

## PROPUESTA SOBRE SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS PARA RIEGO EN LA VEREDA EL OLIVO

*Proposal for a rainwater harvesting system for irrigation in the village of El Olivo*

Néstor Perico-Granados<sup>a</sup>, Lizeth Dayana Castillo Suárez<sup>b</sup>,  
Laura Yamirle Gómez Cañón<sup>c</sup>, Evelyn Carolina Medina-Naranjo<sup>d</sup>, María Alejandra  
Puerto-Cristancho<sup>e</sup>, Marly González-González<sup>f</sup>

<sup>a</sup> MD Minuto de Dios, Corporación Universitaria Minuto de Dios; nestor.perico@uniminuto.edu.co

<sup>b</sup> Betancí, Corporación Universitaria Minuto de Dios; lcastillosu@uniminuto.edu.co

<sup>c</sup> Betancí Corporación Universitaria Minuto de Dios; lgomezcanon@uniminuto.edu.co

<sup>d</sup> Betancí Corporación Universitaria Minuto de Dios; evelyn.medina1406@gmail.com

<sup>e, f</sup> Betancí, investigadora independiente; mariapucr@hotmail.co; marly.gonzalez@usantoto.edu.co

Recibido: 23 de mayo 2025. Aceptado: 28 de agosto 2025. Publicado: 7 de noviembre 2025.

**Resumen**— Se presenta una propuesta de un sistema complementario de abastecimiento de agua, para generar un impacto social, económico y ambiental en la población de la vereda El Olivo, Cogua, Cundinamarca. Se pretende dar solución a la problemática de escasez de agua e irrigación de las huertas. El objetivo principal fue proponer tres tipos diseños de jagüeyes, para reducir el consumo de agua empleada en riegos de cultivos. Se utilizó un enfoque cuantitativo, se combina el alcance descriptivo y explicativo. Se usaron datos pluviométricos de una de las estaciones cercanas a la zona para determinar las precipitaciones y establecer las áreas necesarias de captación para satisfacer la demanda necesaria para los cultivos presentes en la vereda. Se determinaron las intensidades de lluvia para definir el caudal de diseño para los sistemas de canal de llamada, drenaje de excesos y tanque desarenador. Se hicieron los diseños de los jagüeyes, canales de llamada, desarenadores y vertederos para cada uno de ellos. Entonces, la propuesta de recolección con jagüeyes apoyada en el sexto Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) es favorable para la agricultura, las huertas de consumo humano y el cambio climático.

**Palabras clave:** Canales de llamada, Captación de agua lluvia, Desarenadores, Diseño Hidráulico, Jagüeyes, Riego Agrícola sostenible, Vertedero.

**Abstract**— A proposal for a complementary water supply system is presented to generate a social, economic and environmental impact on the population of the El Olivo village, Cogua, Cundinamarca. The aim is to provide a solution to the problem of water shortage and irrigation of orchards. The main objective was to propose three types of jagüey designs, to reduce the consumption of water used in crop irrigation. A quantitative approach was used; for this, rainfall data from one of the stations near the area was used to determine rainfall and establish the necessary catchment areas to satisfy the necessary demand for the crops present in the area. Rainfall intensities were determined to define the design flow for the call channel, excess drainage and grit tank systems. The designs of the jagüeyes, call channels, sand traps and landfills were made for each of them. Then, the proposal for harvesting with jagüeyes supported by the sixth Sustainable Development Goal (SDG) is favorable for agriculture, orchards for human consumption and climate change.

**Keywords:** Call channels, Rainwater harvesting, Sand traps, Hydraulic design, Jagüeyes, Sustainable agricultural irrigation, Landfill.

## I. INTRODUCCIÓN

La investigación se basó en un sistema de recolección de aguas lluvias para resolver un problema de pertinencia actual. Obtener agua es un privilegio para las comunidades y por ello un sistema para captar y almacenarla es una solución. El agua es un recurso esencial para la preservación de la vida, indispensable para el desarrollo de la economía y creación y generación de empleo (UNESCO, 2016). La planificación e implementación de sistemas de recolección de agua se consideran oportunos para atender necesidades fundamentales del ser humano (León-Agatón *et al.*, 2016).

Actualmente la comunidad de la vereda El Olivo en Cogua, Cundinamarca, tiene una problemática ambiental dado que está rodeada de ladrilleras y aplicaciones del sector industrial que consumen un volumen importante de agua. A su vez, el acueducto veredal no cuenta con agua potable y la captación se encuentra a 5 km en tubería, donde se presentan daños frecuentes. En este caso el agua no puede ser usada para cultivos. La situación de la vereda no es puntual, por el contrario. La baja cobertura de agua es un problema que atañe a las zonas rurales de Colombia, un 53% cuenta con acueducto y un 16% alcantarillado (Torres-Parra *et al.*, 2017). Estas cifras reflejan la necesidad de implementar estrategias para el aprovechamiento y acceso al recurso hídrico.

