores sociales interesados en el tema agua, los cuales, en repetidas reuniones para tratar otros temas del agua con los centros de investigación, solicitaban información sobre lluvia potabilizada y cómo se puede establecer en sus comunidades. Esta duda generó la necesidad de desarrollar proyectos en agua de lluvia y es así como inicia la construcción de un módulo de investigación para experimentar las diversas opciones para utilizar el agua de lluvia como agua para consumo humano. Durante la construcción de los tanques de almacenamiento se determinó que estos debían tener cierre hermético, ya que de esta forma se evitaba la entrada de partículas como polvo, insectos o excrementos de animales que pudieran afectar la calidad del agua conservada. Se realizaron adaptaciones a los equipos de purificación para que operaran de la mejor manera, lo que consistió en aplicar suficiente presión a través de bombas de agua de 1 hp (Nimbu I) a  $\frac{1}{2}$  hp (Nimbu II y III) e incluir filtros de carbón activado que permitieran eliminar color y olor en el agua, filtros para acumulación de material en suspensión que se puede convertir en sedimento durante el almacenamiento y la instalación de una lámpara ultravioleta para la desinfección y potabilización del producto final.

En junio de 2015, se obtuvo la autorización y el visto bueno para el financiamiento del Scall Nimbu I, por lo que empezó a la construcción (ver Figura 2) y se tuvieron en cuenta diversas consideraciones en el diseño.

**Figura 2**  
**Construcción módulo Scall en el Campus UNA de Nicoya, llamado Nimbu I**



Imagen propia, 2021.

Construcción módulo Scall en el Campus UNA de Nicoya, llamado Nimbu I, Scall isla Caballo (Nimbu II). Desde el 2015, por invitación del director de la Unidad Pedagógica de isla Caballo a funcionarios del Cemedé, se hace la primera visita a la isla para ir a conocer la realidad hídrica de la comunidad. Al observar el problema se empezó a formular la idea de la construcción de otro Scall, esta idea se formuló como proyecto y se aprobó para financiamiento, por lo que se inició con los diseños.

La generación de este módulo se debió principalmente a solventar un problema relacionado con la mala calidad en las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas subterráneas usadas para consumo humano por los pobladores de la isla Caballo, así como la inexistencia de un acueducto formal en la zona.

Durante las visitas a la isla y conversaciones con diversos pobladores, así como reportes sobre la calidad del agua disponibles para el público, se identificó que la disponibilidad del agua estaba comprometida seriamente, principalmente por contaminantes que afectan su consumo como la intrusión salina, específicamente en los pozos más cercanos a la costa. También se presentaba contaminación por aguas residuales ordinarias originando altas concentraciones de nitratos y bacterias, producto de la construcción de letrinas en sitios que interfieren con las líneas de flujo del agua subterránea y la cercanía a los pozos y presencia de metales tóxicos y aguas duras, que se relacionan probablemente con los procesos de intrusión salina reciente.

En esta zona, la falta de agua potable se agudiza más en la estación seca, por lo que los pobladores de la isla se ven en la necesidad de suplir el agua transportando recipientes en lancha desde comunidades de la costa, donde sí hay agua potable, hasta la isla. No obstante, este servicio implica un costo económico muy alto y se complica cuando se ven afectados por la veda de la pesca, ya que es la principal fuente de empleo e ingreso de dinero en la zona.

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) intenta solventar el problema mediante entregas diarias en la isla de aproximadamente 25 l de agua potable a cada familia (ver Figura 3), lo cual es insuficiente para sus necesidades. Aunado a esto, algunos días el ingreso a la isla no puede llevarse a cabo debido al fuerte viento que limita la navegación por la formación de oleaje fuerte, que aumenta en el periodo de estación lluviosa y todavía más cuando las condiciones climáticas empeoran (temporal o lluvias fuertes).

