

# Agricolae & Habitat

Revista de Investigación Formativa  
Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

VOLUMEN 5 - NÚMERO 1 - 2022



Universidad Nacional  
Abierta y a Distancia



ACREDITADA  
EN ALTA CALIDAD



ECAPMA

Escuela de Ciencias  
Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente



# Agriculturae & Habitat

Revista de Investigación Formativa  
Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA.

Volumen 5 – Número 1 - 2022

e-ISSN: 2665 - 3176



## Revista Agricolae & Habitat

Volumen 5 – Número 1 - 2022 – e-ISSN: 2665 – 3176

### CUERPO DIRECTIVO

**JAIME ALBERTO LEAL AFANADOR**  
Rector UNAD

**CONSTANZA ABADÍA GARCÍA**  
Vicerrector Académica y de  
Investigación

**EDGAR GUILLERMO RODRÍGUEZ**  
Vicerrector de Servicios a Aspirantes,  
Estudiantes y Egresados

**LEONARDO YUNDA PERLAZA**  
Vicerrector de Medios y Mediaciones  
Pedagógicas

**JULIA ALBA ANGEL OSORIO**  
Vicerrector de Desarrollo Regional  
y Proyección Comunitaria

**LEONARDO EVEMELETH SANCHEZ  
TORRES**  
Vicerrector de Relaciones  
Internacionales

**JORDANO SALAMANCA  
BASTIDAS**  
Decano Escuela de Ciencias Agrícolas,  
Pecuarias y del Medio Ambiente

**JUAN SEBASTIÁN CHIRIVÍ  
SALOMÓN**  
Líder Nacional de Investigación

**YOLVI PRADA**  
Líder Nacional de Investigación  
Escuela de Ciencias Agrícolas,  
Pecuarias y del Medio Ambiente

### EDITORES

**GERARDO OJEDA**  
Escuela de Ciencias Agrícolas,  
Pecuarias y del Medio Ambiente

**MARGARITA BONILLA**  
Escuela de Ciencias Agrícolas,  
Pecuarias y del Medio Ambiente

### EDITORES DE SECCION

#### *Cadena Agrícola*

**SANDRA PATRICIA MONTENEGRO**

**CRISTINA MENDOZA FORERO**

**JORGE ARMANDO FONSECA**

#### *Cadena Agroforestal*

**GRACIELA GARZÓN MARÍN**

**SHIRLEY ANDREA RODRÍGUEZ ESPINO-  
SA**

#### *Cadena Ambiental*

**DENISSE VIVIANA CORTES  
CASTILLO**

**SONIA ESPERANZA RUIZ BALAGUERA**

#### *Cadena Pecuaria*

**JULIÁN CASTILLO VARGAS**

**EDWIN PÁEZ BARÓN**

**VIVIANA VILLAMIL REYES**

**HELENA ESPITIA MANRIQUE**

### CORRECTOR DE ESTILO

**HERNANDO PERDOMO**

### DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

**ANA MARÍA SALAMANCA V.**

#### Revista Agricolae & Habitat

Escuela de Ciencias Agrícolas,  
Pecuarias y del Medio Ambiente

Universidad Nacional Abierta  
y a Distancia

Calle 14 Sur N. 14-23  
Bogotá,

Teléfonos: (571) 344 3700 ext. 1529  
e-mail: revista.agricolae@unad.edu.co

Los artículos pueden consultarse  
en su versión electrónica en:

[https://hemeroteca.unad.edu.co/  
index.php/agricolae/issue/archive](https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/agricolae/issue/archive)

# DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD

Los nombres y las direcciones de correo electrónico introducido en esta revista se usarán exclusivamente para los fines establecidos en ella y no se proporcionarán a terceros o para su uso con otros fines

Este documento contiene la política de Privacidad y Condiciones de Uso del Portal Institucional de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, institución de educación superior colombiana creada por el Congreso de la República mediante Ley 52 de 1981, con el fin de proteger los derechos de los usuarios del portal web institucional, haciendo parte de los documentos Manual de imagen digital de la UNAD y Guía para la publicación de información en el portal institucional y en la intranet, documentos soporte de nuestro sistema de Gestión de Calidad.

La política de privada de la UNAD, detalla la forma como salvaguardamos y utilizamos la información que obtenemos a través de los servicios, trámites e información disponible en nuestro portal web institucional. En este sentido, es importante que antes de iniciar la exploración del portal, el usuario lea previa y cuidadosamente esta política de privacidad y condiciones de uso sobre qué información guardamos y cómo la utilizamos.

La información del portal institucional, contenidos y servicios divulgados son de conocimiento público, por tanto, la aceptación de esta política de privacidad, es condición necesaria para que el usuario navegue nuestro portal.

Para más información, por favor consulte aquí:

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/agricolae/about>

# ÍNDICE

**Presentación** 5

## Área Ambiental

- 1. ANÁLISIS DE LA REDUCCIÓN DE PERDIDAS COMERCIALES EN EMPRESAS PRESTADORAS DE SERVICIO DE ACUEDUCTO**  
ANALYSIS OF THE REDUCING COMMERCIAL LOSSES IN SERVICE LENDERS COMPANIES OF AQUEDUCT  
Jhon Jairo Solarte Bejarano, Héctor Andrés Hernández 7
- 2. ESTRATEGIAS PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE PRECIPITACIONES EN LA VEREDA LAS PALMAS DEL MUNICIPIO DE TUNJA, BOYACÁ**  
STRATEGIES FOR THE ADAPTATION OF A RAINFALL CAPTURE SYSTEM IN THE VILLAGE OF LAS PALMAS IN THE MUNICIPALITY OF TUNJA, BOYACÁ  
Manuel Torres Torres, Luis Fernando Escarraga Pachón, Mónica Jovanna Patiño Pacheco 39

## Área Agrícola

- 3. FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO EN CAÑA DE AZÚCAR: UNA ALTERNATIVA A GASES NITROGENADOS EFECTO INVERNADERO**  
BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION IN SUGAR CANE CROP: AN ALTERNATIVE TO NITROGEN GASES FOR GREENHOUSE EFFECT  
Sandra Patricia Montenegro Gómez, Sandra Yamilé Pulido Pulido, Jonatan Mina 59

# PRESENTACIÓN

## Estimados lectores

Presentamos aquí diversos artículos, fruto de la colaboración entre docentes, estudiantes y exalumnos de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Se trata de artículos relacionados con las diferentes cadenas de la Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA: Agrícola, Agroforestal, Ambiental y Pecuaria.

Todos estos artículos representan el trabajo científico y académico Unadista, con la firme convicción de seguir adelante con la labor investigativa de acceso abierto y gratuito.

Saludos cordiales

Gerardo Ojeda  
Margarita Bonilla O.





Fecha de recibido: 22-06-2021  
Fecha de aceptado: 11-02-2022



## ANÁLISIS DE LA REDUCCIÓN DE PERDIDAS COMERCIALES EN EMPRESAS PRESTADORAS DE SERVICIO DE ACUEDUCTO

## ANALYSIS OF THE REDUCING COMMERCIAL LOSSES IN SERVICE LENDERS COMPANIES OF AQUEDUCT

Jhon Jairo Solarte Bejarano

Estudiante de la Especialización de Gerencia de Proyectos, UNICATOLICA

<https://orcid.org/0000-0002-3056-7898>

[jjsolarteb@unal.edu.co](mailto:jjsolarteb@unal.edu.co)

Héctor Andrés Hernández

Docente Maestría en Gerencia de Proyectos, UNAD

<https://orcid.org/0000-0002-8925-3009>

[Hector.hernandez@unad.edu.co](mailto:Hector.hernandez@unad.edu.co)

Citación: Solarte, J. y Hernández, H. (2022). Análisis de la reducción de pérdidas comerciales en empresas prestadoras de servicio de acueducto.

*Agricolae & Habitat*, 5(1), 7 - 37. <https://doi.org/10.22490/26653176.4834>

# RESUMEN

**Contextualización:** La reducción de las pérdidas comerciales se ha convertido en un reto para las Empresas de Servicio Público (ESP) de acueducto. Estas pérdidas son un componente clave del agua no facturada (ANF). El volumen global del ANF es de 126 billones de metros cúbicos por año, representando pérdidas de USD 39 mil millones por año. Las pérdidas comerciales son las pérdidas de agua no físicas que, por temas no controlados por las empresas como los fraudes clandestinos y la inexactitud de la medición, no se logran facturar unos volúmenes de agua producidos y consumidos por los clientes. Estas pérdidas no son calculadas con precisión por las ESP, utilizando valores predeterminados o reglas empíricas, lo que incluye un grado de error en la cantidad de consumo de los clientes.

**Vacío de conocimiento:** Con este artículo, se pretende aportar al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico como a los diferentes entes reguladores, una metodología que permita cuantificar y analizar las pérdidas comerciales en las EPS de acueducto, con el fin de seleccionar la estrategia más adecuada para la reducción de estas pérdidas.

**Propósito:** El objetivo de este estudio se enfoca en analizar cada uno de los factores o causas de las pérdidas comerciales,

además, las estrategias o métodos utilizados por diferentes autores para la reducción de estas pérdidas, desde el contexto internacional y nacional.

**Metodología:** Para ello, se elaboró un estado del arte utilizando fuentes primarias y secundarias como estudios y artículos de investigación publicados a un año superior del 2011 en revistas indexadas relacionados con las estrategias o métodos utilizados por diferentes autores para reducir las pérdidas comerciales.

**Resultados y conclusiones:** Los resultados presentados, se evidencia el valor excesivo de agua no facturada en términos de volumen a nivel global. En el contexto internacional, se encontraron estudios que muestran métodos para la cuantificación de las pérdidas comerciales y estrategias para la reducción de estas. No obstante, en Colombia no se evidencian estudios de cuantificación de las pérdidas comerciales siendo una limitante para seleccionar la estrategia apropiada para el factor que contribuye a estas pérdidas. Este mismo problema se presenta con mayor fuerza en los países en desarrollo.

**Palabras clave:** acueducto; agua no facturada; medición del agua; pérdidas de agua.

# ABSTRACT

**Contextualization:** Reducing commercial losses has become a challenge for Aqueduct Public Service Companies (APSC). These losses are a key component of non-revenue water (NRW). The overall volume of NRW is 126 billion cubic meters per year, representing losses of USD 39 billion per year. Commercial losses are non-physical water losses that, due to issues not controlled by the companies such as clandestine fraud and inaccurate metering, fail to bill for volumes of water produced and consumed by customers. These losses are not calculated accurately by the APSC, using predetermined values or empirical rules, which includes a degree of error in the amount of consumption by customers.

**Knowledge gap:** The purpose of this article is to provide the Potable Water and Basic Sanitation Sector and the different regulatory entities with a methodology to quantify and analyse commercial losses in the water supply APSC, in order to select the most appropriate strategy for the reduction of these losses.

**Purpose:** The objective of this study focuses on analysing each of the factors or causes of commercial losses, as well as

the strategies or methods used by different authors for the reduction of these losses, from the international and national context.

**Methodology:** For this purpose, a state of the art was elaborated using primary and secondary sources such as studies and research articles published a year ahead of 2011 in indexed journals related to the strategies or methods used by different authors to reduce commercial losses.

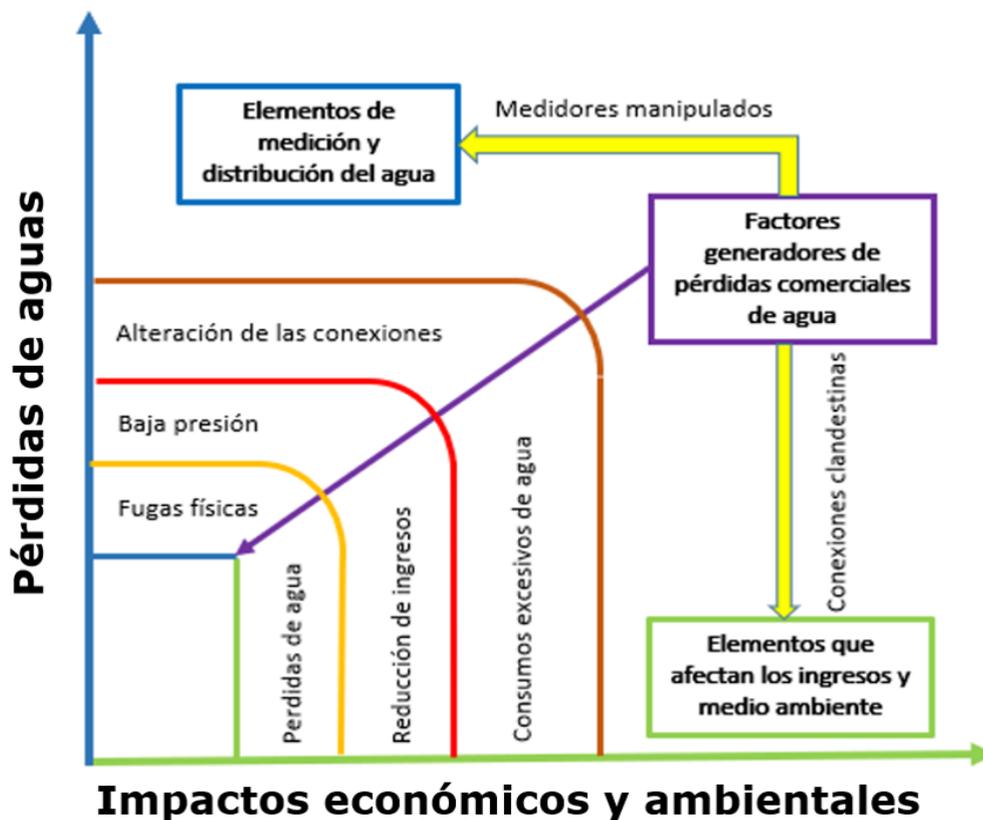
**Results and conclusions:** The results presented show the excessive value of non-revenue water in terms of volume worldwide. In the international context, studies were found that show methods for quantifying commercial losses and strategies for their reduction. However, in Colombia there is no evidence of studies on the quantification of commercial losses, which is a limitation for selecting the appropriate strategy for the factor contributing to these losses. This same problem is more frequent in developing countries.

**Keywords:** aqueduct; non-revenue water; water metering; water losses.

# RESUMEN GRÁFICO

Como resultado del análisis de la reducción de pérdidas comerciales en empresas prestadoras de servicio de acueducto, la figura 1 representa la relación que existe entre las variables.

► **Figura 1.** Análisis gráfico de la construcción de vías terrestres e impactos ambientales



**Nota:** Figura sobre análisis de pérdidas de aguas e impactos económicos y ambientales.

**Fuente:** Autores.

# 1. INTRODUCCIÓN

El reto de las empresas prestadoras del servicio (ESP) de acueducto a nivel global se centra en las pérdidas de agua. Lo cual, trae grandes impactos económicos y ambientales. Es por esto que las agencias reguladoras han buscado establecer objetivos de desempeño para las empresas de agua, con el fin de reducir el desperdicio de recursos naturales y lograr un mejor desempeño en la gestión (Silva et al., 2016).

Las pérdidas de agua en las ESP de acueducto son un componente del agua no facturada (ANF) y se dividen en dos grupos: pérdidas reales o técnicas y pérdidas aparentes o comerciales. Las pérdidas reales comprenden fugas físicas en tuberías, conexiones de servicio o depósitos, así como otras pérdidas que se producen durante grandes explosiones de tuberías de corta duración (Arregui et al., 2018). Las pérdidas comerciales provienen de aquellos factores que inciden directa o indirectamente para que un volumen de agua no sea contabilizado y por ende no se le facture al usuario. En otras palabras, las pérdidas reales suelen ser más importantes en términos de volumen y las pérdidas comerciales se relaciona en términos de costo para la empresa.

Las pérdidas comerciales representan alrededor del 20% de las pérdidas totales

de agua (Rimeika y Albrektienė, 2017), otros estudios indican que pueden ser hasta el 30% (Arregui et al., 2018). Éstas figuran una pérdida directa de ingresos para la empresa prestadora de acueducto (Kingsley et al., 2017). Por ejemplo, en Lituania solo siete empresas de agua en ese país tienen una facturación anual superior a los 4 millones de euros, mientras que las otras, alrededor de 50 empresas, son financieramente débiles (Rimeika y Albrektienė, 2017). Sin embargo, este problema es más pronunciado en las ESP de acueducto de los países en desarrollo, pues se pierden unos 3.000 millones de dólares anuales de ingresos (Mutikanga et al., 2011).

Por lo anterior, el presente artículo tiene como objetivo, analizar cada uno de los factores o causas de las pérdidas comerciales, además, las estrategias o métodos utilizados por diferentes autores para la reducción de estas pérdidas, desde el contexto internacional y nacional. Desde el punto de vista metodológico, se elaboró un estado del arte utilizando fuentes primarias y secundarias como estudios y artículos de investigación publicados en revistas indexadas relacionados con el tema de investigación.



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente artículo es de carácter formativo El presente artículo es de carácter formativo con un enfoque cualitativo, dado que implicó el rastreo, organización, sistematización y análisis de un conjunto de estudios y artículos de investigación escritos por autores con rigor científico y académico. Se logró analizar, en un contexto internacional y nacional, qué estrategias o métodos utilizan estos autores para reducir las pérdidas comerciales, debido a que estas tienen implicaciones financieras en las ESP de acueducto.

Las bases de datos utilizadas para la búsqueda de la información fueron: 1Findr, Scielo.org, Redalyc.org, Science direct, Google Académico, entre otros.

Como estrategia de búsqueda, se creó una base de datos en Excel, con los siguientes campos: motor de búsqueda, palabras utilizadas, títulos de artículos científicos, autor/ autores, año, revista.

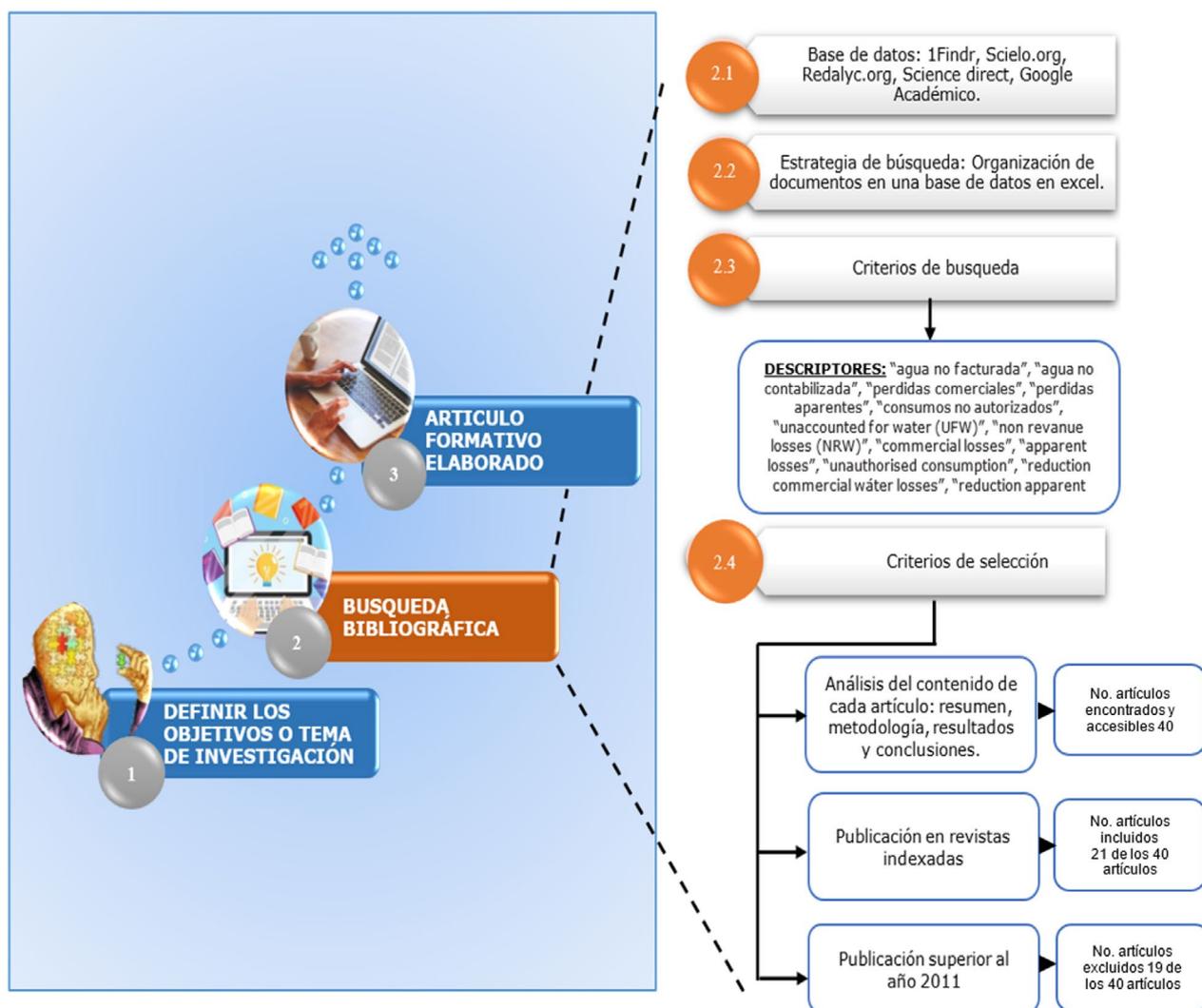
Una vez seleccionada las bases de datos, se eligieron los descriptores o palabras clave. Como criterios de búsqueda, se incluyeron los siguientes descriptores: “agua no facturada”, “agua no contabilizada”, “perdidas comerciales”, “perdidas aparentes”, “consumos no autoriza-

dos”, “unaccounted for water (UFW)”, “non revenue losses (NRW)”, “commercial losses”, “apparent losses”, “unauthorised consumption”, “reduction commercial wáter losses”, “reduction apparent wáter losses”.