Se busca una alternativa que beneficie a agricultores mediante sistema de captación de agua lluvia con jagüeyes. Éstos son depresiones sobre el terreno que permiten almacenar agua proveniente de escurrimientos superficiales o de precipitaciones. Se construyen para captar, almacenar y administrar agua para fines agropecuarios. Su profundidad media tiene menos de 8 metros, de forma cóncava, lo que permite almacenar grandes cantidades de agua y se hacen sobre suelos arcillosos para evitar las pérdidas por infiltración. La utilización de jagüeyes constituye un campo de acción interesante para la investigación, pues presenta ventajas ecológicas, sociales y económicas (De la Osa *et al.*, 2017).

Por otro lado, Colombia es vulnerable al cambio climático por eventos extremos como lluvias, sequías, aumento del nivel del mar y deforestación, una amenaza para la biodiversidad. Este fenómeno desempeña un rol significativo en la agricultura y su producción

(Hernández-Pérez, 2017). Entonces, se requieren alternativas para mitigar su impacto con proyectos sostenibles y reparar los daños generados (Orduz-Quijano *et al.*, 2022). De esta manera, la construcción de jagüeyes ayuda a reducir la presión, a su vez favorece la generación y consumo agua potable.

En la vereda existen empresas de flores que generan impactos ambientales por el consumo de agua (CAR, 2019). Igualmente, sus habitantes son de bajos recursos, de estratos 1 y 2 y no cuentan con suministro de agua potable permanente y suficiente. Su acueducto tiene desarenador de 20 m<sup>3</sup> y tanque de almacenamiento de 48 m<sup>3</sup> con tratamiento de Hipoclorito de Calcio Ca (ClO)<sub>2</sub> e Hipoclorito de Sodio (NaClO), con baja efectividad. Los habitantes para actividades agropecuarias usan parte del agua del acueducto, adicional al uso del sector industrial mencionado.

Por disponibilidad de recursos y capacidad técnica, solo hacen tratamiento con desarenador y químico para la reducción de microrganismos. El acueducto toma el agua del río Neusa con caudal de 2,5 L/s, lo almacena en tanque de 50m<sup>3</sup>, que distribuye a los 160 usuarios. Entonces, no hay suficiente agua y se presentan cortes, a pesar de la recolección de aguas lluvias que pocos de ellos hacen. La mitad de sus habitantes desconocen formas de recolección de aguas lluvias. Entonces, se propuso elaborar diseños de jagüeyes para riego de huertas caseras y disminuir la demanda del acueducto veredal (Castillo y Gómez, 2022).

### A. Antecedentes

Los reservorios sirven para regular y suministrar agua para regadío y consumo humano. Hay construcciones desde 30 m<sup>3</sup> para regar huertas caseras tres veces al año, árboles frutales, dar agua a los animales y producir alimentos sanos y nutritivos (Limaylla, 2012). En Cisjordania se promueve la infiltración con terrazas y se conduce el agua a cultivos, con el uso de diques (Al-Seekh & Mohammad, 2009). En México trece millones de habitantes no cuentan con acueducto, ni con agua de escorrentía. Entonces, recargan acuíferos para consumo humano, abrevadero, riego y así en épocas de lluvias evitan inundaciones. En Hidalgo se optimizaron los jagüeyes con alternativas para incrementar su efectividad en las 192 has (Galindo-Escamilla *et al.*, 2008).

En Ecuador en las provincias de Guayas, Santa Helena y Manabí, con 70% de jagüeyes de propiedad colectiva con capacidades de almacenamiento en promedio de 50.000 m<sup>3</sup>, suministran agua en períodos secos, mejoran los niveles freáticos y contribuyen a la biodiversidad (Marcos y Álvarez, 2016). En Nueva Delhi, por la escasez de agua, construyeron estanques alimentados por las lluvias para riego de pastos, forrajes y arbustos. Estas estructuras permitieron disminuir, mermar y controlar las inundaciones (Mohanty *et al.*, 2020).

En Kenia, dada la vulnerabilidad de los campesinos africanos frente al cambio climático, investigadores estudiaron la recolección de agua para el riego, a partir de estudios pluviométricos, revisaron los suelos y seleccionaron los arcillosos porque tienen menos pérdidas y propusieron acciones correctivas, con base en los parámetros hidráulicos, hidrológicos y geológicos (Odhiambro *et al.*, 2021). Se evaluó con un modelo hidrológico el almacenamiento de aguas lluvias en Estados Unidos en el Estado de Texas y paralelamente en la India en la Provincia. Se encontró que entre más grandes los pozos sus rendimientos sostenibles fueron mayores, con más aprovechamiento de las aguas lluvias y menos gasto de agua potable (Pandey *et al.*, 2011).

## **B. El agua para el planeta, la evapotranspiración de cultivo y agua lluvia para riego**

Del 100% de agua dulce el 69% está congelada en casquetes polares y glaciares, el 30% es agua subterránea y tan solo el 1% de agua dulce está en la superficie (Araque-Niño *et al.*, 2020). El agua sirve para hidratación de humanos y animales, mantiene vivo el ecosistema, regula el clima y aloja vida. Es la clave para la vida del planeta y es necesaria para cultivar y procesar alimentos. El sector agrícola utiliza más del 70% de los recursos hídricos, entonces, es oportuno una gestión sostenible del recurso, con técnicas de sistemas de riego, almacenamiento de agua y reducción de uso para la agricultura (Parlamento Europeo, 2022).