**Figura 3**

**Agua enviada por AyA desde Puntarenas a los pobladores de la isla Caballo**



Fuente: imagen propia, 2021.

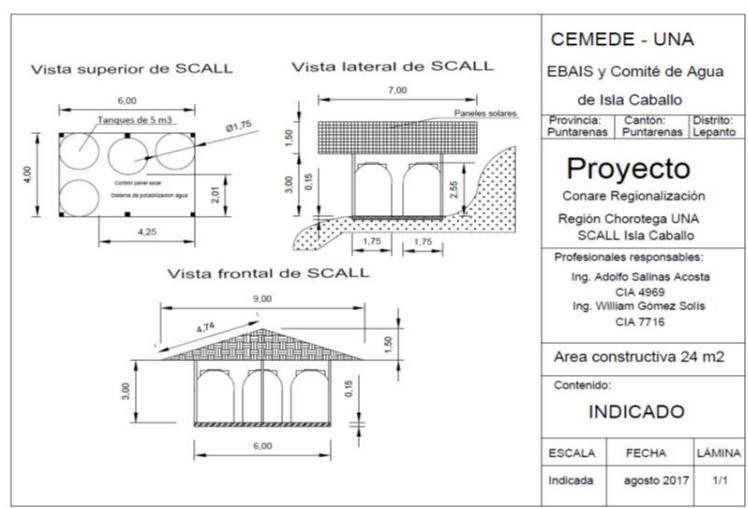
La construcción del módulo *Scall* en isla Caballo representó un gran reto para el equipo de investigadores, debido a que no se tenía experiencia para realizar el transporte de materiales en un área insular, donde todo material o suministros debían enviarse en las pequeñas embarcaciones de los pescadores, coordinando el momento para hacerlo (de acuerdo con los horarios disponibles de las personas colaboradoras) y con un peso límite en cada traslado (máximo de 800 kg por viaje. Además, era necesario gestionar el lugar donde se realizaba el embarque, los cuales fueron desde cuatro puertos cercanos a la isla (Puntarenas, playa Naranjo, playa Blanca y la Estación Nacional de Ciencias Marino-Costeras [Ecmar]

de la UNA ubicada en Chomes), asimismo, se debió considerar el nivel del mar, ya que solo era posible ingresar cuando las mareas eran altas, que hubiera poco viento y sin turbulencia, es decir, que el mar estuviera calmo.

Otra de las realidades que se tuvo que resolver con la construcción del *Scall* de la isla Caballo, fue que no había sistema eléctrico en la comunidad, por lo que se tuvo que adaptar con paneles solares, los cuales alimentan el sistema de bombeo y el sistema de purificación. No obstante, pese a las dificultades que se enfrentaron en cuanto al diseño del modelo este fue mucho más sencillo, debido a que se contaba con la experiencia del Nimbu I, por lo que se logra generar mejores ubicaciones para los tanques, la bomba de impulsión y así poder adaptarlos al sitio donde se ubican, con una zona de captación (área de techos) y la instalación de cuatro tanques de almacenamiento de 5 m<sup>3</sup> cada uno (Figura 4 y Figura 5).

**Figura 4**

**Diseño de Scall de isla Caballo, vista superior, lateral y frontal, además de las dimensiones.**



Fuente: Elaboración propia, 2021.