Posteriormente, se preseleccionaron cuarenta (40) artículos. Finalmente se analizó el resumen, metodología, resultados y conclusiones de cada artículo que hacía alusión a los núcleos temáticos de la investigación. Además, se priorizaron sobre aquellos artículos que se encontraban publicados en revistas indexadas y a un año superior del 2011. Como resultado se seleccionaron veintiún (21) artículos. Los diecinueve (19) artículos se excluyeron porque cumplieron su caducidad para el análisis de la medición de las pérdidas comerciales, además, de los mecanismos empleados de ese entonces a hoy, han tenido una evolución por uso de nuevas herramientas tecnológicas que contribuyen al análisis de las fuentes bibliográficas consultas y tenidas en cuenta para este estudio.

A continuación, en la figura 2 se indica el proceso de la metodología aplicada en construcción del artículo.

► **Figura 2.** Proceso de la metodología aplicada en la construcción del artículo



**Nota:** Metodología aplicada para el análisis de pérdidas de aguas.

**Fuente:** autores.



## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Las pérdidas de agua. Un Problema Global

Según el estudio técnico titulado “Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures” publicado por la Asociación Internacional del Agua (IWA, por su sigla en inglés) el agua no facturada es la diferencia entre el agua que ingresa al sistema y el consumo autorizado facturado (Lambert & Hirner, 2000). Los componentes del agua no facturada son: consumo autorizado no facturado (normalmente un componente menor del balance hídrico) y las pérdidas de agua (Farok, 2017).

Las pérdidas de agua se dividen en dos grupos: pérdidas reales o técnicas y pérdidas aparentes o comerciales, donde las primeras consisten en pérdidas físicas (fugas) y desbordes de los reservorios (Mutikanga et al., 2011). Por otra parte, las pérdidas comerciales son principalmente

el resultado de la baja precisión de la medición del volumen de agua que fluye y la no simultaneidad de las lecturas de los dispositivos que registran la cantidad de agua suministrada al sistema (medidor de agua principal) y consumida por los receptores (Gwoździej-Mazur, 2017). En este contexto, un metro cúbico perdido en una tubería es igual a la suma de los costos de producción y distribución; por el contrario, un metro cúbico consumido por un usuario, pero no medido reduce los ingresos de recaudo para la empresa.

Dado lo anterior, es determinante que las empresas calculen el volumen de las pérdidas de agua generadas en su sistema. En efecto, IWA estableció un balance hídrico (tabla 1) como metodología para calcular las pérdidas de agua. Según esta metodología, generalmente en los sistemas de distribución de agua potable se presentan una mayor magnitud en las pérdidas reales (Ríos Canto et al., 2014).

■ **Tabla 1.** Balance hídrico – IWA

Volumen a la entrada del sistema m <sup>3</sup> /año	Consumo autorizado m <sup>3</sup> /año	Consumo autorizado facturado m <sup>3</sup> /año	Consumo facturado medido	Agua Facturada m <sup>3</sup> /año
		Consumo autorizado no facturado m <sup>3</sup> /año	Consumo facturado no medido	Consumo no facturado medido
	Pérdidas de agua m <sup>3</sup> /año	Pérdidas aparentes (comerciales) m <sup>3</sup> /año	Consumo no facturado no medido	Agua No Facturada m <sup>3</sup> /año
			Consumo no autorizado	
Pérdidas reales (técnicas) m <sup>3</sup> /año		Inexactitud de la medición		
		Fugas en tuberías de conducción y en redes principales de distribución		
		Fugas y desbordamiento entanques de almacenamiento		
		Fugas en acometidas		

**Nota:** Tomado de “Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures”, por A. Lambert & W.Hirner, 2000, International Water Association, p.5. <https://waterfund.go.ke/watersource/Downloads/001.%20Losses%20from%20water%20supply%20systems.pdf>

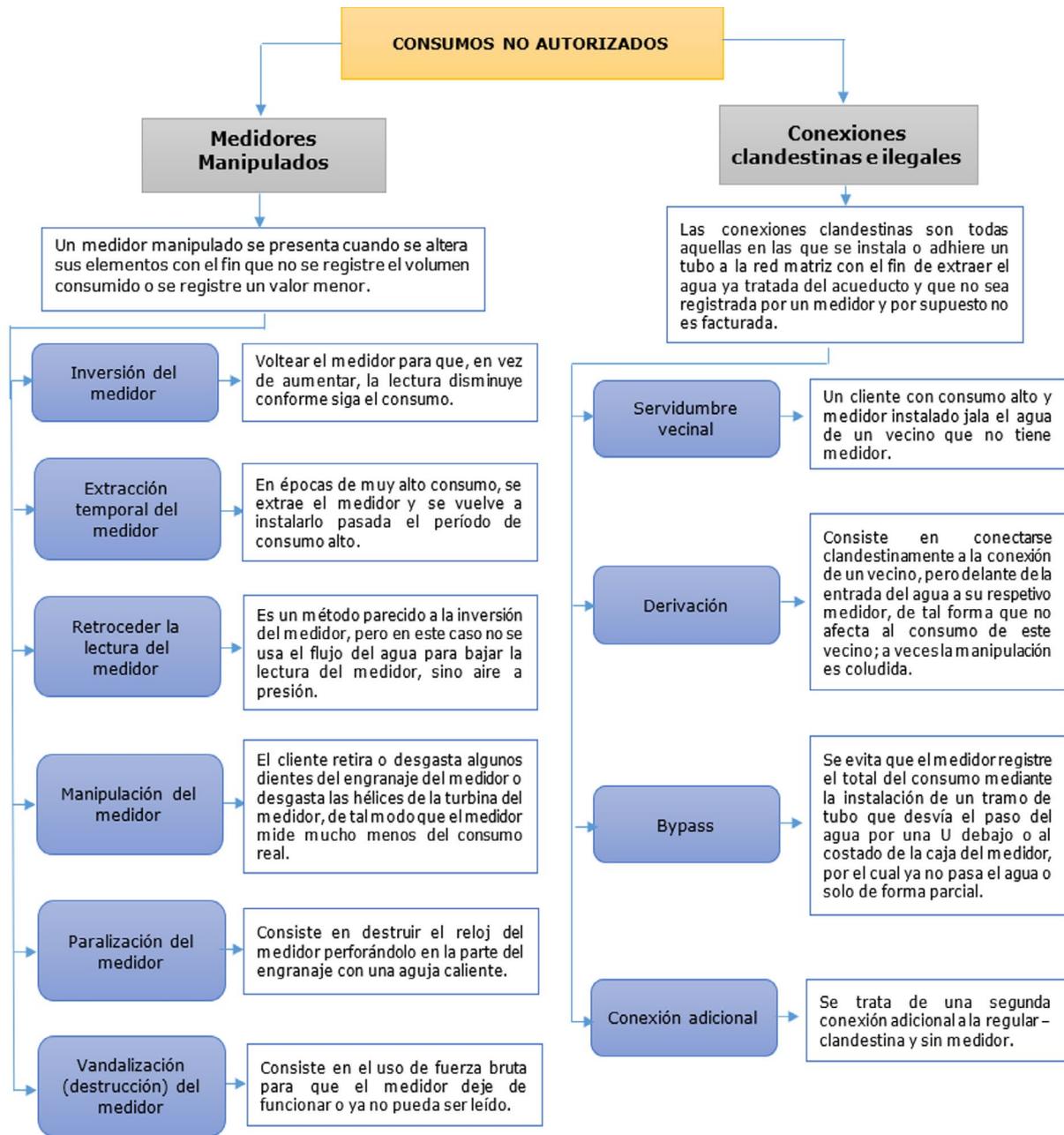
En el caso de las pérdidas comerciales, como un componente clave del agua no facturada, pueden llegar hasta el 30% de las pérdidas totales en términos de volumen, figurando un gran impacto financiero en las ESP de acueducto. Por esta razón, es importante que las empresas cuantifiquen y conozcan las causas de estas pérdidas, con el fin de diseñar políticas o estrategias efectivas de reducción y control de las pérdidas comerciales, convirtiéndose en un aspecto crucial de la gestión técnica de cualquier empresa de agua moderna (Arregui et al., 2018).

En la literatura se encontró diferentes causas o factores generadores de las pérdidas comerciales de agua. Si bien, toda ella tiene en común la división de dos

grandes grupos de pérdidas comerciales, una de ellas son los consumos no autorizados (acciones fraudulentas) y la segunda por la inexactitud de la medición (submedición).

Los consumos no autorizados son aquellos en los cuales se altera de forma directa los elementos disponibles por el acueducto para la medición y distribución del agua, es decir quienes alteran las conexiones de manera clandestina o quienes alteran los equipos del acueducto para que no se registre el consumo. Ziemendorff (2017) realizó una clasificación detallada de los consumos no autorizados (figura 4).

► **Figura 4.** Clasificación de los consumos no autorizados.

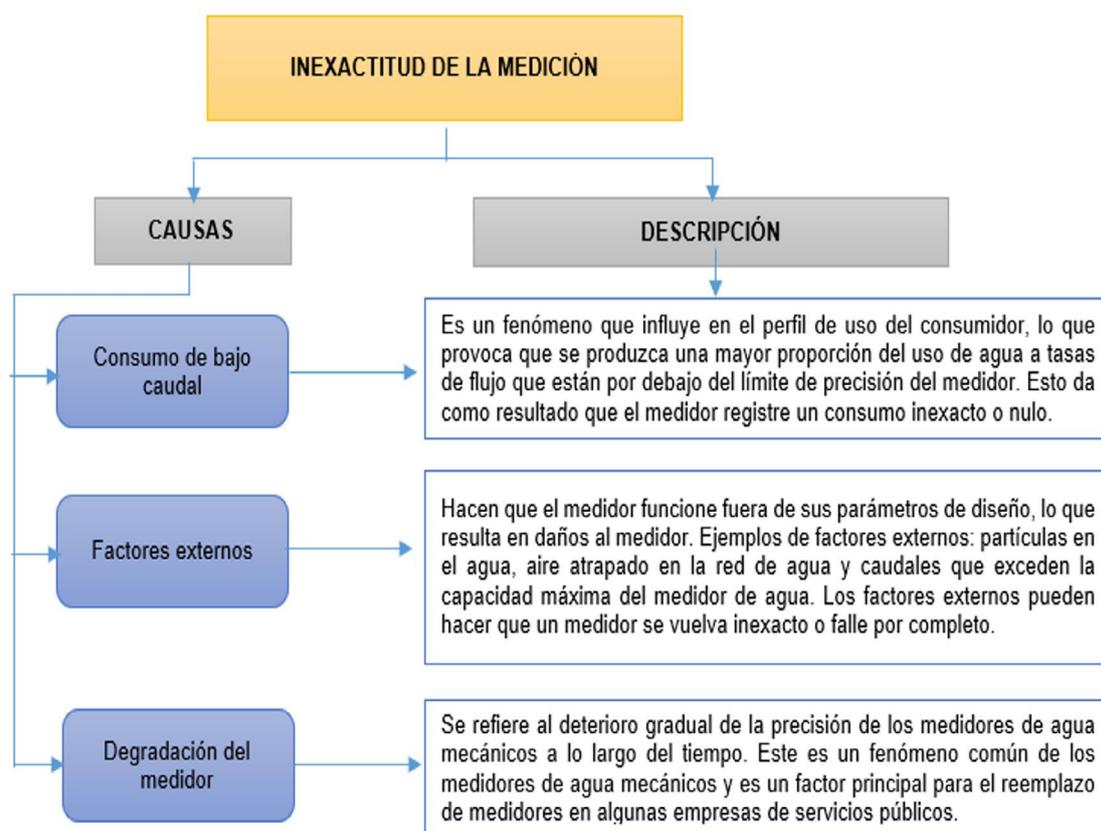


**Nota:** Clasificación de los consumos. **Fuente:** Autores.

Con respecto a la inexactitud de la medición se ha descubierto que son el mayor contribuyente a las pérdidas comerciales y, por lo tanto, han sido el tema de la mayoría de las investigaciones (Ncube y

Taigbenu, 2019). Según estudio realizado por Fourie et al. (2020) hay tres causas principales por las que un medidor registra incorrectamente el agua que fluye a través de él (figura 5).

► **Figura 5.** Causas de la inexactitud de la medición.



**Nota:** Causas de inexactitud en los consumos. **Fuente:** Autores.

Como resultado, el volumen global del agua no facturada es de 346 millones de metros cúbicos por día o 126 billones de metros cúbicos por año (tabla 2), con un

valor conservador de USD 0,31 por metro cúbico, el costo / valor del agua perdida asciende a USD 39 mil millones por año (Liemberger y Wyat, 2019).

■ **Tabla 2.** Volumen de agua no facturada (ANF) y costo / valor por región.

Regiones	Volumen de ANF (Millón m <sup>3</sup> /día)	Volumen de ANF (Billón m <sup>3</sup> /año)	Nivel promedio de ANF Litros/cápita/día	Costo / valor de ANF mil millones USD / año
África Sub-sahariana	14,1	5,2	64	1,4
Australia y Nueva Zelanda	1,0	0,3	36	0,1
Cáucaso y Asia central	8,0	2,9	152	0,8
Este de Asia	53,0	19,3	42	6,2
Europa	26,8	9,8	50	3,4
Latinoamérica y Caribe	69,5	25,4	121	8,0
Medio Oriente y África del Norte	41,2	15,0	96	4,8
Islas del Pacífico	0,5	0,2	211	0,1
Rusia, Ucrania, Bielorrusia	9,5	3,5	65	1,1
Sur de Asia	63,4	23,2	93	6,0
Sudeste de Asia	18,4	6,7	81	2,0
Estados Unidos y Canadá	40,7	14,8	119	5,7
Total	346	126	77	39

**Nota:** Se evidencia un valor excesivo de agua no facturada en términos de volumen a nivel global. La enorme cantidad de agua perdida por fugas en las redes de distribución urbana de agua (pérdidas físicas o reales de agua), los volúmenes de agua distribuidos sin facturación (pérdidas de agua comerciales) y el consumo autorizado no facturado, constituyen el agua no facturada y son los elementos que complican la situación de suministro de agua, especialmente en los países en desarrollo y en transición. Por ejemplo, la región de Latinoamérica y Caribe presenta los mayores volúmenes de ANF (25,4 billones m<sup>3</sup>/año), luego el sur de Asia (23,2 billones m<sup>3</sup>/año) y finalmente la región del este de Asia (19,3 billones m<sup>3</sup>/año). Estas pérdidas del recurso más valioso del mundo tienen consecuencias financieras considerables. Los fondos se gastan en aumentar la producción de agua para compensar las pérdidas, cuando podrían invertirse en mantener o ampliar la infraestructura existente. Por tal motivo, la reducción de la pérdida de agua es un aspecto importante de los proyectos de desarrollo. Tomado de “Quantifying the global non-revenue water problem,” por R. Liemberger y A. Wyatt, 2019, *Water Supply*, 19(3), p. 834 (<https://doi.org/10.2166/ws.2018.129>).

### 3.2 Pérdidas comerciales de agua. Contexto Internacional

En el estudio realizado por Morote y Hernández-Hernández (2018) en la ciudad de Alicante (España), se determinó que los fraudes más frecuentes son las conexiones ilegales y la manipulación de contadores y, en relación con la distribución, el 75% corresponde a usuarios do-

mésticos y el resto a usuarios comerciales e industriales. En el periodo de 2005 - 2017, la empresa Aguas Municipalizadas de Alicante (AMAEM) registró un total de 2207 fraudes para el sector doméstico, siendo los años 2013 y 2014 en los que más fraudes se registraron (con 377 y 378 fraudes, respectivamente).

Acerca del cálculo de las pérdidas comerciales de agua por la submedición,

se utilizan varios métodos, entre estos el método empírico el cual es llevado a cabo en un laboratorio de prueba de medidores acreditado. El estudio de Ncube y Taigbenu (2019) realizado en la ciudad de Johannesburgo (Sudáfrica), utilizando el método empírico, se estimó que las pérdidas comerciales tienen un valor promedio del 12% del volumen facturado con un rango de 9.4% a 14.6% que depende de las proporciones del tamaño del medidor, lo que equivale a 2.032.192 y 3.145.573 km/mes, respectivamente, esto equivale a entre 16,8 millones de ZAR/mes y 26 millones de ZAR/mes. Por otro lado, el estudio realizado por Couvelis y Van Zyl (2015) en Ciudad de Cabo y Mangaung (Sudáfrica), se concluyó que las pérdidas comerciales debido a la submedición de medidores de agua son alrededor del 5% (2.2% por subregistro de medidores debido a fugas in situ y 2.6% por envejecimiento del medidor) del consumo de los consumidores domésticos.

Para determinar el efecto de la edad del medidor y el volumen total registrado en la precisión del medidor, Moahloli et al. (2019), realizaron un estudio en un municipio de Sudáfrica donde concluyeron que existe una relación entre la antigüedad y la precisión del medidor de agua, así como entre el volumen total registrado y la precisión del medidor. Este estudio también determinó que el volumen de pérdidas comerciales de agua causadas por inexactitudes en los medidores de agua domésticos debido a la antigüedad y el volumen total registrado para

este municipio en particular es de 1.814 km /mes, lo que se traduce en un 2.81% del volumen total de entrada del sistema del municipio, siendo muy cercano a los hallazgos de Couvelis y Van Zy (2015) en relación al 2.6% por envejecimiento del medidor. El estudio también determinó que el período óptimo de reemplazo de medidores de agua del municipio es para edades de medidores de agua de 9, 12 y 16 años y volúmenes totales registrados de 3971, 5162 y 6750 km.

Aunque, un estudio más reciente realizado en Gauteng (Sudáfrica), se encontró una relación débil entre la edad y la precisión de un medidor residencial tipo volumétrico (Clase C) y de velocidad (Clase B), obteniéndose un  $R^2$  de 0.16 y 0.11, respectivamente. Este resultado indica que la edad no debe usarse como un factor para el reemplazo del medidor, ya que solo tiene una pequeña influencia en la precisión de los medidores de velocidad y volumétricos instalados. En cambio, se estableció una fuerte relación entre el volumen acumulado y la precisión del medidor para medidores de velocidad ( $R^2 = 0,54$ ). Este resultado confirma que, en medidores residenciales de velocidad, el volumen acumulado es un indicador de precisión más confiable que la edad (Fourie et al, 2020).

Ahora bien, de acuerdo con las causas y/o factores de las pérdidas comerciales de agua, en la tabla 3 se indican las estrategias o métodos utilizados por diferentes autores para disminuir las pérdidas comerciales.

■ **Tabla 3.** Estrategias o métodos por diferentes autores para la reducción de pérdidas comerciales.