Ahora bien, en la evapotranspiración el agua pasa de líquida a gaseosa a la atmósfera, a través de las plantas. Este indicador desempeña un papel fundamental en el equilibrio hídrico, al regular la conversión de la precipitación en el potencial de agua disponible

(Hernández-Pérez *et al.*, 2017). En la precipitación pasa de estado gaseoso a líquido y cae en la superficie terrestre. Una parte se infiltra en el suelo y otra genera escorrentías superficiales o subterráneas; sin embargo, una porción podría ser aprovechada mediante alternativas enfocadas en una gestión óptima. Según Perico-Granados *et al.*, (2021) estos procesos naturales los altera el hombre con deforestaciones, incremento de contaminación y daños a los ecosistemas en proporciones similares al crecimiento económico y demográfico.

Las Naciones Unidas establecieron que todo ser humano tiene derecho al acceso de agua segura entre 50 y 100 litros por persona-día, dado que la escasez afecta a más del 40% de la población mundial (PNUD, 2015). Entonces, se tomó como referente el *Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS)* 6 que menciona garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible para obtener un saneamiento para todos. Se espera garantizar el acceso universal al agua potable para todos en el año 2030 y para ello es necesario invertir en infraestructuras, instalaciones sanitarias aptas y buenas prácticas de higiene (PNUD, 2015). Al respecto, ejecutar proyectos con jagüeyes contribuyen parcialmente al cumplimiento simultáneo de los siguientes objetivos (1): Fin a la pobreza, (3): sobre la salud y bienestar, (10): sobre reducción de desigualdades, (11): para lograr ciudades y asentamientos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, (12): con producción y consumo responsable, y (13): acción por el clima, con siembras de frutales, entre otros.

## **C. Relación entre área de captación y área de cultivo**

La relación entre área de Captación (C) y el Área de Cultivo (AC) se nota como C:AC. Es el parámetro para determinar las dimensiones de los sistemas de captación de agua de escorrentía superficial en relación con el área de producción cultivada. La relación define el límite de captación de la escorrentía superficial de áreas vecinas no cultivadas, proveniente de la precipitación, para ser conducida al cultivo de interés (FAO, 2013). La existencia de jagüeyes puede corresponder a cualquier origen, drenaje y dimensiones. Relativamente son estancados y tienen variaciones en el nivel de agua, los cuales pueden ser temporales o permanentes. Estos depósitos pueden tener una profundidad media menor a los 8 metros y tienen

forma cóncava (Fernández *et al.*, 2017). Tienen diferentes características en función de topografía, clima o región. En México se usan para producción agrícola y consumo humano en zonas semiáridas. En Colombia sirven como abrevaderos para ganado (Galindo y Bácenas, 2021). Se pueden articular de forma secuencial formando cascadas de tal manera que, con los excedentes de arriba se pueden alimentar los de aguas abajo.

Además, hay jagüeyes que pueden permanecer estancados y otros que son inestables con variaciones del nivel (Botero *et al.*, 2009). En las regiones planas se construyen con geometría semicircular y pueden tomar formas cuadradas o rectangulares cuando se aprecian con una estructura física de muros compactos y bajos (Álvarez, 2021). Los jagüeyes dispuestos en niveles pueden generar corrientes internas que favorecen la aireación de los depósitos, evitando la eutrofización, contaminación estancada o putrefacción por parte de los microorganismos que habitan en ella (Guzmán Puente, 2017). Con alta densidad de ellos favorece la generación de corredores biológicos que ayuda los procesos de conservación activa de aves y mamíferos. Para Ballut y Monroy (2015) producen impactos positivos como un mayor flujo vital y beneficios medioambientales.

#### **D. Fundamentos del proceso constructivo**

Para su construcción se proponen sitios con precipitaciones mayores a 400 mm/año para compensar pérdidas por infiltración y evaporación y se evita la salinización paulatina. El terreno debe tener pendiente uniforme para disminuir el volumen en la obra y obtener máximo volumen de almacenamiento (Fernández *et al.*, 2017). La conducción se hace por gravedad y la escorrentía se da naturalmente, dado que la primera lluvia llena la capacidad de retención de las plantas y satura el suelo. Al respecto, el coeficiente de escorrentía es la relación entre precipitación neta y precipitación total (Llerena *et al.*, 2016). El coeficiente está en función del uso del suelo (bosque, pastizal o cultivo agrícola) y de la pendiente y la textura del suelo (arenoso-limoso o arcilloso). Este va desde baja pendiente en bosque en terreno limo-arenoso, proveniente de la precipitación, hasta mayores valores en terrenos de cultivo, con alta pendiente y en suelos arcillosos.

Las obras se hacen con canales de llamada, para conducir los escurrimientos superficiales a los depósitos de almacenamiento teniendo en cuenta la intensidad de lluvia en un periodo y tiempo determinado. Se construyen de manera transversal a una ladera (Martínez *et al.*, 2017).

En laderas se facilita su construcción, dado que disminuye la excavación y con estos materiales se compensa en los rellenos. Igualmente se facilita la construcción de estructuras de entrada y salida, sobre los taludes naturales del dique. Las pendientes tenues evitan la construcción de diques altos, con pendiente ideal de 5%. Los suelos de texturas arcillosas con partículas pequeñas, con tamaños de 0,002mm., son los mejores para evitar el uso de plásticos o geomembranas para disminuir las pérdidas por la infiltración (Fernández *et al.*, 2017), (Zapata, 2018).