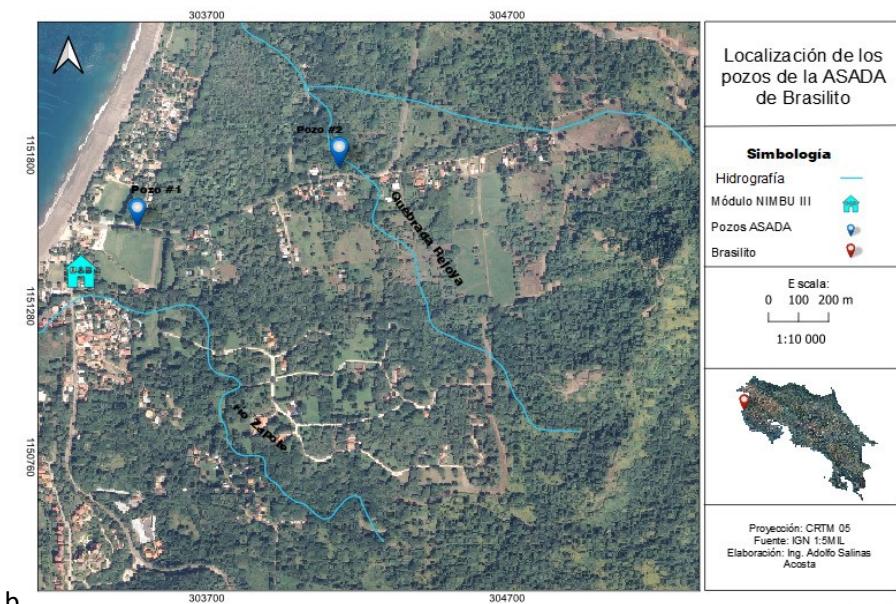
**Figura 5**  
**Inicio de obra de Scall en la isla Caballo**



Fuente: Imagen propia, 2021.

Scall playa Brasilito (Nimbu III). La Asada de playa Brasilito es un acueducto comunal que se maneja por vecinos de la zona. Esta se abastece del recurso hídrico de tres pozos que están muy cerca de la costa dentro del acuífero conocido como Potrero-Brasilito (ver Figura 6), que por su ubicación geográfica y tipo de suelo es de condición de alta vulnerabilidad.

**Figura 6**  
**Localización de los dos pozos de la Asada de Brasilito**



Fuente: Elaboración propia, 2021

En Brasilito para la época seca del 2017 (marzo-abril), se realizaron dos muestreos en los pozos 1 y 2 de la Asada con el objetivo de analizar la posible condición de salinidad en el agua, ya que los usuarios de la Asada percibían el agua salada durante su ingesta. Los resultados de conductividad fueron 1020 us/cm y 533 us/cm respectivamente. La conductividad como posible indicador de intrusión salina (valor de alerta según el decreto 38924-S, 2015, es 400 us/cm). Este es un parámetro que determinó la situación difícil de la Asada durante ese periodo, debido a la sobreexplotación del acuífero, asociado con el turismo de esa época. La situación implica que se dé un bombeo ininterrumpido que definitivamente desequilibra la línea de agua dulce y el agua salada, lo que permite la intrusión del agua marina al acuífero. Debido a estos problemas y al trabajo conjunto entre las comunidades y los centros de investigación es que se lleva a cabo el tercer módulo Scall, contiguo a la oficina de la Asada, con el objetivo de mostrarlo a los pobladores de Brasilito, empresarios, público interesado y otras Asadas, para divulgar y masificar la tecnología, sumado a la posibilidad de explotar el Scall económicamente como una fuente alternativa de ingresos para la Asada.

El Scall de Brasilito se diseñó y se construyó de forma similar al de la isla Caballo, el agua que se recolecta proviene de los techos de la bodega diseñada para la protección de los dos tanques instalados, cada uno de 10 000 l de capacidad de almacenamiento de agua de lluvia, un sistema de potabilización que tiene un filtro para atrapar los materiales en suspensión, un filtro de carbón activado que sirve para regular el olor y el sabor de agua de lluvia y, por último, una lámpara ultravioleta que cumple la función de eliminar bacterias e impurezas que puedan afectar la salud humana (ver Figura 7). El objetivo con este Nimbu III fue comercializar el agua de lluvia purificada para dar un salto en el aspecto económico que ayude a consolidar el Scall en la Asada de la comunidad de playa Brasilito y a la vez que sirva como modelo alternativo para minimizar la presión de extracción de agua al acuífero Potrero-Brasilito.