Autor	País donde se desarrolló el estudio	Factor o causa de la pérdida comercial	Estrategia o método
Ziemendorff et al., 2017	Paita y Talara, Perú	Consumos no autorizados – Medidores manipulados	<p>A) Analizaron la casuística de las manipulaciones de medidores, usando la información del banco de medidores de la ESP Grau S.A.</p> <p>B) Realizaron la clasificación de los casos analizados por tipo de manipulación.</p> <p>C) Identificaron los puntos vulnerables del medidor.</p> <p>D) Analizaron la frecuencia de cada tipo de manipulación en Paita y Talara.</p> <p>E) Analizaron los dispositivos de seguridad disponibles en cuanto a la protección que brindan a los diferentes puntos vulnerables identificados.</p> <p>F) Identificaron la necesidad de desarrollar dispositivos de seguridad más integrales.</p> <p>G) Desarrollaron dos prototipos de seguridad del medidor.</p>
Ziemendorff, 2017	Moquegua, Perú	Consumos no autorizados – Conexiones Clandestinas	<p>Se realizó un proyecto piloto en Moquegua, Perú usando el sistema COMBIHON (método usado en Alemania) usando dos tipos de osciladores: Striker y el Stopper, para la ubicación de conexiones clandestinas (tuberías) mediante tecnología acústica.</p>
Morote & Hernández-Hernández, 2018	Alicante, España	Consumos no autorizados	<p>A) Utilizaron los datos proporcionados por AMAEM (empresa prestadora de Alicante) sobre el número de acciones de consumo doméstico no autorizado detectadas para el período 2005-2017, diferenciando entre tipologías de desarrollo urbano (compacto y baja densidad) y ubicación geográfica (Distrito Norte, Zona de Playa, Núcleo urbano y distrito rural)</p> <p>B) Realizaron entrevistas al personal de AMAEM con el fin de identificar las causas del consumo no autorizado en Alicante.</p> <p>C) Analizaron y evaluaron las medidas adoptadas por la empresa prestadora para detectar y combatir el consumo no autorizado.</p>

■ **Tabla 3.** Estrategias o métodos por diferentes autores para la reducción de pérdidas comerciales (Continuación).

Autor	País donde se desarrolló el estudio	Factor o causa de la pérdida comercial	Estrategia o método
Silva et al., 2016	Itabira, Brasil	Inexactitud en la medición	Reemplazaron los medidores de agua metrológicos Clase B por medidores de agua metrológicos Clase C en un condominio que contaba con 83 acometidas de agua activas provistas de medidores de agua en funcionamiento regular. De estas conexiones, 73 eran de edificios residenciales, 5 de edificios comerciales y las otras 5 eran de responsabilidad del condominio y correspondían a consumos como el relacionado con la caseta de vigilancia y el riego de áreas verdes comunes.
Rimeika y Albrektienė, 2017	Lituania	Inexactitud en la medición	Reemplazaron los medidores de agua metrológicos Clase B por medidores de agua metrológicos Clase C en diferentes viviendas de Lituania.
Moahloli et al., 2019	Sudáfrica	Inexactitud en la medición	Analizaron una base de datos de gestión de medidores de agua utilizando el método de error relativo del medidor para determinar si existe una relación entre la antigüedad del medidor de agua doméstico, el volumen total registrado y la precisión, así como el volumen de pérdidas comerciales de agua causadas por inexactitudes debido a la antigüedad del medidor de agua doméstico y volumen total registrado.
Fourie et al., 2020	Gauteng, Sudáfrica	Inexactitud en la medición	Evaluaron el rendimiento de 200 medidores residenciales de dos tecnologías diferentes comúnmente utilizadas en Gauteng, Sudáfrica, medidores de velocidad (Clase B) y medidores volumétricos (Clase C). La evaluación la realizaron mediante pruebas empíricas de medidores en un laboratorio acreditado y la evaluación de la precisión de degradación de cada tecnología de medidores en función de la antigüedad y el volumen.

**Nota:** Análisis de diferentes autores en la reducción de las pérdidas de consumo de agua.

**Fuente:** Autores.

Con las diferentes estrategias indicadas en la tabla 3 para la reducción de pérdidas comerciales, en la tabla 4 se descri-

ben los principales resultados por cada uno de los estudios realizados.

■ **Tabla 4.** Resultados de las estrategias para la reducción de pérdidas comerciales.

Autor	País donde se desarrolló el estudio	Factor o causa de las pérdidas comerciales	Principales resultados
Ziemen-dorff et al., 2017	Paita y Talara, Perú	Consumos no autorizados – Medidores ma-nipulados	<p>A) Entre 2008 y 2016 se registraron en el banco de medidores de ESP Grau 1.563 casos de manipulación de medidores provenientes de Paita y Talara, de las cuales el 29% correspondía por Manipulación no visible, donde el consumidor retira o desgasta algunos dientes del engranaje del registro del medidor, de modo que el medidor mida un consumo mucho menor que el real.</p> <p>B) Teniendo en cuenta los puntos vulnerables del medidor, se realizó una descripción de los dispositivos de seguridad como el Anclaje Tipo Copa, Anclaje Tipo Culpo, Anclaje Tipo Gauss (siendo el más utilizado), entre otros, encontrándose que ninguno protege simultáneamente los 6 puntos vulnerables del medidor.</p> <p>C) Por lo anterior, desarrollaron dos prototipos de seguridad: “Dispositivo cilíndrico” y “Dispositivo cuadrado” que permitían proteger el medidor en todos los puntos vulnerables previamente identificados en campo.</p>
Ziemen-dorff et al., 2017	Moquegua, Perú	Consumos no autorizados – Conexiones Clandestinas	<p>El sistema está compuesto por la unidad de control central y un generador, así como dos tipos de osciladores, de los cuales solo se usa uno a la vez: el Striker y el Stopper. El Striker somete las tuberías a vibraciones al golpearlas desde afuera, como si se tratara de un martillo eléctrico. El Stopper genera una onda de presión dentro de la tubería al abrir y cerrarse rápidamente.</p> <p>La búsqueda de conexiones clandestinas usando el Striker y Stopper funcionó correctamente. Cada uno de estos equipos tienen sus alcances y límites.</p>

**Tabla 4.** Resultados de las estrategias para la reducción de pérdidas comerciales (Continuación).

Autor	País donde se desarrolló el estudio	Factor o causa de las pérdidas comerciales	Principales resultados
Morote y Hernández Hernández, 2018	Alicante, España	Consumos no autorizados	<p>A) Desde 2005, se registraron un total de 2.207 fraudes para el sector doméstico; la mayoría (83%) se concentró en el modelo de desarrollo urbano compacto. En relación a la ubicación geográfica, el mayor porcentaje de consumo no autorizado se detectó en el Distrito Norte (70% para el período 2005-2017).</p> <p>B) Las causas del consumo no autorizado en Alicante fueron: Crisis Económica (2008), aumento del precio del agua, ingresos económicos, sequías, elevados consumos de agua.</p> <p>C) Las medidas adaptadas por la empresa prestadora para detectar y combatir el consumo no autorizado fueron: puesta en marcha del Plan de Lectura Remota de contadores. Con estos nuevos dispositivos, los técnicos pueden detectar cualquier anomalía (fuga, avería o consumo no autorizado) prácticamente en tiempo real, desde la sala de control de AMAEM y a ello se puede seguir con una inspección in situ por parte de los técnicos. Es decir, a través de este plan la empresa detectó más consumos autorizados que antes de su implementación.</p>
Silva et al., 2016	Itabira, Brasil	Inexactitud en la medición	<p>Las pérdidas de agua promedio de los condominios fueron de 18.9% y 1.4% cuando la micro medición se realizó con medidores de clases metrológicas B y C, respectivamente. Es decir, en este caso de estudio, el hecho de reemplazar estos equipos resultó en una reducción del 45% de las pérdidas de agua (reducción del subregistro, uno de los componentes de las pérdidas de agua).</p> <p>El nuevo contador de agua Clase C registró un 8.5% más del volumen consumido que los contadores Clase B en uso.</p>

■ **Tabla 4.** Resultados de las estrategias para la reducción de pérdidas comerciales (Continuación).

Autor	País donde se desarrolló el estudio	Factor o causa de las pérdidas comerciales	Principales resultados
Rimeika y Albrek-tienė, 2017	Lituania	Inexactitud en la medición	La diferencia relativa entre las lecturas de los medidores montados secuencialmente de los medidores de Clase C y B varía del 4% al 18%. Se ha determinado que los medidores de Clase B son ineficientes para medir caudales bajos y, por lo tanto, deben ser reemplazados por medidores de Clase C. La instalación de medidores Clase C en pisos reduciría las pérdidas comerciales de agua en casas privadas y blocaos en más de tres veces y al mismo tiempo aseguraría mayores ingresos para una empresa de prestación del servicio de acueducto.
Moahloli et al., 2019	Sudáfrica	Inexactitud en la medición	El estudio encontró que existe una relación entre la antigüedad y la precisión del medidor de agua, así como entre el volumen total registrado y la precisión. El estudio también determinó que el volumen de pérdidas comerciales de agua causadas por inexactitudes en los medidores de agua domésticos debido a la antigüedad y el volumen total registrado en particular es de 1.814 kL por metro por mes, lo que se traduce en un 2.81% del volumen total de entrada del sistema del municipio. Es por esto que los municipios y las empresas deben calcular el periodo óptimo de reemplazo por la antigüedad de los medidores de agua.
Fourie et al., 2020	Gauteng, Sudáfrica	Inexactitud en la medición	Se encontró una relación débil entre la edad y la precisión de un medidor residencial tipo volumétrico (Clase C) y de velocidad (Clase B). Este resultado indica que la antigüedad de los medidores de Clase C y B no debe usarse como un factor para el reemplazo del medidor. En cambio, se estableció una fuerte relación entre el volumen acumulado y la precisión del medidor para medidores de velocidad. Este resultado confirma que, en medidores residenciales de velocidad (Clase B), el volumen acumulado es un indicador de precisión más confiable que la edad. Estos hallazgos ayudarán a los gerentes de las empresas de servicios de acueducto a predecir la precisión de los medidores e incluir estrategias de reemplazo para los medidores Clase B.

**Nota:** Análisis de estrategias planteadas por diferentes autores en la reducción de las pérdidas de consumo de agua. **Fuente:** Autores.

### 3.3 Pérdidas comerciales de agua. Contexto en Colombia

En Colombia, la Ley 142 de 1994 establece el régimen de servicios públicos domiciliarios. Las empresas prestadoras del servicio de acueducto son reguladas por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) y la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico – CRA, adscrita al Ministerio de Vivienda. Estas entidades públicas son las encargadas de crear y preservar condiciones para asegurar la prestación de servicios sanitarios.

En el contexto de las pérdidas de agua, se emplea un indicador técnico-operativo denominado Índice de Agua No

Contabilizada (IANC) establecido por la Resolución CRA 287 de 2014 y la Resolución CRA 315 de 2015. El IANC en las empresas de acueducto es un indicador que representa el porcentaje de pérdidas de agua y refleja la eficiencia con la que opera el sistema (González-Gómez, García-Rubio & Guardiola, 2011). En otras palabras, el IANC relaciona la cantidad de agua que cada empresa de acueducto pierde, desde un comparativo entre el agua producida y el agua facturada (Espinosa et al., 2013). Se calcula como la diferencia porcentual entre el volumen de agua no facturado con relación al volumen entregado por las plantas de tratamiento al sistema de acueducto (ecuación 1).

$$\text{IANC} = \frac{(\text{Volumen producido} - \text{Volumen facturado})\text{m}^3}{\text{Volumen producido} (\text{m}^3)} * 100 \quad (1)$$

#### Dónde:

*Volumen producido:* Volumen de agua (m<sup>3</sup>) que la entidad introdujo al sistema de distribución durante los últimos doce (12) meses, medida de la salida de los tanques de almacenamiento, menos desperdicios por mantenimiento.

*Volumen facturado:* volumen de agua (m<sup>3</sup>) que la empresa facturó durante los últimos doce (12) meses.

No obstante, el IANC fue reemplazado por el denominado Indicador de Pérdidas por Usuario Facturado - IPUF, para efectos del cálculo de tarifas según metodología vigente de acuerdo con lo estipulado en la Resolución CRA 688 de 2014. El IPUF representa el volumen de pérdidas de agua por suscriptor, medido en metros cúbicos por suscriptor al mes (m<sup>3</sup>/suscriptor/mes) y se calcula mediante la ecuación 2 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014).

$$\text{IPUF}_0 = \frac{AS_0 - AF_{0,ac}}{N_{0,ac} * 12} \quad (2)$$

#### Donde:

**IPUF<sub>0</sub>:** Índice de pérdidas por suscriptor facturado en el año base (m<sup>3</sup>/suscriptor/mes).

**AF<sub>0,ac</sub>:** Consumo de agua facturada para el servicio público domiciliario de acueducto en el año base (m<sup>3</sup>/año).

**$N_{0,ac}$ :** Número de suscriptores facturados promedio en el año base para el servicio público domiciliario de acueducto. En el caso de facturación mensual corresponde al promedio de los doce meses del año base. En el caso

de facturación bimestral, corresponde al promedio de los seis bimestres del año base

**$AS_0$ :** Agua potable suministrada en el año base ( $m^3/año$ ). Esta se calcula mediante la siguiente ecuación 3

$$AS_0 = AP_0 + RCSAP_0 - ECSAP_0$$

**$AP_0$ :** Agua producida en el año base ( $m^3/año$ ).

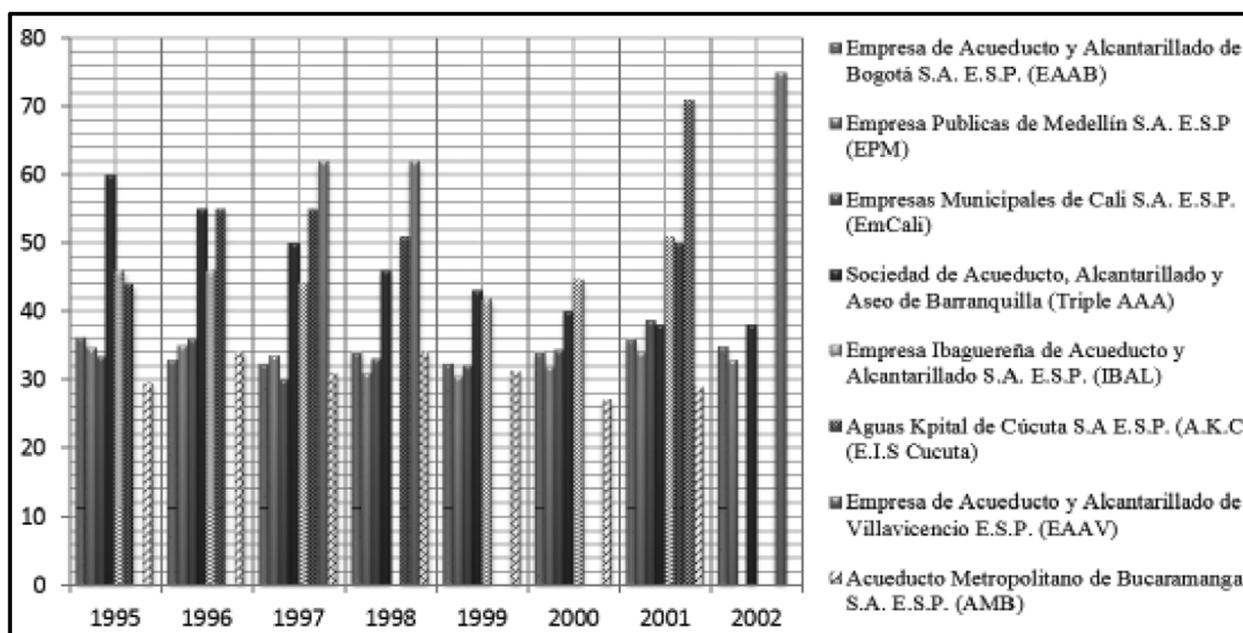
**$ECSAP_0$ :** Volumen entregado por contratos de suministro de agua potable en el año base ( $m^3/año$ ).

**$RCSAP_0$ :** Volumen recibido por contratos de suministro de agua potable en el año base ( $m^3/año$ ).

De todas maneras, el IANC aún es un indicador usado por las empresas que se toma como referente para estimar la eficiencia y rendimiento operativo de un sistema de acueducto, referido también en la Resolución MVCT 330 de 2017. Los resultados del IANC y el IPUF calculados por las empresas de servicios públicos de acueducto, sirven como base para el planteamiento de estrategias para la reducción de pérdidas de agua, ya sean técnicas o comerciales.

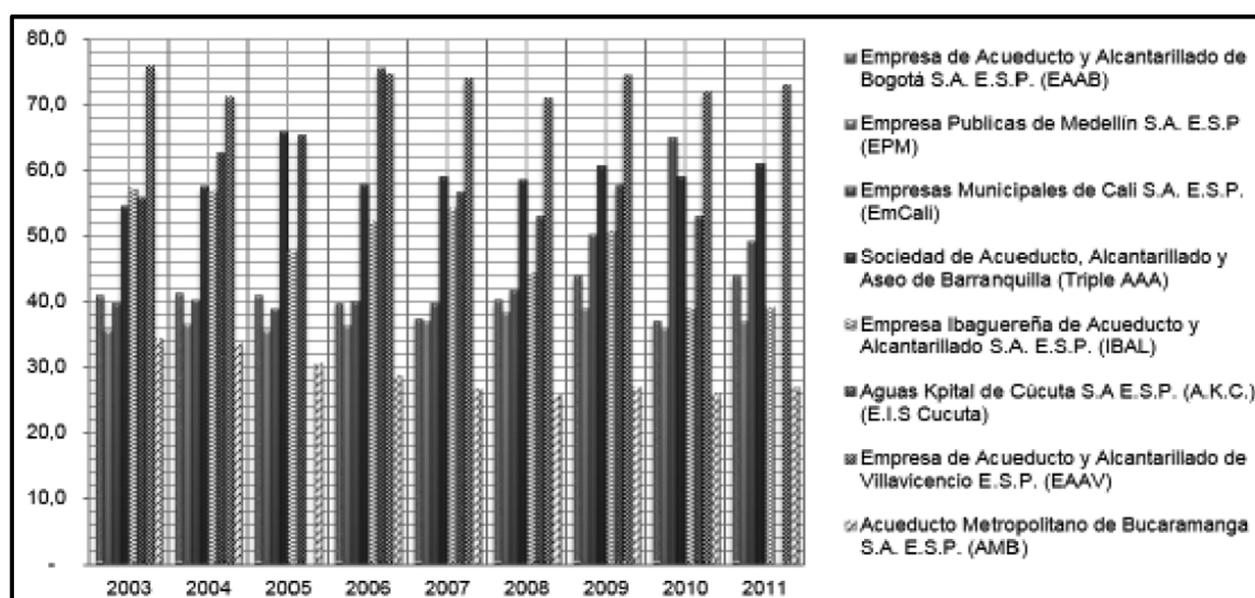
Se resalta, según la normatividad colombiana el valor máximo permisible para el IANC es el 30% y para el IPUF es de 6  $m^3/suscriptor/mes$ . Con relación al cálculo del IANC, Espinosa et al. (2013) realizaron un estudio comparativo del índice de agua no contabilizada en Colombia para el periodo 1995-2011 de ocho (8) empresas seleccionadas con las variables tamaño y pérdidas de agua (figuras 6 y 7).

► **Figura 6.** Índice de agua no contabilizada (IANC): empresas de estudio, 1995-2002.



**Nota:** Tomado de “Estudio comparativo del índice de agua no contabilizada en Colombia para el periodo 1995-2011”, por M.A.G. Espinosa, C.C.V. Yara & M.S.G. Álvarez, 2013, *Tecnogestión: Una mirada al ambiente*, 10(1), p. 28. (<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/5729>).

► **Figura 7.** Índice de agua no contabilizada (IANC): empresas de estudio, 2003-2011.



**Nota:** Tomado de “Estudio comparativo del índice de agua no contabilizada en Colombia para el periodo 1995-2011”, por M.A.G. Espinosa, C.C.V. Yara & M.S.G. Álvarez, 2013, *Tecnogestión: Una mirada al ambiente*, 10(1), p. 29. (<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/5729>).