El área de captación está ubicada cerca al jagüey por construcción y operación, aunque están los alimentados por arroyos directamente, también con captación por gravedad. También, hay alimentados con desvío del agua de otra cuenca. En una red de jagüeyes puede existir una zona de captación y varios depósitos que se alimenten de ella. Es necesario construir desarenadores y vertederos, que ayudan a optimizar la recolección. El desarenador evita la entrada de material de arrastre, con disminución de colmatación en el depósito y los vertederos evitan el desbordamiento del agua, siendo de preferencia con forma rectangular por facilidad de diseño y construcción (Fernández *et al.*, 2017).

Para el volumen de agua a captar se estudia la oferta hídrica de precipitaciones o de cuerpos de agua. Los regímenes pluviométricos determinan la cantidad de agua que ingresa al sistema y va directamente ligado al área de captación. Se necesita determinar la probabilidad de lluvia, para precisar las dimensiones en estructuras, con datos de periodos de 20 a 30 años de las precipitaciones. La forma del jagüey depende del volumen para excavar en la zona escogida. Fernández *et al.*, (2017) proponen calcular el volumen, con el promedio de áreas, desde el rebose hasta el fondo. Por otro lado, Llerena *et al.*, (2016) plantean que el gasto máximo  $Q$  para el diseño del vertedero se calcula a partir de  $C_e$ , coeficiente de escurrimiento;  $i$  intensidad de precipitación, y  $A$  área de captación que se tiene disponible.

Con datos variables se usan métodos estadísticos, como el de Gumbel, que proporcionalmente al número de datos se obtiene una aproximación real. Estos datos ayudan a la estabilidad de las obras y según Fernández *et al.*, (2017) los jagüeyes deben contener en sus taludes pastos para evitar erosiones y estos deben tener relación 2:1 en la zona que está en contacto con el agua y de 3:1 aguas abajo. Para su diseño es necesario conocer el consumo, dado que de allí se estiman las dimensiones. La *Normas Técnicas sobre Agua Potable, RAS* propone que para determinar la demanda se debe desarrollar el cálculo de la proyección poblacional en caso que no se cuente con información necesaria (*Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010*). Se necesitan datos de suministro humano o animal y la evapotranspiración en función del cultivo, para el consumo vegetal (*FAO, 2013*).

Para la seguridad se recomienda cercar los lugares de estructuras para evitar el acceso, contaminar el agua y desprendimientos en taludes (Fernández *et al.*, 2017). Entonces, se recomienda cubrir las partes libres con tierra fértil para promover el crecimiento de hierbas forrajeras que ayuden a controlar efectos causados por el tránsito, el viento y las aguas.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se diseñó con el método cuantitativo y con alcance descriptivo y explicativo, dado que se hizo recolección y análisis de datos para su formulación con información pluviométrica de la *Corporación Autónoma Regional (CAR)* y el *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)*. Se hicieron encuestas para reconocer la percepción de la población de la vereda El Olivo frente a la recolección de aguas lluvias. Según Perico-Granados *et al.*, (2020) el método de proyectos aporta elementos para desarrollar investigaciones de orden práctico para las comunidades, en Ingeniería.

Para la encuesta se tomó la población de la vereda con 320 personas. Se hizo con una muestra de 80, con preguntas cerradas, uno como representante de cada vivienda, de los cuatro sectores: San Luis, Olivo Centro, Cruce del Neusa y Cascajera. El formulario tuvo 13 preguntas con el propósito de establecer el compromiso y posibles aportes para la construcción de los jagüeyes, su posible desarrollo comunitario y la percepción de los

beneficios, entre otros aspectos. Se procesaron las preguntas para definir los porcentajes de cada pregunta.

El sitio definido fue la vereda de El Olivo, en el municipio de Cogua, Cundinamarca. Se propuso el uso de un sistema de recolección y almacenamiento de aguas lluvias que faciliten su acceso para cultivos principalmente. Entonces, se propone implementar un sistema de jagüeyes para irrigar las huertas caseras y para ello se establecieron tres diseños en función del área disponible, aspectos topográficos, suelo y oferta pluviométrica.

## Pluviosidad de la vereda El Olivo

De la estación Páramo Alto se obtuvieron datos de pluviosidad con el *IDEAM*, capturados del 17 de marzo del 2018 al 01 de septiembre del 2022 con un lapso de 10 minutos. Se calcularon las precipitaciones diarias en 24 horas para proyectar datos de intensidad de lluvias y determinar las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia, *IDF*. El cálculo de la probabilidad de lluvias se hizo con método de Gumbel. Se determina la probabilidad de evento para mayor o menor precipitación a la analizada a lo largo de los años estudiados. Se necesitó el cálculo del promedio y la desviación estándar del total de datos, para el caso 1496 y usando el método mencionado se determinaron los valores  $\mu_y$  y  $\sigma_y$ , para ver los resultados de los cálculos de  $\alpha$  y  $u$ . Para el cálculo de la probabilidad se consideraron cinco años diferentes de periodo de retorno. De esta manera, se obtuvieron la variable reducida y la precipitación probable. Posteriormente, se halló el valor de la probabilidad de ocurrencia y la precipitación ajustada con una corrección de 1,13.