**Figura 7**

**En construcción del Scall de Asada de Brasilito, instalando el sistema de bombeo que dará presión**



Fuente: Imagen propia, 2021.

## **2. Resultados cuantitativos**

La segunda visión metodológica de los resultados se llevó a cabo mediante una perspectiva cuantitativa que permite el análisis y la discusión de resultados concretos sobre datos numéricos, recursos financieros y los análisis fisicoquímicos y microbiológicos que determinan la calidad del agua.

El análisis sobre la inversión financiera para el diseño y la construcción de los tres módulos Nimbu es un insumo importante si se desea replicar esta experiencia dentro del país o en la región. En la Tabla 2 se muestran los costos en dólares de cada uno de los sistemas, tanto de mano de obra como de materiales y de equipo tecnológico. Se observa que el sistema con mayor costo fue el instalado en Nicoya, lo que se relaciona con el equipo de purificación, el cual es para uso intensivo o de mayor volumen a producir. Aunque era de esperar que el sistema de isla Caballo resultara ser el más costoso, su valor disminuyó al implementar un equipo de purificación de escala familiar. El sistema de menor costo fue el de playa Brasilito, esto se debió a la participación de la Asada en los procesos de logística y de construcción, además de las facilidades de acceso y de planificación con los grupos organizados de la zona.

**Tabla 2**  
**Costo en dólares, aproximado de cada Scall realizado**

Módulo Scall	Obra gris	Canoas y techos	Tanques	Mano de obra	Sistema de potabilización	Total
UNA SRCH Nicoya Nimbu I	5600	1000	1500	6000	4000	18100
Ebais isla Caballo Nimbu II	4800	800	2000	4000	1200	12800
Asada Playa Brasilito Nimbu III	3300	700	1800	3000	1200	10000

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia. El otro aspecto evaluado en el proceso de investigación cuantitativa fue la condición de la calidad del agua almacenada en los Scall, la cual se determinó a través de los análisis del Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3 realizados en el agua de lluvia, antes y después de los tratamientos y toma en cuenta lo establecido el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto 38924-S, 2015, Artículo 8).

**Tabla 3**  
**Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos (N1, N2 y N3) en agua de lluvia almacenada sin tratamiento en los Scall de playa Brasilito (2019), isla Caballo (2019) y Campus Nicoya (2017).**

Parámetro	Scall Brasilito (2019)	Scall isla Caballo (2019)	Scall SRCH Nicoya (2017)	Reglamento para la Calidad del Agua Potable (n.º 38924-S) valor máximo admisible (VMA)
Turbidez (NTU)	0,21	0,11	0,16	5
Olor	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
PH	6,330	6,9	6,01	6 – 8
Color (U-Pt-Co)	<5	<2	7	15
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	12,5	13,1	17,29	400
Cloro residual libre (mg/l)	ND	<0.02	ND	0,3 a 1,0

Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	>1100	15	10	No detectable
Escherichia coli (NMP/100 ml)	<1,1	1100	31	No detectable
Aluminio (mg/l)	0,049	18,4	<0,01	0,2
Calcio (mg/l)	0,65	1,2	0,98	100
Cloruros (mg/l)	1,4	2,68	0,6	250
Cobre (mg/l)	<0,033	ND	<0,05	2,0
Dureza total (mg/l)CaCO <sub>3</sub>	20,00	5,89	0,34	400
Fluoruros (mg/l)	0,01	ND	<0,02	0,7 - 1,5
Hierro (mg/l)	0,027	D	<0,04	0,3
Magnesio (mg/l)	0,2	0,49	<0,07	50
Manganoso (mg/l)	0,003	7,86	3 ± 0,09	0,5
Potasio (mg/l)	0,68	< 0,56	<0,02	10
Sodio (mg/l)	0,59	3,3	<0,04	200
Sulfatos (mg/l)	<0,01	3,74	0,123	250
Zinc (mg/l)	0,391	0,44	<0,07	3,0
Amonio (mg/l)	0,08	D	0,098	0,5
Antimonio (mg/l)	ND	ND	<0,004	0,005
Arsénico (mg/l)	ND	ND	<0,002	0,01
Cadmio (mg/l)	ND	4,7	<0,0008	0,003
Cianuro (mg/l)	ND	ND	<0,003	0,07
Cromo (mg/l)	ND	ND	<0,002	0,05
Mercurio (mg/l)	ND	<0,11	<0,001	0,001
Níquel (mg/l)	ND	D	<0,006	0,02
Nitratos (mg/l)	0,99	5,41	<0,2	50
Nitritos (mg/l)	0,002	D	<0,1	0,1
Selenio (mg/l)	ND	ND	<0,006	0,01
Plomo (mg/l)	ND	5,9	<0,001	0,01