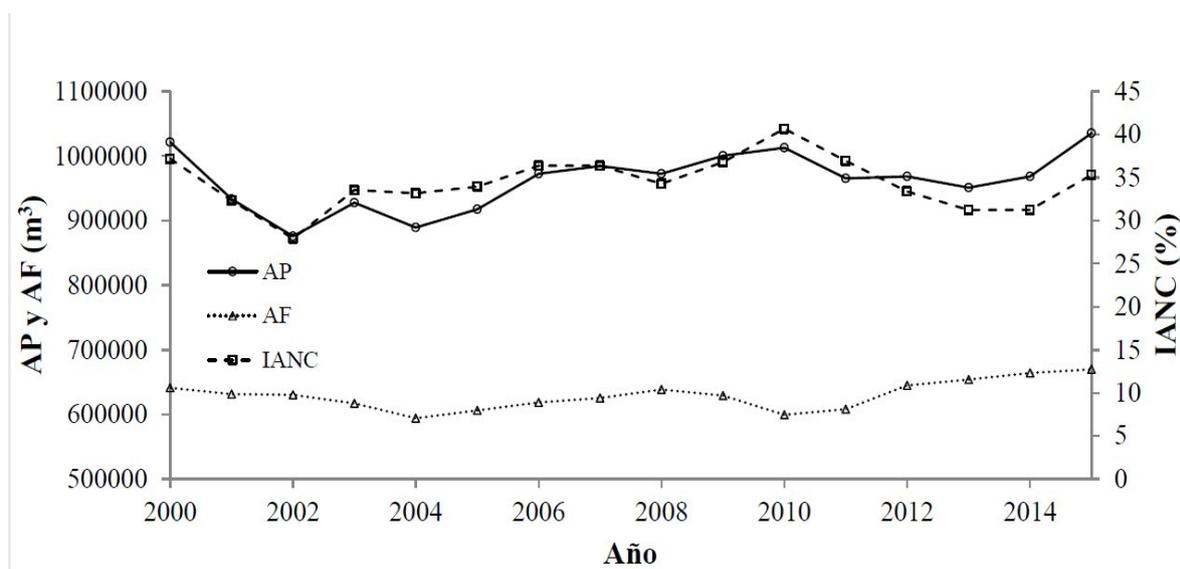
Según las figuras 6 y 7, para el periodo 1995 – 2011, las empresas evaluadas no cumplieron con las exigencias de la normatividad de Colombia, presentando valores de IANC mayores al 30%. La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio E.S.P en el año 2002 obtuvo un IANC del 75% siendo la cifra más alta en el periodo de 1995-2002. La Empresa Aguas Kpital de Cúcuta S.A. E.S.P. en el año 2006 presentó un IANC del 75.5%, siendo la cifra más alta en el periodo de 2003 – 2011.

Asimismo, Mosquera et al. (2019), determinó los valores de IANC e IPUF en el periodo 2010 – 2016 para la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán,

obteniendo un promedio anual de 39.1% en el IANC y 10.4 m<sup>3</sup>/suscriptor/mes para el IPUF.

En un estudio más reciente, Herrera et al. (2020), realizaron un análisis de agua no facturada en el sistema de abastecimiento urbano del municipio de Facatativá, Colombia. En promedio mensual, los resultados mostraron que durante todo el periodo de investigación el agua producida (AP) por el sistema de abastecimiento fue de 472.530 m<sup>3</sup>; mientras que el agua facturada (AF) fue de 308.850 m<sup>3</sup> (figura 8). Es decir, el sistema dejó de facturar en promedio por mes 163.680 m<sup>3</sup>, lo cual representó un porcentaje de agua no contabilizada del 34.6 % (IANC).

► **Figura 8.** Variación promedio bimensual del IANC, AP y AF en el sistema de abastecimiento durante la totalidad del periodo de investigación



**Nota:** En el periodo de estudio, el mayor porcentaje de IANC se registró para el año 2010, donde se observa la mayor AP y la menor AF en el sistema. En términos económicos, al relacionar el AP y AF durante todo el periodo de investigación, según los resultados, en promedio se dejaron de contabilizar 29.462.400 m<sup>3</sup>, los cuales representaron una pérdida económica para el sistema de USD 10.606.464 para el año 2015. Tomado de “Análisis de agua no contabilizada en el sistema de abastecimiento urbano del municipio de Facatativá”, por D.B. Herrera, E.M. Ávila & C.A.Z. Mejía, 2020, *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 24(63), 84-98, p. 90. (<https://doi.org/10.14483/22487638.15333>).

Además, se realizaron comparaciones con otros municipios de Colombia (Tabla del IANC del municipio de Facatativá 4) al igual que el IPUF (Tabla 5).

■ **Tabla 4.** Comparación IANC del Municipio de Facatativá con otros municipios de Colombia.

Indicador	Valor promedio anual por Municipio									
	Facatativá	Soacha	Villavicencio	Sogamoso	Ibagué	Zipaquirá	Gachancipá	Pitalito	Tunja	Mosquera
IANC (%)	34.6	72.3	67	43.6	46.6	48.2	36.7	35.	23.9	21.3

**Nota:** El IANC promedio anual calculado para el municipio de Facatativá estuvo por debajo de otros sistemas de los municipios de: Soacha, Villavicencio, Sogamoso, Ibagué, Zipaquirá, Gachancipá y Pitalito; por el contrario, el IANC anual fue mayor en relación con los siguientes municipios: Tunja y Mosquera. Tomado de “Análisis de agua no contabilizada en el sistema de abastecimiento urbano del municipio de Facatativá”, por D.B. Herrera, E.M. Ávila & C.A.Z. Mejía, 2020, *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 24(63), 84-98, p. 90. (<https://doi.org/10.14483/22487638.15333>).

■ **Tabla 5.** Comparación IPUF del Municipio de Facatativá con otros municipios de Colombia.

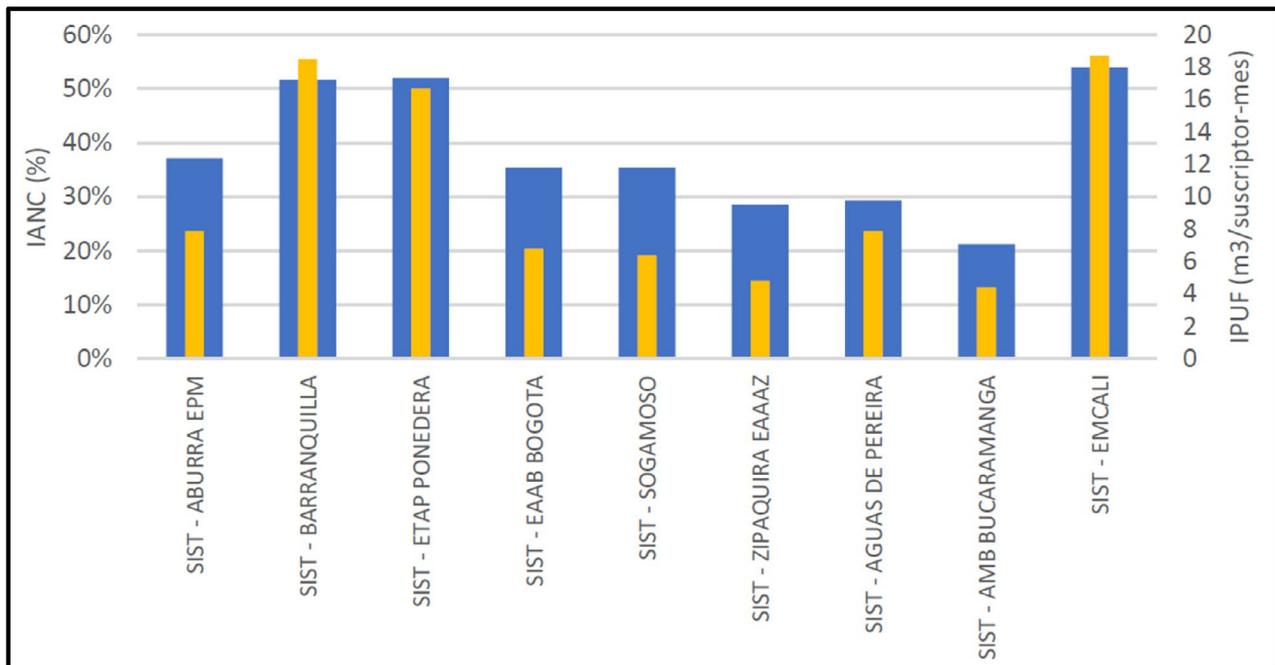
Indicador	Valor promedio anual por Municipio			
	Facatativá	Zipaquirá	Tunja	Mosquera
IPUF(m <sup>3</sup> /suscriptor/mes)	6.16	2.20	4.60	8.70

**Nota:** El IPUF anual calculado para el municipio de Facatativá estuvo por debajo del municipio de Mosquera; por el contrario, el IPUF anual fue mayor en relación con los siguientes municipios: Zipaquirá y Tunja. Tomado de “Análisis de agua no contabilizada en el sistema de abastecimiento urbano del municipio de Facatativá”, por D.B. Herrera, E.M. Ávila & C.A.Z. Mejía, 2020, *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 24(63), 84-98, p. 91. (<https://doi.org/10.14483/22487638.15333>).

Por otro lado, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) a través del Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado, para el 2019 se estimó un valor promedio nacional del IANC del 40.2%, valor que muestra una ligera tendencia a la disminución con respecto al año 2018, al cual corresponde un valor de IANC de 41.4%. Con relación al IPUF se estableció un valor promedio nacional de 10.4 m<sup>3</sup> /suscriptor – mes, muy por encima del valor máximo establecido por la regulación vigente.

En la figura 9 se muestra los indicadores IANC e IPUF de los sistemas interconectados más grandes respecto a su capacidad de producción de agua potable. Los sistemas interconectados abastecen más de tres áreas de prestación del servicio (APS), a la totalidad de los usuarios o una fracción de los usuarios de los municipios atendidos, ya sea mediante facturación directa o mediante venta de agua en bloque.

► **Figura 9.** Indicadores IANC e IPUF para sistemas interconectados – año 2019.



**Nota:** Los valores van desde 21 hasta 52% (IANC) y valores de 4,4 hasta 18,7 m<sup>3</sup> pérdidas/suscriptor – mes (IPUF). Los Sistemas Interconectados que cumplieron con los valores máximos permisibles de ambos indicadores fueron Zipaquirá EAAAZ y AMB Bucaramanga. Tomado de “Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado”, por SSPD, 2020, p. 32. [https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Dic/estudio\\_sectorial\\_de\\_los\\_servicios\\_publicos\\_domiciliarios\\_de\\_acueducto\\_y\\_alcantarillado\\_28\\_dic\\_rev\\_1.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Dic/estudio_sectorial_de_los_servicios_publicos_domiciliarios_de_acueducto_y_alcantarillado_28_dic_rev_1.pdf)

De acuerdo con los estudios anteriores y los reportes de la SSPD (año 2019), en Colombia se presentan altos niveles de IANC e IPUF. Por ende, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) en el año 2014 definió un instrumento de planeación denominado “Plan de Reducción de pérdidas”, el cual se emplea el balance hídrico de IWA para la estimación de las pérdidas de agua.

En el caso de las pérdidas comerciales, está sujeta a un alto grado de incertidumbre. En consecuencia, se deben discriminar en sus componentes para lograr una buena estimación. En primer lugar,

se debe estimar el número de conexiones ilegales. Esto se puede hacer ya sea consultando registros anteriores o realizando muestreos en diferentes sectores del sistema. En segundo lugar, debe estimarse las pérdidas debidas a errores en el manejo de información, así como inexactitudes en la medición. Durante las lecturas de medidores, debe registrarse el número de medidores de agua averiados y hacer estimaciones de los volúmenes perdidos con base en estudios realizados en laboratorios de medidores (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014).

Sin embargo, Espinosa et al. (2013) resalta que los planes de reducción de pérdi-

das acaban siendo solamente un ítem de cumplimiento por parte de las empresas con las exigencias de la CRA. A partir de la fecha de implementación de dichos planes en las diferentes empresas de Colombia no se evidencia un impacto positivo en lo relacionado con disminución del IANC.

De este modo, se realizó la búsqueda de artículos científicos acerca del cálculo en términos de volumen de las pérdidas comerciales. Como resultado, se encontró que no existe información acerca de esto.

# CONCLUSIONES

A través del análisis realizado a las diferentes fuentes de información se identificó que, en todos los estudios tanto en el contexto internacional como en Colombia, las pérdidas comerciales afectan financieramente las empresas prestadoras de acueducto, siendo este problema más pronunciado en las ESP de acueducto de los países en desarrollo. En el contexto internacional, se evidenció que, gracias a las diferentes metodologías descritas por los autores, se logró cuantificar en términos de volumen cada uno de los factores de las pérdidas comerciales. En efecto, se seleccionó la estrategia adecuada, consiguiendo la reducción de las pérdidas comerciales.

Por lo contrario, en Colombia se evidenció la ausencia de estudios que reúnan y analicen los datos (en términos de volumen) de las pérdidas comerciales que registran las empresas. En ausencia de datos y metodología adecuada, se utilizan valores predeterminados o reglas empíricas, por ejemplo, el consumo no autorizado se calcula como el 0,5% de la entrada total del sistema y el subregistro

de medidores domésticos como el 2% del consumo medido. Esta metodología puede generar datos imprecisos afectando el proceso de control y regulación o las diferentes propuestas o estrategias que se planteen para disminuir estas pérdidas.

En Colombia, las empresas prestadoras del servicio de acueducto podrían emplear alguna de las estrategias mencionadas en la tabla 3, pero la carencia de datos fiables (en términos de volumen) de las pérdidas comerciales, es un limitante para seleccionar la estrategia apropiada para el factor que contribuye a estas pérdidas. Además, no todas las medidas especificadas en la tabla 3 son apropiadas para cada empresa de agua. Por lo tanto, se debe hacer análisis costo/beneficio para los métodos de elección.

Evidentemente, los diferentes entes reguladores deben propiciar estudios que permitan estandarizar una metodología para cuantificar en términos de volumen los distintos componentes de las pérdidas comerciales. Además de establecer una metodología para evaluar el nivel económico de las pérdidas comerciales.



# CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

**P**rimero autor: este documento permite conocer las estrategias o métodos para la reducción de las **pérdidas comerciales** en las **ESP** de acueducto, desde un contexto internacional y nacional. Segundo autor: En cuanto al análisis de la información que se describe en este artículo a partir de diferentes fuentes consultadas por los investigadores como se evidencia en la literatura, esto conlleva a profundizar en la importancia que tiene el análisis de seguimiento a las pérdidas comerciales por el consumo de agua, en donde

se logre reducir los impactos generados ambiental y económicamente, es decir buscar mecanismos de control para evitar alteraciones o manipulaciones de los medidores como la pérdida excesiva de agua por otras circunstancias asociadas a la distribución del agua. La metodología propuesta por los diferentes autores consultados demuestra que pueden plantearse nuevas alternativas de seguimiento y control aquellos factores que inciden en el consumo excesivo y pérdidas de agua.



# AGRADECIMIENTOS

**E**n primer lugar, quiero agradecer al Ing. Héctor Andrés Hernández quien con su conocimiento, asesoría y aportes me guio a la construcción de las diferentes etapas de este documento. También quiero agradecer a los autores que se citan en este artículo, quienes brindaron una información de alta calidad para el análisis del tema de investigación. A la editorial de la revista por permitir publi-

car este escrito de carácter formativo. A la Empresa Oficial de Servicios Públicos de Yumbo ESPY SA ESP, empresa que actualmente laboro, por financiar el 60% de mi posgrado. Finalmente, quiero agradecer a mis padres Liliana y Jairo por su apoyo incondicional, su constante entrega y motivación en el transcurso de mi especialización.

# REFERENCIAS

- Arregui, F., Cobacho, R., Soriano, J. & Jimenez-Redal, R. (2018). Calculation Proposal for the Economic Level of Apparent Losses (ELAL) in a Water Supply System. *Water (Basel)* 10 (12): 1809. <https://doi.org/10.3390/w10121809>
- Couvelis, FA. & Van Zyl, JE. (2015). Apparent losses due to domestic water meter under-registration in South Africa. *Water SA*, 41(5), 698-704. <https://doi.org/10.4314/wsa.v41i5.13>
- Espinosa, M. A. G., Yara, C. C. V. & Álvarez, M. S. G. (2013). Estudio comparativo del índice de agua no contabilizada en Colombia para el periodo 1995-2011. *Tecnogestión: Una mirada al ambiente*, 10(1). Recuperado de: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/download/5729/9890/38825>
- Farok, G. M. G. (2017). Non-Revenue Water (NRW) Is a Challenge for Global Water Supply System Management: A Case Study of Dhaka Water Supply System Management. *Journal of Mechanical Engineering* 46 (1): 28–35. <https://doi.org/10.3329/jme.v46i1.32520>
- Fourie, R., Marnewick, A. & Joseph, N. (2020). An empirical analysis of residential meter degradation in Gauteng Province, South Africa. *Water SA*, 46(4), 645-655. <https://doi.org/10.17159/wsa/2020.v46.i4.9078>
- González-Gómez, F., García-Rubio, M.A. & Guardiola, J. (2011). Why is non-revenue water so high in so many cities?. *International Journal of Water Resources Development*, 27(2), 345-360. <https://doi.org/10.1080/07900627.2010.548317>
- Gwoździej-Mazur, J. (2017). Apparent water loss prevention using modern measurement tools. *E3S Web of Conferences* 17, 00029. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/20171700029>
- Herrera, D. B., Ávila, E. M. & Mejía, C. A. Z. (2020). Análisis de agua no contabilizada en el sistema de abastecimiento urbano del municipio de Facatativá, Colombia. *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 24(63), 84-98. <https://doi.org/10.14483/22487638.15333>
- Kingsley, A., Jianguo, D. & Patrick, B. (2017). Non-Revenue Water Management in Ghana: The Opportunities and Challenges. *Journal of Environment and Earth Science* 7 (10): 59-67–67. [https://www.researchgate.net/publication/321183903\\_Non-Revenue\\_Water\\_Management\\_in\\_Ghana\\_The\\_Opportunities\\_and\\_Challenges](https://www.researchgate.net/publication/321183903_Non-Revenue_Water_Management_in_Ghana_The_Opportunities_and_Challenges)

- Lambert, A. & Hirner W. (2000). Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. *International Water Association*. <https://waterfund.go.ke/watersource/Downloads/001.%20Losses%20from%20water%20supply%20systems.pdf>
- Liemberger, R. & Wyatt, A. (2019). Quantifying the global non-revenue water problem. *Water Supply*, 19(3), 831-837. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.129>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2014). Resolución CRA 688 de 2014 por medio de la cual se establece la metodología tarifaria para las personas prestadoras de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado con más de 5.000 suscriptores en el área urbana. Bogotá D.C.: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. [https://www.cra.gov.co/documents/Resolucion\\_CRA\\_688\\_de\\_2014\\_Firmada.pdf](https://www.cra.gov.co/documents/Resolucion_CRA_688_de_2014_Firmada.pdf)
- Moahloli, A., Marnewick, A. & Pretorius, JHC. (2019). Domestic water meter optimal replacement period to minimize water revenue loss. *Water SA*, 45(2), 165-173. <https://doi.org/10.4314/wsa.v45i2.02>
- Morote, Á.-F. & Hernández-Hernández, M. (2018). Unauthorised Domestic Water Consumption in the City of Alicante (Spain): A Consideration of Its Causes and Urban Distribution (2005–2017). *Water*, 10(7), 851. <https://doi.org/10.3390/w10070851>
- Mosquera, M. R., Erazo, J. G. G. & del Río, D. R. (2019). Factores determinantes en el consumo residencial de agua potable en acueductos urbanos caso estudio ciudad de Popayán, Colombia. *Scientia et Technica*, 24(2), 321-331. <https://doi.org/10.22517/23447214.22111>
- Mutikanga, H. E., S. K. Sharma. & K. Vairavamoorthy. (2011). Assessment of Apparent Losses in Urban Water Systems. *Water and Environment Journal* 25 (3): 327–35. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2010.00225.x>
- Ncube, M. & Taigbenu, A. (2019). Assessment of apparent losses due to meter inaccuracy – a comparative approach. *Water SA*, 45(2), 174-182. <https://doi.org/10.4314/wsa.v45i2.03>
- Rimeika, M. & Albrektienè, R. (2017). Reduction of Apparent Water Losses. *10th International Conference on Environmental Engineering, ICEE 2017*. <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.087>
- Ríos Canto, J., Santos-Tellez, R.U., Hansen Rodríguez, P., Antúnez Leyva, E. & Nava Martínez, V. (2014). Methodology for the Identification of Apparent Losses in Water Distribution Networks. *Procedia Engineering* 70(C): 238–47. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.027>
- Silva, C., De Padua, V. & Borges, J. (2016). Contribution to the Study of Measures for the Reduction of Apparent Water Loss in Urban Areas. *Ambiente*

& *Sociedade* 19 (3): 249–68. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC-20140010R1V1932016>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2020). Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado 2019. Recuperado de: [https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Dic/estudio\\_sectorial\\_de\\_los\\_servicios\\_publicos\\_domiciliarios\\_de\\_acueducto\\_y\\_alcantarillado\\_28\\_dic\\_rev\\_1.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Dic/estudio_sectorial_de_los_servicios_publicos_domiciliarios_de_acueducto_y_alcantarillado_28_dic_rev_1.pdf).