Para el cálculo de la probabilidad de ocurrencia se hizo con un periodo de retorno de 20 años, con precipitación probable  $V_{max}$  de 35,20 mm. La intensidad se halló con regresiones potenciales y las intensidades de precipitación, para los periodos de retorno, se determinó a partir de la precipitación ajustada y de un coeficiente de lluvias para duraciones de varias horas. La regresión potencial de los logaritmos se calculó a partir un sistema de ecuaciones en función de la ley de los logaritmos (Aishaijiang, 2016). Luego se hizo el cálculo de la intensidad de lluvias.

Se determinó la demanda de agua para la vereda y se calculó con datos del *IDEAM* (2022) para la

evapotranspiración y datos de coeficientes de cultivo  $K_c$ , con datos de la *FAO*, como referencia para los cálculos de evapotranspiración real, considerando los valores más altos. Se calculó la evapotranspiración real con un resultado de 87,78 mm/mes. Se calculó la humedad aprovechable (HA) considerando una profundidad de raíces de cultivo a regar de 50 cm y tomando los datos de la densidad aparente (*DA*). El punto de marchitez permanente (*PMP*) y la capacidad de campo (*CC*) de la tabla propiedades físicas del suelo según texturas, dependiendo el tipo de suelo presente en la vereda y se determinó la lámina neta (*LN*) usando un umbral de riego (*F*) del 50%. Se calculó la frecuencia de riego (*FR*) dependiendo el tipo de suelo y se estableció la demanda de agua (*DA*) considerando un factor de cobertura *Fc* de 0,17 para tipo cultivo y tres diferentes áreas, de cinco, diez y quince hectáreas. El coeficiente de cultivo, (*KC*), va desde Arveja con 1,1 hasta 0,5 que corresponde a Mora. Los valores en promedio de evapotranspiración van desde 1981, hasta el año 2010 proporcionadas por el *IDEAM* (cf. Tabla 1).

**Tabla 1. Evapotranspiración potencial**

Evapotranspiración potencial (mm)												
En	Feb	Mar	Abr	Ma	Jun	Jul	Ag	Se	Oc	Nov	Di	
79	68	80	70	70	65	69	71	68	70	66	74	

Fuente: *IDEAM* (2016). Elaboración adaptada por autores.

Se calcularon las pendientes con el programa *QGIS*, con datos abiertos del *IGAC*, curvas de nivel de 10 m. Se tomaron 3 lotes de la vereda como ejemplos, denominados 13, 35 y 36, respectivamente y el uso de suelo escogido para el ejercicio es de tipo pastizal. La textura del suelo usada para el diseño fue de tipo arcilloso tomando como base lo obtenido en el mapa de litología de la vereda el Olivo. Para el ejercicio del diseño en el cálculo del coeficiente de escorrentía se promediaron los datos de las pendientes. Se calculó la pendiente del lote 13 con 3,67%, lote 35 con 27,31% y lote 36 con 23,13%. Promedio 18,04%. Para pastizal en terreno arcilloso dio coeficiente de 0.65.

Para el área efectiva de captación se partió de la demanda de agua y se establecieron 3 áreas: cinco, diez y quince hectáreas con resultados de 7461,3 L, 14922,6 L y 22383,9 L., respectivamente para uso agropecuario en suelos limo-arcillosos. Para el área de captación se calculó la precipitación aprovechable, se usaron valores de precipitación de diseño real máxima, calculados con el

método de Gumbel y el coeficiente de escorrentía (Naghettini, 2016). Las variables  $\mu_y$  y  $\sigma_y$  se toman a partir de la propuesta por Gumbel (Sánchez, 2013). Se obtuvo una precipitación aprovechable 10,67 mm/mes (cf. Tabla 2).

**Tabla 2. Cálculo de área de captación**

Cálculo de área de captación		
Volumen de demanda (L/mes)	P aprovechable mm/m <sup>2</sup>	Área de captación m <sup>2</sup>
7461,3	10,67	699,51
14922,6		1399,02
22383,9		2098,52

Fuente: Castillo y Gómez (2022). Elaboración adaptada por autores.

Dimensiones de jagüey. Se hizo el cálculo de 3 veces la demanda de agua mensual y que cubra los meses de poca lluvia. Los jagüeyes se usarán de forma colectiva, para abastecer varios predios, con áreas de 5, 10 y 15 hectáreas. Se diseñó con una inclinación 1:1 con un ángulo de 45° con respecto al material de arcilla muy compacta, que es el de la vereda. Las dimensiones del jagüey se hicieron con volumen del prisma, cuyos valores obtenidos fueron de 24,9; 47,9 y 67,6 m<sup>3</sup> respectivamente (cf. Tabla 3).