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Según la Tabla 3, en todos los casos el agua de lluvia almacenada sin tratamiento en los Scall muestra valores de pH y conductividad que se mantienen en el rango permitido para consumo humano. Las conductividades evidencian un bajo contenido en sales, asociado con los iones en concentraciones mayoritarias que definen el tipo hidroquímico del agua de lluvia recolectada. La hidroquímica del agua en el Scall Nicoya es bicarbonatada cálcica magnésica, mientras que el agua de lluvia recolectada en los otros

dos Scall, con mayor influencia del aerosol marino, presenta un tipo de agua clorurada sódica (Custodio y Llamas, 2001). Los valores indican que, en su mayoría, las concentraciones están por debajo de los límites de cuantificación de los métodos usados en los laboratorios químicos, cumpliendo con los límites máximos establecidos en el Reglamento de Calidad del Agua Potable (n.º 38924-S), a excepción de las aguas de lluvia del Scall de isla Caballo, que presentan concentraciones de Mn, Pb, Cd y Al superiores al límite permitido por el reglamento, por lo que utilizar esta agua para consumo humano sin tratamiento implicaría un riesgo importante para la salud humana.

El uso de materiales contaminados con metales tóxicos en el sistema de captación, por ejemplo, el uso de láminas de zinc oxidadas o antiguas recubiertas con pintura a base de plomo puede implicar un aumento en la concentración de este metal tóxico, lo que provoca efectos adversos en la salud de las personas que hagan uso del agua almacenada. Aunque el contenido de plomo en pintura está regulado para Costa Rica (600 ppm) (Brooks, 2016), la pintura a base de plomo todavía está presente en muchos hogares, a veces debajo de capas de pintura más reciente. El problema principal se encuentra en el deterioro de la pintura a base de plomo (desprendimiento, rotura, pulverización, agrietamiento y humedad) por la liberación de partículas contaminantes (EPA, 2017).

En todos los Scall, la calidad microbiológica del agua sin tratamiento sobrepasa los límites establecidos en el Reglamento de Calidad del Agua Potable (n.º 38924-S), lo que convierte esta agua almacenada en no potable. La captación del agua de lluvia es una de las fases más importantes en todo el proceso, ya que el origen de microorganismos como coliformes fecales y E. coli determinados en el agua almacenada sin tratamiento puede estar relacionado con focos de suciedad en los techos (Pacheco, Pat y Cabrera, 2002). Los valores pequeños de turbiedad reportados pueden relacionarse con el arrastre de residuos orgánicos y microorganismos desde los techos y las tuberías (ver Tabla 3).

En cuanto a las concentraciones de nutrientes en agua, el amonio presenta bajas concentraciones que no sobrepasan los niveles máximos admisibles, según el reglamento, pero posiblemente su presencia se relaciona con el tiempo de almacenamiento o estancamiento del agua. Por lo tanto, su origen puede deberse a procesos fisicoquímicos que ocurren con el N<sub>2</sub> en la atmósfera o las condiciones de suciedad en las captaciones de la lluvia (Pacheco et al., 2002).