Ziemendorff, S. (2017). Detección de conexiones clandestinas de agua potable con métodos acústicos—un nuevo método y su aplicación en campo. *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 3(1), 5-17. <https://dx.doi.org/10.25127/indes.20153.130>

Ziemendorff, S., Velásquez, W. V. & Córdova, H. R. (2017). La seguridad de medidores de agua potable contra robo, vandalización y manipulación—problemática, avances y propuesta. *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 3(2), 5-15. <https://doi.org/10.25127/indes.201502.001>



**Licencia de Creative Commons**

Revista Agricolae & Habitat is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.





Recibido: 18/11/2021  
Aceptado: 29/06/2022



# ESTRATEGIAS PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE PRECIPITACIONES EN LA VEREDA LAS PALMAS DEL MUNICIPIO DE TUNJA, BOYACÁ

## STRATEGIES FOR THE ADAPTATION OF A RAINFALL CAPTURE SYSTEM IN THE VILLAGE OF LAS PALMAS IN THE MUNICIPALITY OF TUNJA, BOYACÁ

Manuel Torres Torres

Ingeniero Agrónomo, Especialista en Ingeniería Ambiental,  
Magister en Administración de Negocios, Doctor Ingeniería Ambiental.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD.

manuel.torres@unad.edu.co, Semillero Sembrando Nuevas Ideas Agroecológicas;  
Grupo de investigación GIGASS, <https://orcid.org/0000-0001-6033-4799>

Luis Fernando Escarraga Pachón

Médico Veterinario Zootecnista. Especialista en Producción Animal.  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD. [luis.escarraga@unad.edu.co](mailto:luis.escarraga@unad.edu.co)

Semillero de investigación en tecnología y producción animal SITPA;  
Grupo de investigación GIGASS, <https://orcid.org/0000-0002-0494-3263>

Mónica Jovanna Patiño Pacheco

Ingeniero Agrónomo, Especialista en Biotecnología Agraria,  
Magister en Ciencias Agrarias-Fitopatología.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD.

[monica.patiño@unad.edu.co](mailto:monica.patiño@unad.edu.co), Grupo de investigación GIGASS  
<https://orcid.org/0000-0001-9645-1145?lang=en>

**Citación:** Torres-Torres, M., Escarraga-Pachón, L.F., Patiño-Pacheco, M.J. (2022). Estrategias para la adaptación de un sistema de captación de precipitaciones en la vereda de Las Palmas del municipio de Tunja (Boyacá). *Agricolae & Habitat*, 5 (1), 39 - 57. <https://doi.org/10.22490/26653176.5460>

## RESUMEN

**Contextualización:** En la actualidad, el reto de la agricultura es alimentar a una población cada día en ascenso. Por ello, se debe tener una demanda constante del recurso hídrico para los sistemas productivos. Actualmente, en el departamento de Boyacá, se ha evidenciado un detrimento en la productividad agrícola debido al efecto del cambio climático. Esto en relación a la variación del gradiente de temperatura, alta durante el día y baja en horas de la noche. Con el fenómeno del niño, se ha evidenciado un incremento en la intensidad y frecuencia de las lluvias y a su vez, el fenómeno de la niña, ha ocasionado numerosas pérdidas en la calidad y rendimiento de los cultivos. Con base a lo expuesto aquí, una medida de mitigación consiste en coleccionar el agua lluvia de los techos de viviendas rurales, la cual puede ser aprovechada y utilizada para sistemas de riego, sistemas pecuarios, sistemas agrícolas e hidropónicos o para la vivienda rural.

**Vacío de conocimiento:** La falta de medidas y cálculos relacionados con la recolección de aguas lluvia para beneficio de hogares y/o para sistemas productivos; además de la implementación de estrategias encaminadas a mejorar la disponibilidad del recurso hídrico en épocas de sequía y finalmente, no existen estudios

sobre la captación de aguas lluvia en zonas rurales del departamento de Boyacá.

**Propósito:** Obtener información a partir de datos climatológicos en un periodo de medición de dos años para determinar las estrategias encaminadas a la adaptación de un sistema de captación de precipitaciones y de esta manera, determinar la cantidad de agua captada en una cubierta de una vivienda rural.

**Metodología:** Se colectaron datos de pluviosidad durante un periodo de dos años, con el fin de obtener un volumen aproximado en los episodios invernales. Posteriormente, se analizaron datos de factores climáticos, se determinaron los datos pluviométricos, el área de captación y el volumen de aguas lluvia recolectado en fincas.

**Resultados y conclusiones:** Se obtuvieron los siguientes datos totales por año: para el 2020, se captaron 442 mm de agua y para el 2021, se obtuvieron 357 mm por precipitación, además se recogieron 64.09 litros lo que equivale a 64.0 m<sup>3</sup> para el año 2020 y 51.16 litros, lo que equivale a 51.1 m<sup>3</sup> por año.

**Palabras clave:** Cálculos de áreas; pluviosidad; sistemas productivos; valor pluviométrico; volumen de agua.

# ABSTRACT

**Contextualization:** Currently, the agriculture challenge is to feed a growing population every day. Therefore, there must be a constant demand of water resources for production systems. Currently, in the Boyacá department, a decreasing in agricultural productivity has been evidenced due to the effect of climate change. This in relation to the variation of the temperature gradient, high during the day and low at night. With El Niño phenomenon, an increasing in the rain intensity and frequency has been evidenced and, in turn, La Niña phenomenon has caused numerous losses in the crop quality and yield. Based on the above mentioned, a mitigation measure consists of collecting rainwater from the roofs of rural houses, which can be harnessed and used for irrigation systems, livestock systems, agricultural and hydroponic systems, or for rural housing.

**Knowledge gap:** The lack of measures and calculations related to the rainwater collection for the benefit of households and/or for productive systems; in addition to the implementation of strategies

aimed at improving the availability of water resources in times of drought and finally, there are no studies on rainwater harvesting in rural areas of the Boyacá department.

**Methodology:** Rainfall data were collected over a period of two years, in order to obtain an approximate volume in winter episodes. Subsequently, data on climatic factors were analyzed, rainfall data, the catchment area and the volume of rainwater collected on farms, were determined.

**Results and conclusions:** The following total data per year, were obtained as follows: for 2020, 442 mm of water, were captured and for 2021, 357 mm were obtained by rainfall. In addition, 64.09 liters of rainfall were collected, which is equivalent to 64.0 m<sup>3</sup> for the year 2020 and 51.16 liters of rainfall, which is equivalent to 51.1 m<sup>3</sup> per year.

**Keywords:** Area calculations; productive systems; rainfall; rainfall value; volume of water.

# 1. INTRODUCCIÓN

En el año 2012, el arquitecto Alan Fewkes, publicó un artículo sobre los sistemas de recolección de aguas lluvia titulado: *A review of rainwater harvesting in the UK*, el cual fue llevado a cabo en la escuela de arquitectura de la Universidad de Nottingham Trent, Reino Unido. Este artículo expone los beneficios potenciales de los sistemas de recolección de aguas lluvia, los diferentes tipos de sistemas y componentes utilizados para suministrar agua no potable. El estudio concluye con que este sistema puede mejorar la viabilidad financiera de muchos hogares y mejorar la sostenibilidad ambiental, aunque afirma que se requieren más investigaciones aplicadas a este campo.

El captar y utilizar agua lluvia, es un medio fácil para el consumo humano y de los diferentes sistemas productivos tanto agrícolas como pecuarios. En Colombia, existen varias universidades que han realizado diversas investigaciones dentro de las cuales, se encuentra la Universidad Católica, donde se llevó a cabo un estudio que consistía en realizar un análisis de la respectiva distribución del agua lluvia (Reyes y Rubio, 2014). La Universidad de Antioquia toma su lugar a través de la Especialización en Ingeniería Ambiental con un estudio materializado alrededor de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, el cual se presentó como una poderosa alternativa para el ahorro de agua potable. Este estudio fue llevado a cabo en la institución educativa

María Auxiliadora del departamento de Caldas, Antioquia (Palacio, 2010). En la Universidad ICESI-Cali, Valle del Cauca, Facultad de Ingeniería, Departamento de Diseño; se estructuró un proyecto de grado denominado: Sistema de recolección, almacenamiento y conservación de aguas lluvias para el abastecimiento de agua potable a los habitantes del Pacífico Colombiano en zonas rurales de difícil acceso con ausencia o deficiencia del recurso y es un producto de investigación que aborda contundentemente esta temática de recolección de aguas lluvia (Arango y Flores, 2012).

Por su parte, la Universidad la Gran Colombia de las Américas, a través de su programa de Tecnología en Construcciones Arquitectónicas, Facultad de Arquitectura, realiza una cartilla guía orientada a los sistemas de captación de agua lluvia y su posterior uso de beneficio y aprovechamiento en viviendas multifamiliares del barrio Pastranita de la localidad de Kennedy, Bogotá D.C. (De la Cruz y Castellanos, 2020). La Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD, a través de la Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios y la Especialización en Gestión de proyectos, consolidaron dos trabajos de grado en los cuales se trabajó específicamente en el desarrollo de esta alternativa, el primero llevó como título: Sistema de captación, abastecimiento y aprovechamiento de aguas lluvias para viviendas urbanas y el segundo, se denominó: Diseño de

un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable en vivienda unifamiliar, vereda la Sabana del municipio de Villa de Leyva-Boyacá; donde se logró analizar cuidadosamente la relación costo-beneficio de las unidades multifamiliares (Ruiz, 2018).

Los sistemas de recolección de agua lluvia son muy poco usados en Colombia por falta de reglamentación, socialización, comercialización y por ser un país con gran abundancia de este recurso. No obstante, con el transcurso de los años, se ha evidenciado un incremento en la demanda de este tipo de sistemas; por factores como la sequía y la contaminación de fuentes superficiales, lo cual genera altos costos e imposibilita contar adecuadamente con este valioso recurso hídrico vital para la supervivencia del ser humano (Olaiz Fernández, 1994).

En el departamento de Boyacá, se tiene conocimiento de que en municipios como Villa de Leyva, Tinjacá, Sáchica, Ráquira y Sutamarchán, se presenta escasez de precipitaciones y este escenario, conlleva a que el elemento agua sea muy escaso, por ello, se deben establecer medidas que permitan su disponibilidad en épocas críticas.

Otro inconveniente que se presenta en el departamento de Boyacá, es la falta de asistencia técnica y de capacitación a

los productores sobre captación de aguas lluvia y los beneficios que conlleva esta alternativa en los aspectos económico, ambiental y social; capacitaciones que deberían ser ejecutadas por parte de los entes gubernamentales. La disminución del recurso hídrico y su constante demanda para una población en ascenso, se convierte en una amenaza para todo sistema productivo. Los productores se han visto perjudicados por el efecto del cambio climático, a medida que pasa el tiempo, están afectando los recursos hídricos.

Desde el punto de vista de la normatividad legal, se dispone para tales fines, la Ley 373 de 1997 que hace referencia al uso eficiente del agua. En el año 2017, se presentó ante el Congreso de la República de Colombia, el Proyecto de Ley 48, el cual buscaba implementar e incentivar, los sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvia, además de la captación de energía solar. Hasta ahora, no se ha dispuesto ninguna Ley que incentive y promueva la captación de aguas lluvia mediante la recolección de infraestructuras rurales.

El objetivo de esta investigación fue determinar las estrategias para la adaptación de un sistema de captación de precipitaciones y determinar la cantidad de agua captada en una cubierta de una vivienda rural durante un periodo de dos años utilizando cálculos pertinentes.



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se estableció en la Finca la Palma, la cual consta de 8 has ubicada en la vereda Tras del Alto, municipio de Tunja-Boyacá con una producción pecuaria de ovinos (60 animales); una producción agrícola basada en el cultivo de avena (*Avena sativa* L. y alfalfa (*Medicago sativa* L.) (3.2 ha), para el balance nutricional de la ganadería ovina.

### Área de captación

Se compone de una cubierta a dos aguas con un área de 145m<sup>2</sup>; el material de la cubierta está compuesto de teja de asbesto pintada en su cara exterior.

### Canalización de la cubierta

La canalización de la cubierta se compone de dos canaletas de acero galvanizado de 12 metros de longitud, de base 25 cm, cara frontal 20 cm y con una cara interna de 15 cm. Su instalación tiene una pendiente estándar del 2% de inclinación.

### Método de desagüe

El desagüe se compone de un tubo bajante de PVC de 3" de diámetro, el cual, al final de la línea consta de una válvula de alivio de 3" en material PVC para el control del caudal, dado el caso que se llegara a superar el volumen del embalse; la descarga se hacía de forma directa sobre el tanque de recolección.

### Tanque de recolección o embalse

El tanque de recolección se construyó a una distancia de 4 metros de la casa de donde se realiza la captación; se diseñó de forma rectangular con base en elementos

estructurales de cemento, gravilla, ladrillo y hierro; con las siguientes medidas internas específicas: i) altura=1.2m; ii) ancho=2.5m y iii) largo= 6m. El tanque está provisto por una superficie de una lona de poli sombra con el objetivo de contrarrestar el efecto de la radiación en términos de evaporación del agua.

### Pluviómetro

Este instrumento se instaló a 15 metros de la estructura de captación de agua en un área abierta desprovista de obstáculos como arboles u otras construcciones simulando las mismas condiciones del área de captación y canalización.

### Metodología

Durante cada evento invernal, se procedió a tomar lecturas del pluviómetro en milímetros de agua; el tiempo de cada episodio de lluvia, se calculó en minutos y horas, y posteriormente al evento invernal, se realizaron los respectivos cálculos para determinar la cantidad de agua captada en la infraestructura del techo de la finca, aplicando la fórmula de captación expuesta en la ecuación 1.

$$\text{Área} = L (m \times a)$$

Ecuación 1

Donde: L = litro m (precipitación);  
a = área de la infraestructura.

Se debe explicar que el estudio que se realizó es para calcular la cantidad de agua que se puede captar desde una infraestructura rural.

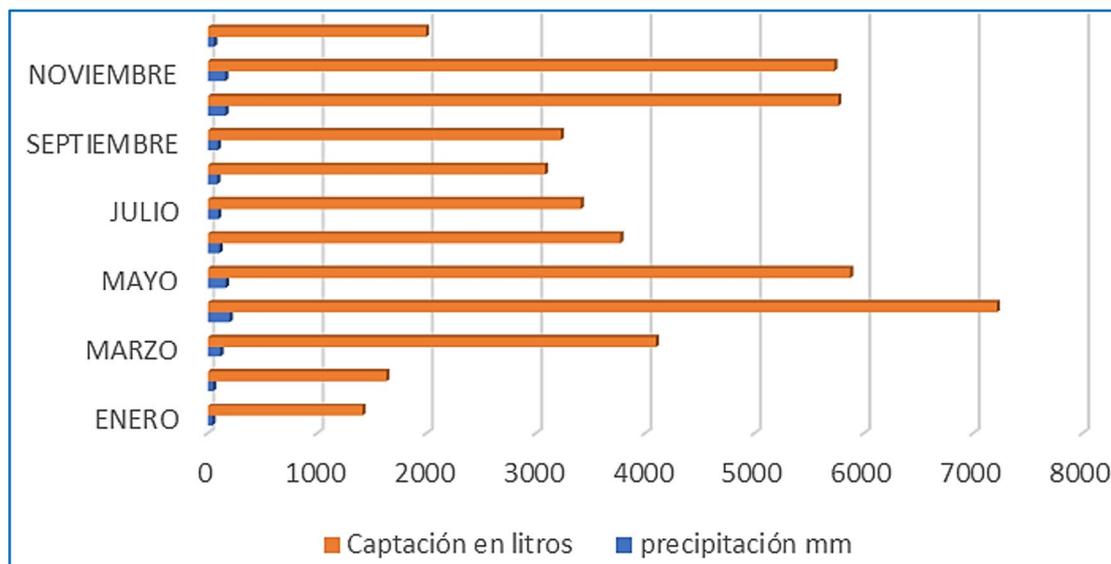
# 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la investigación se obtuvieron a partir de los análisis realizados a los datos de las precipitaciones y de otros factores meteorológicos, así

como también de la captación de aguas lluvia obtenida en la Finca las Palmas de la vereda Tras del Alto, municipio de Tunja-Boyacá, con un área de 145m<sup>2</sup>.

## ● Figura 1

*Datos climatológicos generales del área de estudio correspondiente al periodo 2020-2021*



Fuente: Autores

De acuerdo con los datos climatológicos recolectados para el año 2020, se evidencia en la figura 1, que para los meses de abril (7100 mm), mayo, octubre y noviembre (5900 mm), se colectó la mayor cantidad de agua lluvia, que se utilizó para los sistemas productivos. En cambio para los meses de Enero y febrero

solo se recolecto un promedio de 1500 mm. Estos datos estaban sujetos a la frecuencia de las lluvias y duración de cada episodio. La mayor captación de lluvias en todo el año 2021, se presentó para el mes de abril con 7213 mm y una precipitación promedio de 199 mm (ver tabla 1).

## ■ Tabla 1

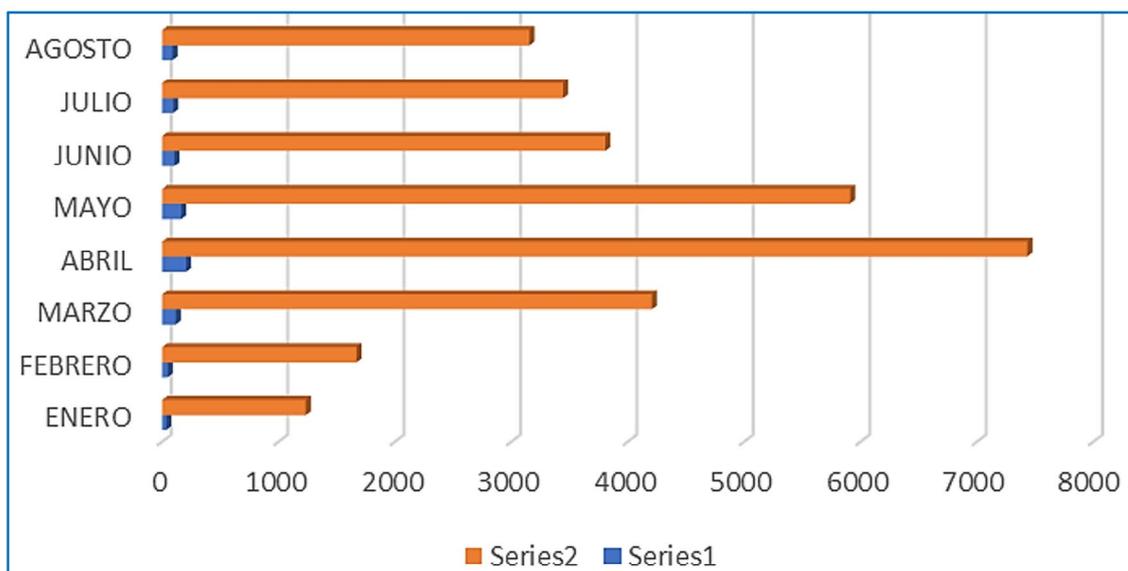
*Datos generales de la zona año 2021*

Mes	Precipitación (mm)	Captación (L)
Enero	39	1413.70
Febrero	45	1631.20
Marzo	113	4095.20
Abril	199	7213.70
Mayo	162	5872.50
Junio	104	3770
Julio	94	3407.50
Agosto	85	3081.20
Septiembre	89	3226.20
Octubre	159	5763.50
Noviembre	158	5727.30
Diciembre	55	1993.70

**Fuente:** Adaptado de los datos suministrados por el portal oficial Weather Spark. Weather Spark (s.f.). <https://es.weatherspark.com>

## ● Figura 2

*Datos climatológicos generales del área de estudio, año 2020*



**Fuente:** Autores

## ■ Tabla 2

*Datos climatológicos generales de la zona, año 2020*

Mes	Precipitación (mm)	Captación (L)
Enero	34	1232.50
Febrero	46	1667.50
Marzo	116	4205
Abril	205	7431.25
Mayo	163	5908.70
Junio	105	3806.25
Julio	95	3443.75
Agosto	87	3153.75
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
Diciembre		

**Fuente:** Adaptado de los datos suministrados por el portal oficial Weather Spark.  
Weather Spark (s.f.). <https://es.weatherspark.com>

Por el contrario, para el primer periodo del año 2020, específicamente los meses de enero a febrero, el promedio de lluvias osciló entre 34-46 mm; la captación de litros fue de apenas 1390 mm. Al contrario, para el mes de abril del mismo año, se registró un mayor volumen de aguas lluvia

en todo el año 2020, que fue de 205 mm, lo que se tradujo en una captura de 7431 mm, al igual que para el mes de mayo de 5908 mm. En estos meses, se puede observar un incremento en la frecuencia de lluvias con una mayor duración en cada episodio (ver tabla 3).