**Tabla 3. Volumen esperado del jagüey**

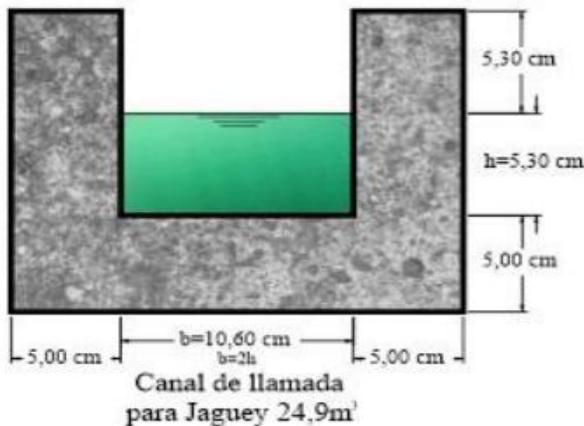
Área de demanda (Ha)	L/ mes	m <sup>3</sup> /m es	Tiempo de respaldo (mes)	Vol. Jagüey (m <sup>3</sup> )
5	7461,	7,5	3	22,4
	3			
10	1492	14,9	3	44,8
	2,6			
15	2238	22,4	3	67,2
	3,9			

Fuente: Castillo, Gómez (2022) Elaboración adaptada por autores Sistemas adyacentes.

Caudal de diseño. Éste se calcula a partir de datos de intensidades de lluvia, coeficiente de escorrentía y áreas de captación. Se escogió tiempo de retorno de 20 años, con duración de precipitación de 25 min. El coeficiente de escurrimiento se determinó con base en el tipo de suelo, pastizal con textura arcillosa y pendiente del 18,04% con base en los cálculos hechos. Ahora bien, al analizar la intensidad de lluvia, se encontró que la intensidad de la lluvia aumenta a medida que aumenta la duración de la

precipitación. Para una duración de 30 minutos, se observa que el tiempo de retorno aumenta, es decir, para 10 años se registra una intensidad de 17,4, para 20 años de 17,6 y para 50 años de 17,8 (Castillo y Gómez, 2022).

Al calcular los caudales de diseño, en un tiempo de retorno de 20 años se determinó para el área 1 un área de 0,358 m<sup>3</sup>/min, para el área 2, 0716 m<sup>3</sup>/min y para el área 3 1,073. (Castillo y Gómez, 2022). Así se definió el tamaño del desagüe y evitar inundaciones. Entonces, para el diseño del vertedero se escogió el tipo rectangular con un coeficiente de Coriolis  $\alpha$  de 1,15. El caudal del vertedero 1 dio 0,006 m<sup>3</sup>/s. La Figura 1 muestra su diseño.



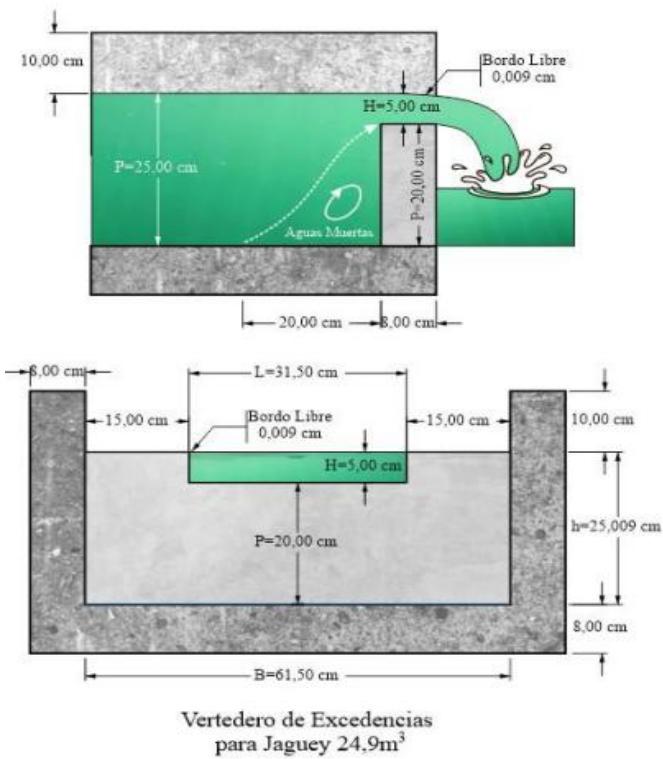
**Fig. 1.** Vertedero de excedencias para el primer jagüey.

Fuente: Castillo, Gómez (2022). Elaboración adaptada por autores.

Para el canal de llamada se escogió rectangular, revestido con concreto, con coeficiente de rugosidad  $n$  de 0,012. Se determinó pendiente del 2 % un caudal de diseño ( $Q_d$ ) de 0,006 m<sup>3</sup>/s. y una rigurosidad ( $n$ ) 0,0012 (Castillo, Gómez, 2022). Se hizo con base en la ecuación de Manning para hallar el valor del tirante del canal con respecto al caudal de diseño calculado. El cálculo de la base del canal  $b$  se halla a partir de la ecuación de ancho superficial para canal rectangular. Así mismo, se determinaron las dimensiones del canal de llamada (Figura 2). Tirante ( $Y$ ) de 0,05m, base ( $N$ ) de 0,11m, área hidráulica 0,01 m<sup>2</sup>, velocidad del canal de 1,05 m/s, borde libre de 0,05m y un ancho de muro de 0,05 m (Castillo, Gómez, 2022).