La fase de filtración de los Scall en isla Caballo y Brasilito, está compuesta por un filtro de poliéster de 30 micras que permite la retención de suciedad. Además, es reutilizable, lo que admite extender el periodo entre cambios o limpieza. Este tipo de filtro facilita la eliminación de partículas sólidas en suspensión responsables de la turbiedad en el agua, constituye un tratamiento primario que antecede al proceso de

desinfección. Sin embargo, es necesario hacer lavados como parte del mantenimiento, de lo contrario puede disminuir su vida útil y permitir la acumulación de suciedad en el sistema.

La desinfección del sistema se lleva a cabo a través de una lámpara ultravioleta, la cual trae incluida en el módulo un filtro de sedimentos y otro de carbón. Estos filtros permiten la reducción de olor, color y partículas que todavía se encuentren en el agua. El uso de la lámpara ultravioleta permite una desinfección natural sin afectar el sabor u olor del agua.

A continuación, se presentan los resultados de la calidad de agua con tratamiento de filtración y desinfección en los tres casos de estudio, según los análisis del Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3, del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (n.º 38924-S).

**Tabla 4**  
**Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos (N1, N2 y N3) en agua de lluvia con tratamiento en los Scall de playa Brasilito (2019), isla Caballo (2019) y Campus Nicoya (2017).**

Parámetro	Scall playa Brasilito (2019)	Scall isla Caballos (2019)	Scall SRCH Nicoya (2017)	Reglamento para la Calidad del Agua Potable (n.º 38924-S) valor máximo admisible (VMA)
Turbidez UNT	<0,055	0,29	0,1	5
Olor	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
PH	7,550	7,1	6,85	6 – 8
Color (U-Pt-Co)	<5	<0,2	<2	15
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	17,60	43	158,3	400
Cloro residual libre (mg/l)	ND	<0,02	ND	0,3 a 1,0
Coliformes Fecales	<1,1	<1,1	<1,0	No detectable
Escherichia coli	<1,1	<1,1	<1,0	No detectable
Aluminio (mg/l)	<0,017	22,1	<0,01	0,2
Calcio (mg/l)	0,140	2,09	11	100
Cloruros (mg/l)	1,2	8,49	7,3	250
Cobre (mg/l)	<0,033	ND	<0,05	2,0
Dureza total (mg/l)CaCO <sub>3</sub>	1,0	7,85	0,34	400
Fluoruros (mg/l)	0,34	ND	3,6	0,7 - 1,5
Hierro (mg/l)	0,008	12,3	<0,04	0,3
Magnesio (mg/l)	0,07	0,56	11,1	50

Manganoso (mg/l)	<0,001	7,51	43	0,5
Potasio (mg/l)	0,500	0,7	0,07	10
Sodio (mg/l)	2,58	3,56	<0,04	200
Sulfatos (mg/l)	<0,01	4,67	3,8	250
Zinc (mg/l)	<0,019	0,33	<0,07	3,0
Amonio (mg/l)	0,050	ND	0,22	0,5
Antimonio (mg/l)	ND	D	<0,004	0,005
Arsénico (mg/l)	ND	ND	<0,002	0,01
Cadmio (mg/l)	ND	ND	<0,0008	0,003
Cianuro (mg/l)	ND	ND	<0,003	0,07
Cromo (mg/l)	ND	Nd	<0,002	0,05
Mercurio (mg/l)	ND	<0,11	<0,001	0,001
Níquel (mg/l)	ND	< 3,2	<0,006	0,02
Nitratos (mg/l)	0,89	4,57	<0,2	50
Nitritos (mg/l)	0,003	D	<0,1	0,1
Selenio (mg/l)	ND	Nd	<0,006	0,01
Plomo (mg/l)	ND	Nd	<0,001	0,01