## ■ Tabla 3

*Temperatura promedio, año 2020*

T°C	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Máxima	17°C	17°C	17°C	17°C	17°C	16°C	15°C	15°C	16°C	16°C	17°C	17°C
Temp.	11°C	11°C	12°C	12°C	12°C	12°C	11°C	11°C	11°C	11°C	12°C	11°C
Mínima	5°C	6°C	7°C	8°C	8°C	8°C	7°C	7°C	6°C	7°C	7°C	6°C

**Fuente:** Weather Spark (s.f.). <https://es.weatherspark.com>

En cuanto a las temperaturas para el año 2020, se puede observar que se mantuvieron constantes; la temperatura máxima estuvo entre 15-17°C; la temperatura

mínima fue de 5-8°C; las más bajas temperaturas se presentaron debido a que se registraron heladas en el mes de enero (ver tablas 4,5,6).

## ■ Tabla 4

*Velocidad del viento, año 2020*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Velocidad viento (kph)	5.9	6.5	6.5	6.5	7.0	8.3	8.8	8.4	7.4	5.6	4.8	5.2

Fuente: Weather Spark (s.f.). <https://es.weatherspark.com>

## ■ Tabla 5

*Temperatura promedio, año 2021*

Promedio	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Máxima	22 °C	22 °C	18°C	18°C	19 °C	19 °C	19 °C	19 °C
Temp.	11 °C	11 °C	12 °C	12 °C	12 °C	12 °C	11 °C	11 °C
Mínima	3 °C	2 °C	5 °C	9 °C	9 °C	8 °C	9 °C	8 °C

Fuente: Weather Spark (s.f.). <https://es.weatherspark.com>

## ■ Tabla 6

**Datos meteorológicos obtenidos de la Finca, año 2021**

Mes	Semana	Fecha	Toma de la lectura AM/PM	Duración del evento	Lectura del pluviómetro en mm	Observaciones
Enero					0	sin lluvias, verano total, heladas
Febrero					0	
Marzo					0	
Abril					0	
Mayo	1	1-may-21	am	30	8	lloviznas leves cielo nublado
		2-may-21	am	30	5	
		3/05/2021	am	30	2	
		4/05/2021	am	30	12	
		5/05/2021	am	30	5	
		6/05/2021	am	30	3	
		7/05/2021	am	30	5	
	2	8/05/2021	am	30	3	
13/05/2021	am	60	4			

**■ Tabla 6**  
Continuación

Mes	Semana	Fecha	Toma de la lectura AM/PM	Duración del evento	Lectura del pluviómetro en mm	Observaciones
Mayo	3	17/05/2021	am	30	2	lluvias leves y constantes
		24/05/2021	am	15	2	
		25/05/2021	am	15	3	
		28/05/2021	am	60	15	
		29/05/2021	am	30	4	
		30/05/2021	am	15	3	
Junio	3	15/06/2021	am	60	15	mayor parte del mes cielo nublado
Julio	1	4/07/2021	am	60	14	nublado
		6/07/2021	am	15	2	
		7/07/2021	am	15	3	
		11/07/2021	am	15	3	
		13/07/2021	am	15	2	
	3	21/07/2021	am	90	19	
Agosto	1	1/08/2021	am	15	3	lluvias constantes
		3/08/2021	am	60	4	
		4/08/2021	am	15	3	
	2	8/08/2021	am	5	25	
		13/08/2021	am	15	2	
	3	22/08/2021	am	15	3	
	4	27/08/2021	am	30	8	
		28/08/2021	am	1	8	
Septiembre	1	3/09/2021	am	n/a	1	nublado lluvias leves y constantes
		5/09/2021	am	n/a	1	
	2	8/09/2021	am	n/a	1	
		9/09/2021	am	n/a	1	
		12/09/2021	am	n/a	3	
		14/09/2021	am	n/a	2	
		15/09/2021	am	n/a	3	
	3	17/09/2021	am	n/a	5	
		20/09/2021	am	n/a	2	
		21/09/2021	am	n/a	1	

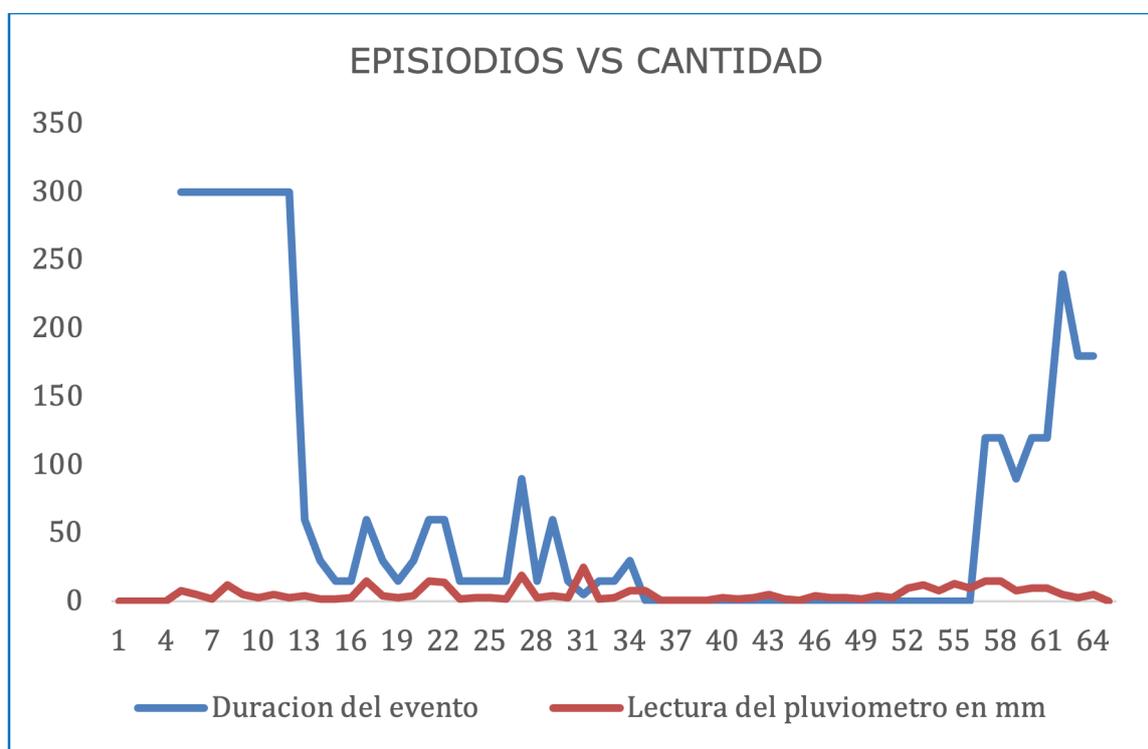
**■ Tabla 6**  
*Continuación*

Mes	Semana	Fecha	Toma de la lectura AM/PM	Duración del evento	Lectura del pluviómetro en mm	Observaciones
Septiembre	4	23/09/2021	am	n/a	4	nublado lluvias leves y constantes
		25/09/2021	am	n/a	3	
		30/09/2021	am	n/a	3	
Octubre	1	6-oct-21	am	n/a	2	
		7-oct-21	am	n/a	4	
	2	8-oct-21	am	n/a	3	
		10-oct-21	am	n/a	10	
		11-oct-21	am	n/a	12	
Octubre	3	15-oct-21	am	n/a	8	
		16-oct-21	am	n/a	13	
		17-oct-21	am	n/a	10	
	4	25-oct-21	am	120	15	
		26-oct-21	am	120	15	
		27-oct-21	am	90	8	
		28-oct-21	am	120	10	
Noviembre	1	3-nov-21	am	24	5	
		6-nov-21	am	18	3	
		8-nov-21	am	18	5	
Diciembre					0	
Total					357	

Fuente: Autores

● **Figura 3**

Datos correlacionados con el número de episodios cs cantidad de lluvia, año 2021



Fuente: Autores

La tabla 7, expone los datos meteorológicos obtenidos en el área de estudio, año 2020.

■ **Tabla 7**

**Datos meteorológicos obtenidos en el área de estudio, año 2020**

Mes	Semana	Fecha	Toma de lectura am/pm	Duración del evento	Lectura del pluviómetro en mm	Observaciones
Enero	4	27-ene-20	am	15	2	predominan tiempo seco y cielo despejado
Febrero	2	20-feb-20	am	15	3	esporádicas lloviznas, heladas
	3	21-feb-20	am	60	8	
Marzo	2	22-feb-20	am	15	1	resto del tiempo seco, soleado, heladas.
		12-mar-20	pm	5	-1	
	3	14-mar-20	am	4	-1	
Abril	3	19-mar-20	pm	4	-1	lloviznas con granizo
		16/04/2020	am	15	6	
		19/04/2020	am	15	4	
		20/04/2020	pm	10	3	

**■ Tabla 7**  
*Continuación*

Mes	Semana	Fecha	Toma de lectura am/pm	Duración del evento	Lectura del pluviómetro en mm	Observaciones
Mayo	1	1/05/2020	am	10	2	mayor parte de tiempo seminublado sin lluvias
Junio	3	18/06/2020	am	20	6	cielo mayormente nublado
	4	25/06/2020	am	15	4	
		29/06/2020	am	15	5	
Julio	3	17/07/2020	am	30	10	lluvias cortas y moderadas
		18/07/2020	am	30	8	
	4	22/07/2020	am	30	9	
		27/07/2020	am	30	15	
		30/07/2020	am	45	22	
Agosto	1	7/08/2020	am	30	8	comienzo de temporada lluviosa, predomina lluvias de suaves a moderadas
	2	8/08/2020	am	30	10	
		9/08/2020	am	60	15	
		10/08/2020	am	90	18	
		11/08/2020	am	60	16	
		12/08/2020	am	30	10	
	13/08/2020	am	60	12		
		14/08/2020	am	6	24	lluvia torrencial toda la madrugada
	22/08/2020	am	30	8	lloviznas esporádicas durante el día	
Septiembre	1	1/09/2020	am	30	8	lloviznas esporádicas durante el día
		2/09/2020	am	30	9	
		5/09/2020	am	3	18	
	2	9/09/2020	am	210	22	lluvias fuertes
		13/09/2020	am	30	6	
	3	16/09/2020	pm	3	15	
	4	23/09/2020	am	3	14	lluvias suaves de madrugada

■ **Tabla 7**  
 Continuación

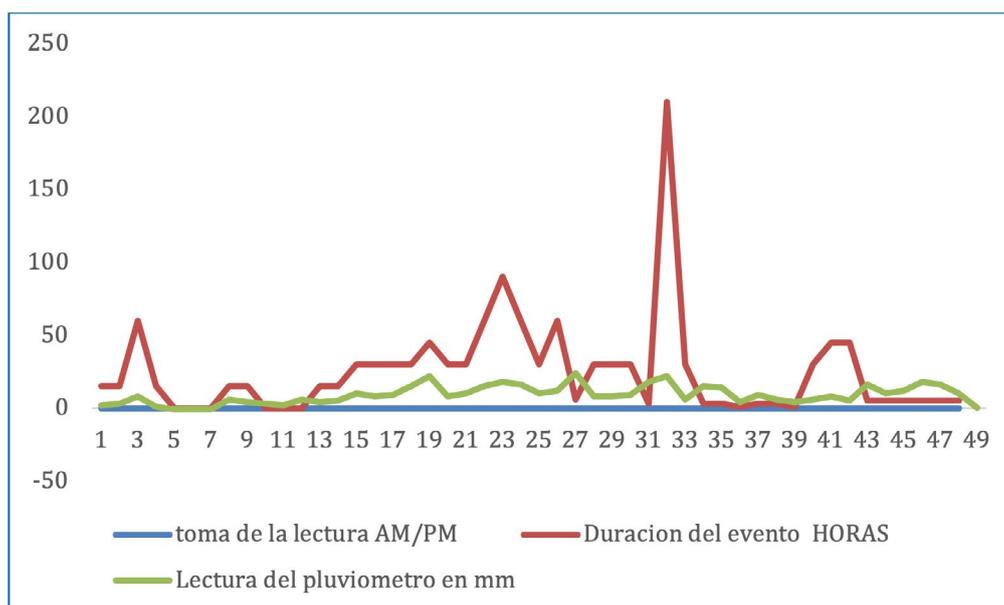
Mes	Semana	Fecha	Toma de lectura am/pm	Duración del evento	Lectura del pluviómetro en mm	Observaciones
Octubre	1	4/10/2020	am	1	4	lloviznas cortas y heladas en la madrugada
		6/10/2020	pm	3	9	
	2	7/10/2020	pm	3	6	lloviznas nocturnas
		8/10/2020	pm	1	4	
	4	29/10/2020	am	30	6	lluvias esporádicas
		30/10/2020	am	45	8	
31/10/2020		pm	45	5		
Noviembre	1	1/11/2020	am	5	16	lluvias continuas mayor a 5 horas
		2/11/2020	am	5	10	
		3/11/2020	am	5	12	
		4/11/2020	am	5	18	
	4	29/11/2020	am	5	16	
		30/11/2020	am	5	10	
Diciembre					0	Sin lluvias
<b>Total</b>					<b>442</b>	

Fuente: Autores

La figura 4 expone los datos de no ocurrencia de lluvias o episodios cero vs la cantidad de lluvia para el año 2021.

● **Figura 4**

Datos de no episodios vs cantidad de lluvia, año 2021



Fuente: Autores

La investigación que se realizó, busca estrategias orientadas al incremento en el nivel de aprovechamiento de las precipitaciones, con el fin de reducir la dependencia hídrica de cuencas externas y el consumo de agua de los acueductos veredales y de los municipios. El aprovechamiento de aguas lluvia, contribuye de forma significativa a satisfacer las necesidades de agua no potable, como el agua para riego y cisternas de inodoros. El sistema de captación de aguas lluvia, debe estar dotado de una superficie captadora, canales de conducción, un sistema de decantación o filtrado de impurezas y un tanque o depósito de almacenamiento.

La Promoción de capacitación a las comunidades rurales en el proceso de cap-

tación de aguas lluvia para utilizarlas en las actividades agropecuarias y de uso doméstico, es una alternativa para el desarrollo de la producción en el campo, además se debe propender por implementar capacitaciones en la implementación del sistema de captación de aguas lluvia para el aprovechamiento.

Se calcula que si se implementa el sistema en todas las viviendas de la vereda Tras del Alto (185 unidades), la cantidad de agua de dotación estaría alrededor de  $32.54 \text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$  en un área de  $100 \text{ m}^2$  por vivienda, y arrojó un dato estimado de  $6020 \text{ m}^3$  en todas las viviendas de la vereda, lo cual es una cantidad de agua significativa para ser usada en épocas de sequía o verano.

## 4. CONCLUSIÓN

La investigación sobre las estrategias para la adaptación de un sistema de captación de precipitaciones en la vereda de las palmas del municipio de Tunja-Boyacá después de la toma de datos, concluye que existe una disminución potencial en los episodios de precipitación entre los años 2020-2021, por consiguiente; este año existe menos captación de lluvias que el año anterior. Sin embargo, otras condiciones climatológicas con mediciones de vientos y radiación solar, también evidenciaron un detrimento. Además, cualquier tipo de infraestructura rural puede servir como fuente de captación de aguas lluvia.

Los modelos productivos se pueden adaptar al ciclo de precipitaciones de acuerdo con la capacidad de captación y embalse bajo infraestructuras que impiden la evaporación de agua y permiten un suministro constante en periodos de sequía.

Se deben desarrollar estrategias encaminadas hacia una nueva dinámica de

producción basada en modelos ecológicos que no afecten el ecosistema, y que se ajusten a la oferta hídrica típica de la zona, permitiendo realizar una producción constante y sustentable bajo condiciones limitadas. A nivel social, se debe propender por impartir a las comunidades rurales, la posibilidad de utilizar una pequeña porción de espacio en sus parcelas para llevar a cabo la implementación de un sistema de captación de aguas lluvia y finalmente, se hace un llamado a los entes gubernamentales para impartir capacitación y asistencia técnica a los productores sobre captación eficiente de aguas lluvia.

### Contribución de autoría

Primer autor: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original; segundo autor: análisis de datos, escritura, revisión y edición; tercer autor: revisión y edición, supervisión, conceptualización y escritura.

## AGRADECIMIENTOS

Se le extiende los más sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD, por su apoyo en el desarrollo del artículo. Así mismo, a la propietaria de la finca Las

Palmas, la señora Flor María Pachón de Escárraga por su disponibilidad en la colaboración para obtener los datos de información requerida para el desarrollo del proyecto.

# REFERENCIAS

- Arango Escobar N. y Flórez Cardona J. (2012). Sistema de recolección, almacenamiento y conservación de aguas lluvias para el abastecimiento de agua potable a los habitantes del Pacífico Colombiano en zonas rurales de difícil acceso con ausencia o deficiencia del recurso. Trabajo de grado, Universidad Icesi, Facultad de Ingeniería, Departamento de Diseño (Eds.) Santiago de Cali. [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/68576/1/uma%C3%B1a\\_sistema\\_recoleccion\\_almacenamiento\\_2012.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/68576/1/uma%C3%B1a_sistema_recoleccion_almacenamiento_2012.pdf).
- Allen, G., Pereira, S., Raes, D. y Smit, M. (2006) Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s02.pdf>.
- Critchely, W. y Siegert, K. (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia opciones técnicas para la agricultura familiar en américa latina y el caribe. <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>.
- COSIGLOS. (2010). Introducción a la captación de agua. <http://www.ecosiglos.com/2010/10/una-introduccion-la-captacion-de-agua.html>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO. (2017). El futuro de la alimentación y la agricultura tendencias y desafíos. <http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf>.
- Fewkes, A. (2012). A review of rainwater harvesting in the UK. Nottingham Trent University, Press.
- Grupo del Banco Mundial. (2017) El agua en la agricultura. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (1999). Cartas climatológicas medias mensuales. <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/tunja/temperatura.htm>.
- Castellanos, L. y García, C. (2015). Diseño e implementación de un prototipo de sistema de recolección y tratamiento de aguas lluvia en casa multifamiliar. Universidad Católica de Colombia (Eds.).
- IDEAM. (2000). Estudio Nacional del agua. Colombia: Instituto de hidrología meteorológica y estudios ambientales.
- Olaiz Fernández, G. (1994). Norma Oficial Mexicana NOM127SSA11994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México, D.F.

- Palacio N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. Trabajo de Monografía para optar al título de Especialista en Manejo y Gestión del Agua. Universidad de Antioquia (Eds.). <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/1325/1/PropuestaSistemaAprovechamientoAguaLluvia.pdf>
- Reyes C. y Rubio J. (2014) Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias. Trabajo de grado Especialización de Recursos Hídricos. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil (Eds.). <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2089/1/Recoleccion-aguas.pdf>
- Ruiz, S. (2018). Diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable en vivienda Unifamiliar, Vereda la Sabana del municipio de Villa de Leyva- Boyacá. Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD (Eds.). <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/25289>



**Licencia de Creative Commons**

Revista Agricolae & Habitat is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.





Fecha de recibido: 27/11/21  
Fecha de aceptado: 26/05/2022



## **Fijación biológica de nitrógeno en caña de azúcar: una alternativa a gases nitrogenados efecto invernadero**

## **Biological nitrogen fixation in sugar cane crop: an alternative to nitrogen gases for greenhouse effect**

**Sandra Patricia Montenegro Gómez**  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
<https://orcid.org/0000-0003-0035-0089>  
sandra.montenegro@unad.edu.co

**Sandra Yamilé Pulido Pulido**  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
<https://orcid.org/0000-0003-4208-0611>  
sandra.pulido@unad.edu.co

**Jonatan Mina**  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
<https://orcid.org/0000-0001-6571-6593>  
jminav@unadvirtual.edu.co

**Citación:** Montenegro-Gomez, S.P., Pulido-Pulido, S.Y., Mina, J. (2022). Fijación biológica de nitrógeno en caña de azúcar: una alternativa a gases nitrogenados efecto invernadero. *Working Papers ECAPMA*, 5(1), 59 - 77.  
<https://doi.org/10.22490/26653176.5475>

## RESUMEN

**Contextualización:** La agricultura es la cuarta causa de emisión de gases efecto invernadero y emite grandes cantidades de los llamados “gases que no son CO<sub>2</sub>”, incluyendo N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> con un poder de calentamiento de 265 y 28 veces respectivamente, mayor en comparación con el CO<sub>2</sub>.