Desarenador: Se consideró la sedimentación de partículas como arenas gruesas y con base en la temperatura del agua en la vereda el Olivo, de 15°C, se

determinó la viscosidad y la densidad necesarias para los cálculos del número de Reynolds, para definir el tipo de flujo. Se tomó una pendiente del 2%. Se utilizaron las fórmulas de Manning-Strickler para calcular radio hidráulico y número de Reynolds. Se determinó un radio hidráulico de 0,027m y un número de Reynolds de 24338,1 Turbulento, con base en las siguientes dimensiones: altura ( $yc$ ) de 0,053 m, base ( $bc$ ) 0,107m, área hidráulica 0,006 m<sup>2</sup> y velocidad del canal ( $V$ ) de 1,05 1m/s (Castillo, Gómez, 2022).



**Fig. 2.** Canales de llamada.

Fuente: Castillo, Gómez (2022). Elaboración adaptada por autores.

Se calcularon la velocidad de flujo con las ecuaciones correspondientes y arrojó el valor de 44,09 cm/s y la velocidad de sedimentación en el desarenador con flujo laminar de 40,49 cm/s. Se calculó un ancho del desarenador de 0,0135 m., con longitud de 3,052m. Existe una reducción de velocidad de sedimentación relativamente baja. Entonces, el nuevo volumen del tanque por efectos de la sedimentación se calculó en 5m<sup>3</sup> y el tiempo de sedimentación en 6,92 sg.

### III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Los diseños se elaboraron con el método de Gumbel y se tomó el promedio de las lluvias y la desviación estándar de estas, con un valor de 1496 mm., al mes, en la estación de Paramo Alto. Se hizo a la precipitación el ajuste con un factor de corrección de 1,13, con resultados para el periodo de retorno de 5 años de diferencia. Las precipitaciones se incrementan con el tiempo y para un retorno de 5 años da precipitación de 20,086 mm, para 100 años suben a 41,5162 mm. Entonces, da una precipitación ajustada de 61,60 mm.

En la vereda del Olivo se ilustraron las curvas IDF y las intensidades son inversamente proporcionales a la duración de las precipitaciones. Las curvas para los periodos de retorno de 10, 20 y 50 años no tienen variación y da diferencias de 0,1 min. En los meses de enero, marzo y diciembre se registran cifras altas de evapotranspiración con 87,78 mm/mes. El suelo es de textura limo – arcilloso, se hallaron áreas disponibles para la agricultura y se tomaron los lotes 13, 35 y 36 para los diseños de 3 tipos de jagüeyes para 5, 10 y 15 hectáreas. Al respecto, la experticia contribuye de manera sobresaliente, especialmente para ubicar en el terreno las diferentes obras (Perico-Granados, Tovar-Torres, Reyes y Vera, 2022).

Se calcularon las demandas totales y la humedad aprovechable para el suelo limo – arcilloso, con 9,31 cm, con suelo productivo para la agricultura. La lámina neta es mayor comparada con suelo arenoso, con valor de 46,55 mm. La cantidad de agua a aplicar es mayor para cubrir el agua que se evapotranspira. La frecuencia de riego para el suelo limo – arcilloso es de 8,86 días menos que el suelo arenoso para cubrir las necesidades hídricas de los cultivos, dada la capacidad de infiltración. Se obtuvo una precipitación aprovechable resultante de la precipitación promedio real y el coeficiente de escorrentía, considerando el uso de suelo pastizal, con pendiente promedio de los lotes 13, 35 y 36 de 18,04%. Se obtuvo un resultado de 10,67 mm/mes y según la precipitación es la responsable de la variación espacio – temporal de los recursos hídricos y de los cambios que se tiene en la disponibilidad de agua. Esta precipitación satisface la demanda mensual que requieren los cultivos de la vereda El Olivo.

Se diseñó un canal de llamada, que se encarga de captar el agua de escorrentía. Sin embargo, primero se calculó el

caudal de diseño para cada uno, con un tiempo de retorno para 20 años, para los 3 tipos de áreas, con caudales de 5,96 ltr/s, 11,93 ltrs/s y 17,89 ltrs/s, respectivamente. Se basaron los diseños en la ecuación de Manning, con pendiente del 2% y coeficiente de rugosidad de 0,012 para concreto. Las velocidades fueron de 1,05 m/s, 1,25 m/s y 1,38 m/s, respectivamente, datos proporcionalmente directos a las dimensiones de los jagüeyes, optimizando el funcionamiento de cada uno de ellos para lograr así cubrir la demanda requerida.

Para el jagüey de 5 ha., se obtuvo un volumen de 24,9 m<sup>3</sup>, se calculó para 3 meses 22,38 m<sup>3</sup> y se observa que el volumen es mayor en 2,56 m<sup>3</sup>. Para el jagüey de 10 ha., con volumen de 47,9 m<sup>3</sup> y el esperado para 3 meses de 44,77 m<sup>3</sup> con una diferencia de 3,13 m<sup>3</sup>. De esta manera, los dos jagüeyes en 3 meses según las estadísticas de precipitaciones almacenarán el agua sin que rebosen. Sin embargo, para el jagüey de 15 ha el volumen según sus dimensiones es de 67,6 m<sup>3</sup> y el volumen para una demanda de 3 meses es de 67,15 m<sup>3</sup> con una diferencia de 0,45 m<sup>3</sup>, aspecto que sugiere que en cualquier momento puede rebosar.