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El agua tratada a través del módulo de cloración, purificación con filtros, carbón activado y lámpara ultravioleta de los Scall presenta un leve aumento en los valores de conductividad eléctrica (ver Tabla 4), asociadas en las concentraciones de los iones de calcio, sodio, cloruro, magnesio, potasio y la dureza total, que se relacionan principalmente con la presencia de rocas grava en los filtros, cuyos minerales se desplazan débilmente a través de procesos modificadores en el agua como adsorción, intercambios iónicos, disolución, entre otros (Custodio y Lamas, 2001). Además, según las turbiedades registradas en la Tabla 4 el módulo de tratamiento del Scall contribuye con la aclaración del agua por medio del paso por el carbón activado, el cual realiza la función de absorber partículas en suspensión.

La eficiencia del módulo de tratamiento de los Scall pudo demostrarse a través de los resultados de los análisis de coliformes fecales y E.coli realizados en el agua almacenada. La calidad microbiológica que adquiere el agua de lluvia después del módulo de tratamiento del Scall cumple con las condiciones especificadas según el nivel 1 del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (n.º 38924-S) y, por lo tanto, en los tres módulos el agua de lluvia puede utilizarse para el consumo humano.

Durante el periodo de almacenamiento se puede considerar el recirculado periódico del agua con cloración a través de los tanques, esto puede evitar la formación de algas y el crecimiento de

microorganismos. Además, una limpieza interna y general de los tanques al menos cada 2 años puede contribuir con eliminar los sedimentos y materia orgánica que se acumula en su fondo. El cambio de al menos un sistema de filtros de retención de partículas o sedimentos, filtros de carbón activado y lámpara ultravioleta una vez al año, permite que el Scall pueda funcionar de manera óptima y se asegure la calidad de agua en concordancia con la legislación nacional vigente.

## Conclusiones

Al comparar los tres sistemas de captación de agua de lluvia se estimó que estos pueden dimensionarse a una escala mayor adaptándose a las necesidades de cada comunidad, institución o población, al seguir los análisis desarrollados por la sistematización de experiencias. Por ejemplo, se determinó que pese a la poca precipitación que se presenta en la zona, al abarcar un promedio de 6 meses de la estación lluviosa permite generar una gran capacidad de almacenamiento que puede utilizarse para el consumo humano, siempre y cuando se haga un proceso de potabilización adecuado como los que se utilizan en este trabajo. Los componentes del Scall expuestos a contaminantes externos son principalmente la captación y el almacenamiento, por esto, la limpieza y el mantenimiento de los Scall son primordiales para garantizar la eficacia del tratamiento. El proceso de filtración y desinfección del agua captada garantiza una buena calidad fisicoquímica y microbiológica, lo que permite su uso para consumo.

Es necesario el análisis de la calidad del agua de lluvia antes y después del tratamiento, esto permite conocer las características del agua de consumo, verificar el buen funcionamiento del sistema de tratamiento y estimar los períodos de mantenimiento o cambio de los filtros para asegurar la calidad en el tiempo. Aunado a lo anterior, se debe asegurar un manejo adecuado del sistema de captación, ya que esto es crucial en la calidad microbiológica del agua recolectada y contribuye con la eficiencia del tratamiento.

El agua del Scall captada y no tratada, representa una calidad que permite cubrir otras necesidades, como el riego de cultivos y jardines, la limpieza de baños y servicios sanitarios, lavado del carro, entre otros usos, pero no se recomienda para consumo humano.

Los espacios de capacitación y sensibilización sobre el uso de estas metodologías son necesarios para que más personas puedan tener alternativas de acceso a agua limpia para consumo humano u otros usos. Lo anterior puede contribuir con que se disminuya la presión sobre la extracción de agua desde fuentes subterráneas, mitigando su sobreexplotación y contaminación por intrusión salina en zonas costeras.