**Vacío de conocimiento:** Al aplicar fertilizantes basados en nitrógeno (N) amoniacal o ureico sobre un cultivo, se incrementan las emisiones de N<sub>2</sub>O debido al aporte de la oxidación biológica de amonio a nitrato. En el cultivo de la caña de azúcar, el N es el nutriente más limitante en la producción. Estudios iniciados en suelos brasileiros fertilizados con baja o ninguna aplicación de N, demostraron que la contribución de microorganismos diazotróficos (fijadores de nitrógeno), podría suplir entre el 30% y 70% las necesidades de este nutriente.

**Propósito:** La presente revisión tiene como objetivo, el aportar información relevante sobre la actividad funcional de microorganismos diazotróficos en el rendimiento del cultivo de la caña de azúcar y estimular el uso de prácticas de fertilización con menor impacto ambiental; principalmente un detrimento en la emisión de gases efecto invernadero originados a partir de fuentes de nitrógeno de síntesis química.

**Conclusión:** La fertilización nitrogenada a futuro, podría sustituirse parcial o totalmente con el aprovechamiento funcional de microorganismos fijadores de nitrógeno, con expectativas de mejorar condiciones ambientales causadas por fertilizantes nitrogenados de síntesis química.

**Palabras clave:** Agricultura; bacterias fijadoras de nitrógeno; cambio climático; deterioro ambiental.

# ABSTRACT

**Contextualization:** Agriculture is the fourth cause of greenhouse gas emission and emits large amounts of “gases that do not yield CO<sub>2</sub>”, including N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> with a heating power of 265 and 28 times respectively, greater in comparison with CO<sub>2</sub>.

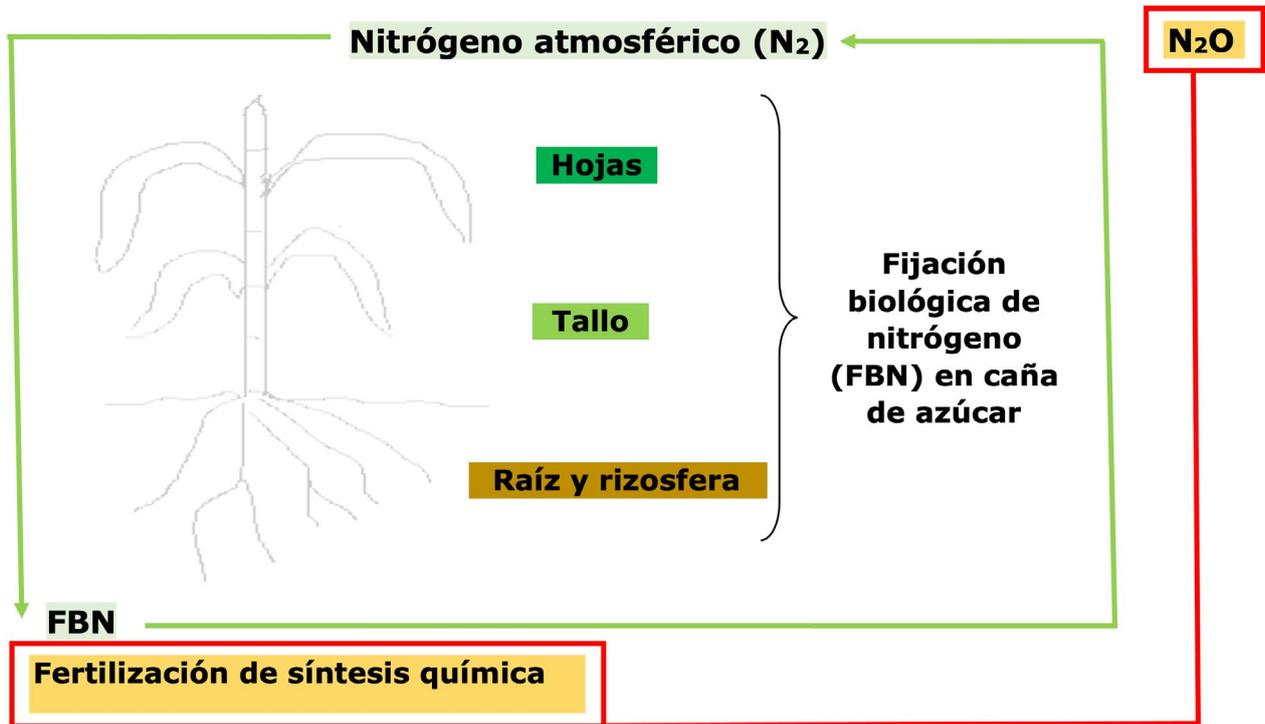
**Knowledge gap:** When applying nitrogen (N) ammoniacal or ureic fertilizers on a crop, N<sub>2</sub>O emissions are increased due to biological oxidation of ammonia to nitrate contribution. In sugarcane crop, N is the most limiting nutriment in crop yield. Studies initiated in Brazilian soils fertilized with low or neither N supplying, have shown that the diazotrophic microorganisms (nitrogen fixers) contribution, can supply between 30% and 70% of this nutrient need.

**Purpose:** This review, hopes to contribute with relevant information about functional activity of diazotrophic microorganisms in sugarcane crop yield and to stimulate the use of fertilization practices with less environmental impact, mainly less greenhouse gas emissions originating from nitrogen sources of chemical synthesis.

**Conclusion:** Nitrogen fertilization in a near future, could be partially or totally replaced by a functional use of nitrogen-fixing microorganisms, with expectations of improving environmental conditions caused by chemically synthesized nitrogen fertilizers.

**Keywords:** Agriculture; climate change; environmental degradation; nitrogen-fixing bacteria.

# RESUMEN GRÁFICO



# 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es considerado como uno de los problemas ambientales más urgentes a nivel global, y el impacto negativo más importante, es la emisión de gases efecto invernadero (GEI) (Alföldi et al., 2003; Sepúlveda et al., 2019).

La agricultura es la cuarta causa de emisión GEI y emite grandes cantidades de los llamados “gases que no son CO<sub>2</sub>”, incluyendo N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> con un poder de calentamiento de 265 y 28 veces, respectivamente, mayor en comparación con el CO<sub>2</sub> (Saynes et al., 2016; Montenegro et al., 2021). Se estima que la aplicación de fertilizantes representa aproximadamente el 1.5% de las emisiones globales de GEI (IFA, 2018). En lo que respecta a fertilizantes nitrogenados de síntesis química, éstos son considerados como los principales causantes de emisiones del GEI N<sub>2</sub>O, con un alcance aproximado de 70% del total emisiones globales (Moiser et al., 1996; Malla et al., 2005; Li et al., 2018).

Al aplicar fertilizantes nitrogenados de carácter amoniacal o ureico sobre un cultivo en particular, se incrementan las emisiones de N<sub>2</sub>O debido al aporte de la oxidación biológica de amonio a nitrato (López et al., 2018); razón suficiente para replantear la forma de fertilización y encaminarse hacia prácticas agrícolas sustentables (Polanco et al., 2019), donde los ciclos de nutrientes y en particular el ciclo del nitrógeno, se pueda mantener sin pérdidas que impacten el medio ambien-

te, principalmente por emisiones de N<sub>2</sub>O; un potente GEI liberado después de las actividades de manejo del suelo, especialmente durante el riego cuando se aplica el fertilizante nitrogenado. Una preocupante situación que concierne a científicos, ambientalistas, gobiernos, industria y cuerpos internacionales (Montenegro y Barrera, 2014; Montenegro et al., 2017).

De acuerdo con García y González (2016), quienes se basaron en un reporte realizado por la IFA-International Fertilizer Association desde 1961 hasta 2013, el consumo mundial de fertilizantes creció 571%. En 2013, el consumo fue de aproximadamente 181 millones de toneladas; de este total, 110 correspondieron a nitrógeno (N), es decir, 61%. Esta tendencia se mantiene debido a que el N es considerado el nutriente más importante en términos de fertilizantes (USDA, 2010). Por lo tanto, se hace urgente la realización de estudios encaminados hacia el fortalecimiento de la bioprospección de bacterias fijadoras de nitrógeno en diversos cultivos agrícolas, debido a que la FBN ejercida por estas bacterias, representa el 65% de N atmosférico que puede ser fijado naturalmente y con disponibilidad para las plantas; este proceso se basa en la reducción del N<sub>2</sub> atmosférico a un estado inorgánico combinado (NH<sub>3</sub>), mediado por la enzima nitrogenasa, la cual es exclusiva de estas bacterias tal y como lo reportaron Moreira y Siquiera (2006) y se expone en la ecuación 1.



Ecuación 1

la presente revisión tiene como objetivo, el aportar información relevante para la producción sustentable del cultivo de la caña de azúcar mediante la bioprospección de la fijación biológica de nitrógeno (FBN).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura de acuerdo con los parámetros establecidos por PRISMA (Urrutia y Bonfill, 2010) y con base a información relevante en temáticas relacionadas con la fijación biológica de nitrógeno, el uso de agroquímicos en el cultivo de la caña de azúcar y los gases nitrogenados efecto invernadero.

**Motor de búsqueda:** La búsqueda se delimitó principalmente a documentos registrados en Google Scholar, una herramienta gratuita y efectiva para localizar información actualizada procedente de diversas instituciones académico-científicas.

**Palabras clave utilizadas:** Se hizo uso del recurso denominado, Tesoro de la UNESCO (en español e inglés). Se seleccionaron las siguientes palabras clave: *i)* Agricultura; *ii)* Contaminación; *iii)* Biología agraria y *iv)* Bacterias fijadoras de nitrógeno, debido a que aportan información relevante para la debida comprensión de la problemática de contaminación agrícola por compuestos ni-

trogenados y el papel biológico para su mitigación.

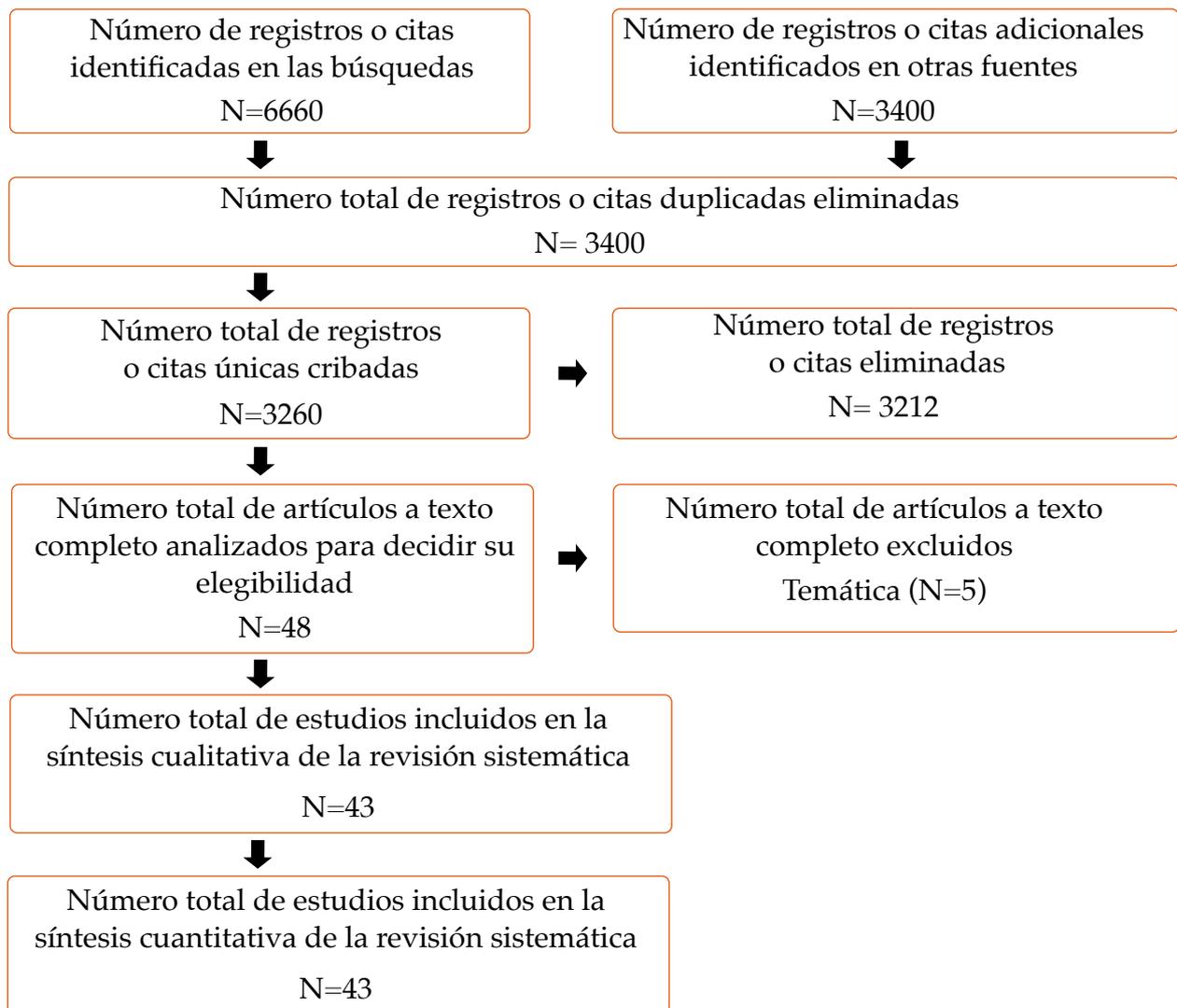
**Selección de estudios y criterios de elegibilidad:** Inicialmente, se incluyeron artículos que abordaran el tema objeto de estudio, principalmente en idioma inglés, teniendo en cuenta que las investigaciones de alto impacto en su mayoría, son publicadas en este idioma; el segundo idioma seleccionado fue el portugués, teniendo en cuenta los grandes avances llevados a cabo en Brasil en temáticas relacionadas con la fertilización biológica en el cultivo de la caña de azúcar. Otro factor importante fue la fecha de publicación, en este sentido, se conservó un equilibrio entre algunos artículos antiguos vitales en la fundamentación teórica y artículos con información reciente. Entre los documentos seleccionados inicialmente, se excluyeron aquellos que al leerlos, no abordaban directamente el tema objeto de estudio.

# 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos por número de registro de búsqueda, selección de artículos y registro completo para la estructuración de la presente revisión, se relacionan en la figura 1.

## • Figura 1

Diagrama PRISMA de la información a través de las diferentes fases de revisión sistemática asociada a las temáticas de fijación biológica de nitrógeno, uso de agroquímicos en caña de azúcar y gases nitrogenados efecto invernadero.



Adaptado a partir de Urrutia y Bonfill (2010).

### 3.1 Fertilización nitrogenada de síntesis química y respuesta del cultivo de caña de azúcar

Tanto en literatura antigua como reciente, se reporta al N como el nutrimento que más limita la producción del cultivo de la caña de azúcar, siendo las fuentes de N más utilizadas, la urea (46% de N); el sulfato de amonio (21% de N); el amoniaco anhidro (82% de N) y el fósforo dinámico o DAP (18% de N y 20% de P) (Quintero, 1995). Sin embargo, en un estudio realizado en Brasil por Reis y Kennedy (2007) y Ohyama et al. (2014), quedó en evidencia una disminución en las tasas de fertilización de N, generalmente inferior a 60 kg de N por hectárea y cabe anotar que fue llevado a cabo en Brasil, que es el máximo productor del cultivo de la caña de azúcar a nivel mundial. Se comprobó además, la débil respuesta a los fertilizantes de N en este cultivo (Boddey, 1995; Reis et al., 2007; Ohyama et al., 2014), con solo el 19% de incremento significativo en el rendimiento debido a la aplicación del fertilizante nitrogenado (Azeredo et al., 1986; Ohyama et al., 2014).

Otros estudios llevados a cabo en Brasil como el de Dong et al. (1994), dan cuenta que en algunos sitios donde se ha sembrado continuamente el cultivo de la caña de azúcar durante cien años, no se ha evidenciado aplicación alguna de fertilizante nitrogenado. También se ha evidenciado que ciertas variedades de caña de azúcar, han presentado rendimientos de hasta de 200 ton.ha<sup>-1</sup> sin fertilización nitrogenada (Urquiaga et al., 1992; Döbereiner, 1997). Por otro lado, en términos de calidad y rendimiento, se ha evidenciado que aunque los niveles altos de N

están casi siempre asociados con un vigoroso desarrollo vegetativo, en contraste, tienden a disminuir los contenidos de sacarosa (Wang, 1976). Esta evidencia circunstancial sugiere un alto potencial de BNF en la productividad de caña de azúcar (Ohyama et al., 2014).

### 3.2 FBN en caña de azúcar

La FBN es la principal fuente de N para la biosfera terrestre (Galloway et al., 1995; Vitousek et al., 1997) y es realizada exclusivamente por microorganismos de los dominios Bacteria y Arquea que pueden ser simbióticos, asociativos o de vida libre, (Reed et al., 2011), los cuales son conocidos como diazotróficos. Los suelos brasileros fertilizados con baja o ninguna aplicación de N, demostraron que la contribución de FBN podría suplir entre el 30% y 70% las necesidades de este nutriente en el cultivo de la caña de azúcar (Döbereiner y Duque; 1980; Lino, 2018). Por otra parte, en estudios realizados por la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria-EMBRAPA/CNPBS, se encontró que al cuantificar el N proveniente de FBN en la variedad de caña de azúcar CB 47-89, su acumulación de N era mayor a 150 Kg de N.ha<sup>-1</sup> (Lima et al., 1987; Döbereiner, 1997).

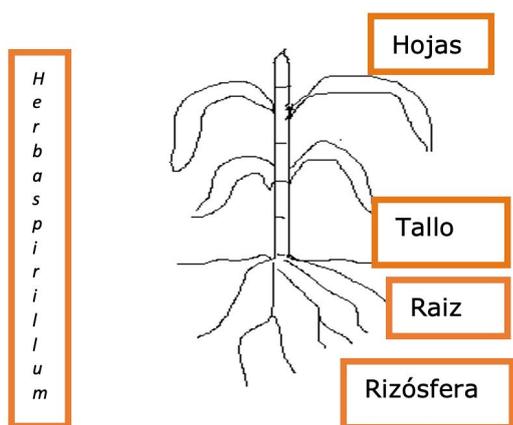
Adicionalmente, se evidenciaron diferencias significativas en FBN entre las variedades y la colonización microbiana en diversos compartimientos de la planta, lo cual refleja un gran potencial de FBN tanto en la parte aérea como en la raíz de la planta y su entorno rizosférico (figuras 2A y 2B) tanto a nivel externo como interno. Fue así como el descubrimiento de las bacterias diazotróficas endofíticas

(colonización interna), contribuyó a un mejor entendimiento de la FBN dado que en el cultivo de la caña de azúcar,

esta asociación planta-microorganismo es muy eficiente (Döbereiner, 1997).

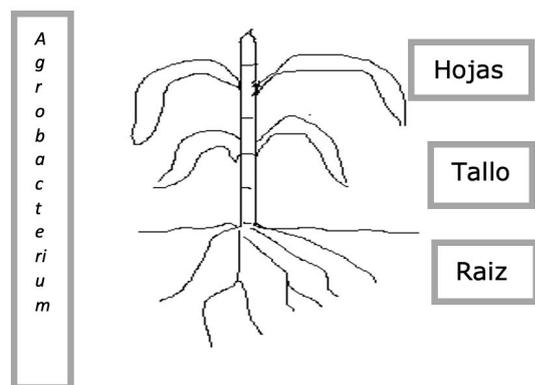
● **Figura 2A**

*Presencia de bacterias diazotróficas *Herbaspirillum* y *Agrobacterium* en caña de azúcar*



**Bacteria endofítica** (colonización de tejidos)

- Fija nitrógeno en el interior de la planta y no logra sobrevivir en el suelo por mucho tiempo (Moreira et. al., 2010).
- 30 % N total acumulado en plantas micropropagadas inoculadas con la mezcla de cepas: *Herbaspirillum seropedicae*, *Herbaspirillum rubrisubalbicans*, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Azospirillum amazonense* y *Burkholderia sp.* Oliveira et al., (2002).  
 \*Sin *Herbaspirillum* la FBN fue menor.



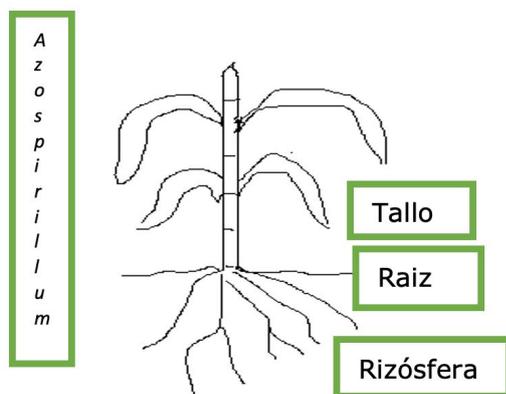
**Bacteria endofítica** (colonización de tejidos)

- En Algunas variedades de caña FBN hasta el 60% (Urquiaga et al., 1992).
- Áreas ricas en azúcar o alcohólicas
- Tolerancia a pH bajo-Óptimo 5.5 a 6.0
- Temperatura 25-30°C, sin crecimiento.
- 37°C (Oliveira et al, 2010).

Adaptado de Ohyama et al. (2014).

● **Figura 2B**

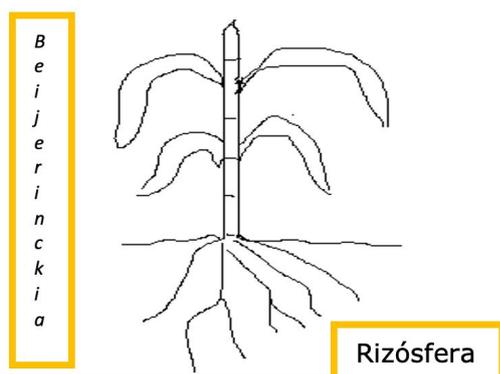
Presencia de bacterias diazotróficas *Azospirillum*, *Beijerinckia* y *Azotobacter* en caña de azúcar.



**Bacteria endofítica y asociativa**

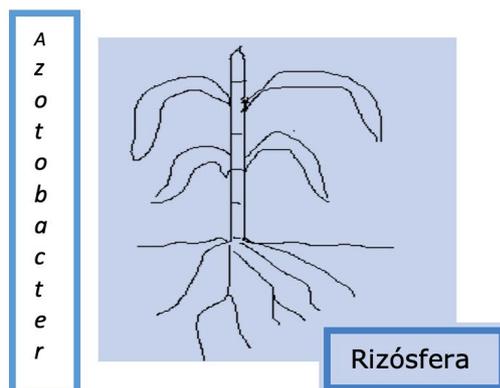
(colonización de tejidos y partes externas de la planta)

- Sustitución hasta 60% del fertilizante químico nitrogenado (Urea) (Castellano et al., 2015)
- Rutas versátiles de utilización de C y N (Bacca y Mendoza, 2010)
- Capaces de establecer relaciones de simbiosis y mutualismo con las plantas y otros microorganismos (Castellano y Fernández (2015).



**Bacteria de vida libre (puede sobrevivir sin relación con la planta)**

- Contribución de 50kg N.ha.año<sup>-1</sup> (Döbereiner et al., 1973).
- Primera bacteria caracterizada con capacidad de fijar nitrógeno en caña de azúcar, relación bastante íntima entre planta y bacteria, esto puede estar asociado a la sacarosa (Döbereiner, 1959; 1961)
- Algunas especies son altamente tolerantes a pH 3.0–4.0 (Becking, 2006).



**Bacteria de vida libre (puede sobrevivir sin relación con la planta)**

- Capaz de fijar al menos 10 mg de N por gramo de carbono (Becking, 1992).
- tienen una ventaja sobre los diazotróficos asociados a la raíz, por mejores posibilidades de explotar los sustratos de carbono suministrados por la planta (Boddey et al., 1995; Sprent y James, 1995; Triplett, 1996; Abdel-Hamid et al., 2010).

Adaptado de Ohyama et al. (2014).

### 3.3 Referente internacional y perspectivas para la bioprospección de FBN de caña de azúcar en Colombia

Brasil, genera más del 40% de la producción mundial de caña de azúcar, ubicándolo en el primer productor del mundo. Sin embargo, debido a las respuestas detrimentales del cultivo de la caña de azúcar respecto a la fertilización con nitrógeno, diversas variedades del cultivo, se vienen evaluando para determinar la eficiencia de la FBN en el campo experimental de Embrapa Agrobiology, desde mayo de 1989 (Silvia et al., 2010). A continuación, se citan algunos resultados de ensayos de campo, que mostraron que el inoculante para el cultivo de caña de azúcar, constituido por las bacterias *Gluconacetobacter diazotrophicus*; *Herbaspirillum seropedicae*; *Herbaspirillum rubrisubalbicans*; *Azospirillum amazonense* y *Bulkholderia tropica*; podría ser una alternativa para reducir costos de producción e impactos ambientales relacionados con la fertilización nitrogenada. Cabe anotar que en el estudio mencionado, la FBN no representó mayor cantidad de nitrógeno en las plantas; las bacterias favorecieron la producción de sustancias promotoras de crecimiento radicular, propiciando mayor absorción de nitrógeno como resultado de aumento en la exploración de las capas más profundas del suelo (Schultz et al., 2011).

Recientemente, resultados de campo reportados por Moura et al. (2019), demostraron que la inoculación de *Azospirillum brasilense* provoca un aumento de la masa

de la raíz seca y el diámetro de los brotes en las variedades PBS, El CTC 9004 M, IACSP 955094 e IACSP, 962042 de caña de azúcar. Por su parte, Matoso et al. (2020), sugiere que la aplicación de una mezcla de cinco diazotófos (*Gluconacetobacter diazotrophicus* strain BR11281T = PAL-5T; *Herbaspirillum seropedicae* BR11335 (= HRC54); *Herbaspirillum rubrisubalbicans* BR11504 (= HCC103); *Paraburkholderia tropica* BR11366T = PPe8T y *Nitrospirillum amazonense* BR11145 (= CBAMc), ayuda al crecimiento y desarrollo de las variedades de caña de azúcar cultivadas en Rio Grande do Sul, Brasil; lo que resulta en una mayor productividad, masa seca, acumulación de nitrógeno y maduración temprana. Lo anterior resulta prometedor para la expansión del cultivo de caña de azúcar en este Estado brasileiro, que ocupó el último lugar de productividad en la cosecha del periodo 2019-2020.

En Colombia, estudios llevados a cabo sobre la FBN asociada con los sistemas productivos del cultivo de caña de azúcar es incipiente. Sin embargo, podría destacarse la reciente publicación de Roa et al. (2018), donde a partir de un estudio realizado en el Valle del Cauca-Colombia, da cuenta de los impactos ambientales negativos debido a la fertilización con urea en este cultivo. Entre los impactos evidenciados, cita las pérdidas por volatilización o lixiviación que generan contaminación a fuentes de agua y emisión de gases de efecto invernadero. En este estudio realizado con 12 aislamientos de *Azospirillum spp* y 14 de *Gluconacetobacter spp*. con eficiencias en reducción de acetileno (cuantificación indirecta de N fijado por medio de activi-

dad de la enzima nitrogenasa) mayores y diferentes estadísticamente a los controles positivos de referencia de *A. brasilense* NCBIM 11860 y *G. diazotrophicus* NCBIM 12985. Los resultados indicaron una alta

diversidad de especies, alta variabilidad en FBN, y un alto potencial para algunos aislamientos seleccionados para futuros estudios de inoculación en caña de azúcar en el país.



## 4. CONCLUSIÓN

La fertilización nitrogenada a futuro podría sustituirse parcial o totalmente con el aprovechamiento funcional de microorganismos fijadores de nitrógeno con expectativas de mejorar condiciones ambientales causadas por fertilizantes nitrogenados de síntesis química.

### Contribución de la autoría

**Sandra Patricia Montenegro Gómez-Do-**  
**cente Escuela de Ciencias Agrícolas, Pe-**  
**cuarias y del Medio Ambiente-UNAD:**

investigación, conceptualización, escritura borrador original y manuscrito final.

**Sandra Yamilé Pulido Pulido- Docente**  
**Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecu-**  
**arias y del Medio Ambiente-UNAD:** in-  
vestigación, conceptualización, escritura  
borrador original y manuscrito final.

**Jonatan Mina- Estudiante en la Escuela**  
**de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del**  
**Medio Ambiente-UNAD:** Investigación.

## AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia y a la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente por la aprobación del proyecto "Efecto de *Azotobacter* y *Azospirillum* en el rendimiento de caña de azúcar (*Saccharum Officinarum*) en un suelo *Typic Haplusterts* del Valle del Cauca-Colombia.

# REFERENCIAS

- Abdel-Hamid, M. S., Elbaz, A. F., Ragab, A. A., Hamza, H. A. and El Halafawy, K. A. (2010). Identification and characterization of *Azotobacter chroococcum* isolated from some Egyptian soils. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, 1(2), 93-104. <https://doi.org/10.21608/jacb.2010.88790>
- Alföldi, T., Fliessbach, A., Geier, U., Kilcher, L., Niggli, U., Pfiffner, L., and Stolze, M. W. H. (2002). Chapter II. Organic agriculture and the environment. Organic agriculture, environment and food security" *Nadia El-Hage Scialabba and Caroline Hattam Eds. FAO, Environment and Natural Resources Service Sustainable Development Department.* <http://www.fao.org/3/y4137s/y4137s02.htm#TopOfPage>
- Azeredo, D.F. Bolsanello, J., Wever, M. and Vieira, J.R. (1986). Nitrogênio em cana-planta, doses e fracionamento. *Stab*, 4 (5), 26-32.
- Baca, K., Sánchez, M., Carreño, C., & Mendoza, G. (2010). Polihidroxicanoatos de cepas de *Azospirillum* spp. aisladas de raíces de *Lycopersicon esculentum* Mill. "tomate" y *Oryza sativa* L. "arroz" en Lambayeque. *Scientia Agropecuaria*, 1(3-4), 213-224. <https://www.redalyc.org/pdf/3576/357633696005.pdf>
- Becking, J.H. (1992). The family Azobacteraceae. The Prokaryotes. A Handbook on the Biology of Bacteria: Ecophysiology, Isolation, Identification, Applications. Springer, Berlin Heidelberg, New York, USA Eds. A Balows, GH Trüper, M Dworkin, W Hander and KH Schleifer, vol. 4, p. 3144-3170.
- Boddey, R. M., De Oliveira, O. C., Urquiaga, S., Reis, V. M., De Olivares, F. L., Baldani, V. L. D. and Döbereiner, J. (1995). Biological nitrogen fixation associated with sugar cane and rice: contributions and prospects for improvement. In: *Management of biological nitrogen fixation for the development of more productive and sustainable agricultural systems* (pp. 195-209). Springer, Dordrecht.
- Castellano, M.H., Espinosa, C.T. y Fernández, M.A. (2015). Uso de *Azospirillum* en la agricultura. *Revista Científica Agroecosistemas*, 3(1). 401-413. [https://aes.ucf.edu/cu/index.php/aes/article/download/26/pdf\\_29](https://aes.ucf.edu/cu/index.php/aes/article/download/26/pdf_29)
- Döbereiner, J. e Duque, F.F. (1980). Contribuição da pesquisa em fixação biológica de nitrogênio para o desenvolvimento do Brasil. *Brazilian Journal of Rural Economy and Sociology (Revista de Economia e Sociologia Rural-RESR)*, 18(1346-2017-2328), 447-460. <https://ageconsearch.umn.edu/record/264517/files/5.pdf>

- Döbereiner, J. (1959). Influência da cana-de-açúcar na população de Beijerinckia no solo. *Rev. brasil. Biol*, 19, 251-258.
- Döbereiner, J. (1961). Nitrogen-fixing bacteria of the genus Beijerinckia Derx in the rhizosphere of sugar cane. *Plant and Soil*, 15(3), 211-216. <https://doi.org/10.1007/BF01400455>
- Döbereiner, J. (1997). A importância da fixação biológica de nitrogênio para a agricultura sustentável. *Biociência*, Brasília, 1(1), 2-3.
- Döbereiner, J., Day, J. M. e Dart, P.J. (1973). Fixação de nitrogênio na rizosfera de *Paspalum notatum* e da cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 8(7),153157. <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/viewFile/17499/11734>
- Dong, Z., Canny, M.J., McCully, M.E., Roboredo, M.R., Cabadilla, C.F., Ortega, E., and Rodes, R. (1994). A nitrogen-fixing endophyte of sugarcane stems (a new role for the apoplast). *Plant physiology*, 105(4), 1139-1147. <https://doi.org/10.1104/pp.105.4.1139>
- Galloway, J.N., Schlesinger, W. H., Levy, H., Michaels, A. and Schnoor, J.L. (1995). Nitrogen fixation: Anthropogenic enhancement□environmental response. *Global biogeochemical cycles*, 9(2), 235-252. <https://doi.org/10.1029/95GB00158>
- García, F. O. y González Sanjuan, M.F. (2016). Consumo de fertilizantes en el mundo y en la Argentina. Sustentabilidad de los agrosistemas y uso de fertilizantes. Orientación Grafica Editora-AACS-Fertilizar AC, Buenos Aires, Argentina, 61-84.
- Li, Y.K., Li, B., Guo, W. Z. and Wu, X.P. (2015). Effects of nitrogen application on soil nitrification and denitrification rates and N<sub>2</sub>O emissions in greenhouse. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(2), 519-530. <https://jast.modares.ac.ir/article-23-4149-en.pdf>.
- Lima, E., Boddey, R. M., & Döbereiner, J. (1987) Quantification of biological nitrogen fixation associated with sugar cane using a <sup>15</sup>N aided nitrogen balance. *Soil Biology and Biochemist*, 19(2), 165-170. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90077-0](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90077-0)
- Lino, A.C.M. (2018). Fixação biológica de nitrogênio em soqueira de cana-de-açúcar com *Azospirillum brasilense* e na compatibilidade com agroquímicos. <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.739>
- López Astudillo, A., Rodríguez, L. M., Lubo, C. M., Abadía López, J., Orozco, O. A., Sandoval, J. S. y Arenas, F. (2018). Evaluación de las emisiones de GEI por fertilización del cultivo de caña de azúcar, desde un enfoque en dinámica de sistemas. *Ingeniería y Desarrollo*, 36(1), 3-17. <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v36n1/2145-9371-inde-36-01-00003.pdf>

- Matoso, E. S., Reis, V. M., Avancini, A. R., Simon, E. D. T., De Marco, E. and dos Anjos, S.D. (2020). Application of a mixture of five diazotrophs on sugarcane cultivated in the south of Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 15(4), 1-8. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v15i4a8535>
- Mosier, A.R., Duxbury, J.M., Freney, J.R., Heinemeyer, O. and Minami, K. (1996). Nitrous oxide emissions from agricultural fields: Assessment, measurement and mitigation. *Plant Soil* 181, 95–108. <https://doi.org/10.1007/BF00011296>
- Montenegro, G.S.P. y Barrera B.S.E. (2014). Biofertilización nitrogenada como aporte a la sustentabilidad de la agricultura colombiana. *RIAA*, 5(2), 135-144. <https://doi.org/10.22490/21456453.1332>
- Montenegro, S. P., Pulido, S. Y., & Vallejo, L. F. C. (2021). Prácticas de biorremediación en suelos y aguas. *Notas de Campus*. <https://doi.org/10.22490/notas.3451>
- Moreira, D.S.F.M. and Siquiera, M.J.O. (2006). Microbiología e Bioquímica do solo, 729p.
- Moreira, D., S.F.M., Da Silva, K., Nóbrega, R.S.A. e De Carvalho, F. (2010). Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. *Comunicata Scientiae*, 1(2), 74-74.
- Moura, J.B., Souza, R.F., Ventura, M.V.A., Furquim, L.C., Vieira-Junior, W.G., Braga, A.P.M., ... and Lopes, H.P.B. (2019). Influence of nitrogen fixing bacteria in the establishment of pre-broken sugar cane. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*, 21(1), 22-26.
- Ohyama, T., Momose, A., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Sato, T., Nakanishi, Y. and Ando, S. (2014). Nitrogen fixation in sugarcane. *Advances in biology and ecology of nitrogen fixation*, 47-70. <https://doi.org/10.5772/56993>
- Oliveira, A.D., Urquiaga, S., Döbereiner, J. and Baldani, J.I. (2002). The effect of inoculating endophytic N 2-fixing bacteria on micropropagated sugarcane plants. *Plant and Soil*, 242(2), 205-215. <https://doi.org/10.1023/A:1016249704336>
- Oliveira, A.L.D.D., Santos Junior, V., Liotti, R.G., Zilioli, E., Spinosa, W.A. e Ribeiro-Paes, J.T. (2010). Estudo de bactérias do gênero *Gluconobacter*: isolamento, purificação, identificação fenotípica e molecular. *Food Science and Technology*, 30(1), 106-112. <http://www.scielo.br/pdf/cta/2010nahead/v30n1a16.pdf>
- Polanco, P.M.F., Gómez, S.P.M., Boldini, J. M., Mena, R.A.M., Guzmán, M. C. V., Casadiego, Y.A.S. y Leiva, M.L.P. (2019). Capítulo 13. Conservación de la diversidad genética. *Libros Universidad Nacional Abierta ya Distancia*, 225-234. <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/view/3128/3137>

- Quintero D.R. (1995). Fertilización y nutrición. El cultivo de la caña en la zona azucarrera de Colombia. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/281393/3.pdf>
- Reed, S.C., Cleveland, C.C. and Townsend, A.R. (2011). Functional ecology of free-living nitrogen fixation: a contemporary perspective. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 42, 489-512. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102710-145034>
- Reis, V., Lee, S. and Kennedy, C. (2007). Biological nitrogen fixation in sugarcane. In *Associative and Endophytic Nitrogen-fixing Bacteria and Cyanobacterial Associations* (pp. 213-232). Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3546-2\\_10](https://doi.org/10.1007/1-4020-3546-2_10)
- Roa, L., J.; Espinosa, M., A.; Cadavid M.; Muñoz F.; Chica, H., A.; Ángel, C., A. (2018). Cuantificación de la Fijación Biológica de Nitrógeno en Aislamientos de Tres Géneros Bacterianos Asociados a Caña de Azúcar en el Valle del Río Cauca en Colombia –Tecnicaña (Cali – Colombia) | XI Congreso Atalac-Tecnicaña.
- Saynes Santillán, V., Etchevers Barra, J. D., Paz Pellat, F., & Alvarado Cárdenas, L. O. (2016). Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 83-96. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n1/2395-8030-tl-34-01-00083.pdf>
- Schultz, N.; Da Silva, J. A.; Massena R., V.; Urquiaga, S. (2011) Avaliação agronômica de cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas e adubação nitrogenada. XI Semana Científica Johanna Dobereiner, mudanças climáticas, desastres naturais e prevenção de riscos.
- Silva, J. A.; Schultz, N.; Boddey, R. M.; Alves, B. J. R.; Caballero, S. S. U (2010). Abundância natural de 15N, Balanço de N total, Estudo de longa duração. Embrapa Agrobiologia.
- Sprent, J. I., & James, E. K. (1995). N<sub>2</sub>-fixation by endophytic bacteria: questions of entry and operation. In *Azospirillum VI and related microorganisms* (pp. 15-30). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-79906-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-79906-8_2)
- Triplett, E. W. (1996). Diazotrophic endophytes: progress and prospects for nitrogen fixation in monocots. *Plant and Soil*, 186(1), 29-38.  
<https://doi.org/10.1007/BF00035052>
- U.S. DEPARTMENT OF STATE. (2010) Fifth Climate Action Report to the UN Framework Convention on Climate Change: Chapter 5. Projected Greenhouse Gas Emissions. (pp. 76-85). Washington D.C., USA. <https://2009-2017.state.gov/documents/organization/140007.pdf>

- Urquiaga, S., Cruz, K. H., & Boddey, R. M. (1992). Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen<sup>15</sup> and nitrogen balance estimates. *Soil Science Society of America Journal*, 56(1), 105-114. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600010017x>
- Urrútia, G., and Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina clínica*, 135(11).507-511. <https://revistas.um.es/eglobal/article/download/251571/242631/>
- Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., Likens, G. E., Matson, P. A., Schindler, D. W., ... and Tilman, D. G. (1997). Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological applications*, 7(3), 737-750. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1997\)007\[0737:HAOTGN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1997)007[0737:HAOTGN]2.0.CO;2)
- Wang, C.C. (1976). Effect of fertilizer application on sucrose content of sugarcane. *Taiwan sugar*. 23, 167-171.



**Licencia de Creative Commons**

Revista Agricolae & Habitat is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.