## Referencias

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2017, 19 de enero). Proteja a su familia de la exposición al plomo. <https://espanol.epa.gov/espanol/proteja-su-familia-de-la-exposicion-al-plomo>
- American Public Health Association APHA. (2012). *Standard Methods for Examination for Water and Wastewater. Collection and preservation of samples 1060*. New York: American Water Works Association, Water Pollution Control Federation.
- Anaya, M.; Pérez, A.; López, N.; Miranda, M.; López, R. y Fuentes, M. (2020). Aguas atmosféricas, fuentes alternativas para diversos usos en Iberoamérica. Texcoco, México: Colegio de Postgraduados Carretera Federal México. <http://www.captaciondelluvia.org/wp-content/uploads/2021/03/Aprovechamiento-de-las-aguas-atmosf%C3%A9ricas-como-fuentes-alternas.pdf>
- Basán, N. M.; Sánchez, L.; Tosolini, R.; Tejerina, D. F. y Jordan, P. (2018). Sistemas de Captación de Agua de Lluvia para Consumo Humano, Sinónimo de Agua Segura. *Aqua-LAC*, 10(1), 15-25. [<https://aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC>
- Brooks, D. (2016, 13 de julio). Los países de América Latina donde todavía se vende pintura con plomo tóxico. BBC Mundo. <http://www.bbc.com/mundo/noticias-36679728>
- Custodio, E. y Llamas, M. R. (2001). *Hidrología subterránea* (2.a edición). Barcelona: Ed. Omega, S. A.
- Echeverría, B. J. (2011). *Informe Final. Evaluación de la Vulnerabilidad Futura del Sistema Hídrico al Cambio Climático*. Proyecto 61152. San José, Costa Rica: Programa de las Naciones Unidas para El Desarrollo-Instituto Meteorológico Nacional.
- FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Roma.
- Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN). (2021). Atlas climatológico de Costa Rica. <https://www.imn.ac.cr/atlas-climatologico>
- Jara, O. (2018). *La sistematización de experiencias: práctica y teoría para otros mundos políticos Centro Internacional de Educación y Desarrollo Humano-CINDE* (1.a edición). Colombia.
- Jodar, A.; Ruiz, M. y Melgarejo, J. (2018). Evaluación del impacto del cambio climático sobre una cuenca hidrológica en régimen natural (SE, España) usando un modelo SWAT. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 35(3), 240-253. [ <http://www.rmcg.unam.mx/index.php/rmcg> ]
- Lancaster, B. (2009). *Rainwater harvesting for drylands and beyond*, volumen I. Arizona, USA: Rainsource Press.
- Pacheco, Á. J.; Pat, C. R. y Cabrera, S. A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*, 6(3), 73-81. <https://www.revistaingenieria.unam.mx/es/>

- Pizarro, R. (2015). *Manual de diseño y construcción de diseños de captación de aguas lluvias en zonas rurales de Chile*. Programa Hidrológico Internacional de la Unesco para América Latina y el Caribe.
- Quirós, J. (1999). *Diccionario español-chorotega, chorotega-español* (1.a edición). San José: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Sistema Costarricense de Información Jurídica. (2018). Reglamento para la Calidad del Agua Potable N38924-S. Recuperado de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=80047](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=80047)
- Suárez-Serrano, A.; Baldioceda-Garro, A.; Durán-Sanabria, G.; Rojas-Conejo, J.; Rojas-Castillo, D. y Guillén-Watson, A. (2019). Seguridad hídrica: Gestión del agua en comunidades rurales del Pacífico Norte de Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(2), 25-46. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales>

### Agradecimientos

*Un agradecimiento especial a la Vicerrectoría de Extensión de la UNA, por impulsar este tipo de proyecto, con su aporte financiero, al Comité de Agua, la Asociación de Desarrollo de isla Caballo y la Asada de playa Brasilito, por su apoyo incondicional en los Nimbus II y III, también a la FAO por la donación de los dos tanques de agua para el Scall de la isla Caballo.*