Se hicieron los diseños de tres vertederos, uno para cada jagüey, con base en los caudales obtenidos. Estos elementos permiten controlar el nivel del agua y evita que el agua rebose. Según Nengoue y Auréle, (2015), el vertedero tiene geometría de forma variable, con lámina libre, constituido por una pared perpendicular al flujo, por el cual deja circular el agua, sin que el sistema genere contratiempo en los sistemas e impacto negativo en la zona. El conocimiento teórico es necesario, pero es indispensable la experiencia para obtener resultados apropiados (Perico-Granados, Tovar-Torres, Reyes y Perico-Martínez, 2022).

Se diseñaron 3 tipos de desarenadores para remover partículas y material orgánico (Albuja *et al.*, 2013). Se diseñaron para arenas gruesas y se estableció el tiempo de sedimentación: 6,92 s., para determinar las direcciones del sedimentador. Los desarenadores tienen las mismas dimensiones, sin embargo, lo que cambia es la zona de transición debido a que los canales de llamada, dadas sus dimensiones, donde la zona de transición entre el desarenador de 5 ha (LZT = 80,08cm) y el de 10 ha (LZT = 77,24cm). Tiene variación de 1,57 m y entre el desarenador de 10 ha y el de 15 ha (LZT = 75,21cm) con diferencia de 2,03cm. Las dimensiones del canal de llamada son inversamente proporcionales a la zona de transición del desarenador.

En las encuestas a la comunidad de la vereda El Olivo, el 88% de personas no conocían conceptos de un jagüey y sus beneficios. Con el proyecto el 95% están de acuerdo en su construcción (Castillo, Gómez, 2022). El 90% están dispuestos a aportar mano de obra y desarrollar las obras de manera comunitaria. Entonces, generarían un impacto positivo a la comunidad según los datos arrojados en las encuestas, ya que, para las comunidades, según Botero *et al.* (2009) este tipo de sistemas son eficientes y económicos, dado que almacenan agua para labores productivas agropecuarias.

#### IV. CONCLUSIONES

En la vereda el 95% de personas tienen interés en el beneficio de obtener recolección de agua lluvia, para riego de huertas y de igual forma podría promover la agricultura. En este sentido, la construcción de los jagüeyes disminuye grandes recorridos del agua de escorrentía, con arrastre de sólidos y será utilizada para el servicio de las personas. Entonces, construir jagüeyes contribuye al uso adecuado de este líquido y mitiga parcialmente el cambio climático.

A partir del cálculo de la precipitación real se estableció la precipitación aprovechable en 10,67 mm/mes considerando que el coeficiente de escorrentía es de 0,65 con el tipo de suelo limo arcilloso. Se determinaron las tres áreas de captación necesarias para suprir la demanda de agua de los cultivos. Al respecto, hay consenso en que se deben buscar suelos arcillosos para estos propósitos de diseño y construcción de jagüeyes.

Con la demanda hídrica de los cultivos presentes en la zona para 5, 10 y 15 hectáreas se establecieron tres tipos de jagüeyes para almacenar volúmenes de 24,9 47,9 y 67,6 m<sup>3</sup> con un respaldo de tres veces la demanda requerida. El jagüey 1 puede almacenar un volumen de 24,9 m<sup>3</sup> para abastecer una demanda hídrica de 7,5 m<sup>3</sup> al mes. Entonces, se espera tener el agua suficiente para la irrigación de sus cultivos. En este sentido, con buenos diseños se puede optimizar la lluvia y la escorrentía para el uso agrícola.

Se recomienda, dado que los datos de precipitación se obtuvieron de una estación próxima, para diseños definitivos, hacer triangulación de curvas IDF de las estaciones más cercanas. También, se propone que se siga investigando y promoviendo el diseño y construcción

de este tipo de obras, dado que permiten disminuir inundaciones y a la vez son útiles a los potenciales usuarios.

Igualmente, se recomienda en la formación de los ingenieros, en los planes de estudio, dada la aparición del fenómeno de Cambio Climático, priorizar el desarrollo de los seres humanos y su seguridad alimentaria, con el diseño y construcción de jagüeyes y desarrollar las reforestaciones de las cuencas con árboles nativos para ayudar con la regulación natural del agua (Perico-Granados *et al.*, 2021), (Avella-Forero *et al.*, 2021), (Perico-Granados, Tuay-Sigua *et al.*, 2022).

#### 1. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Gerente del acueducto de la Vereda del Olivo, por su colaboración en los procesos.

#### 2. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y CIBERGRÁFICAS

- [1] Al-Seekh, S., & Mohammad, A. (2009). The effect of water harvesting techniques on runoff sedimentation, and properties. *Environmental Management* 44, 37-45. doi: <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9310-z>.
- [2] Aishaijiang, A., Nguyen Thi Kim Oanh, N., Jilili Abuduwaili, J. (2016). Variation Trends of Dust Storms in Relation to Meteorological Conditions and Anthropogenic Impacts in the Northeast Edge of the Taklimakan Desert, China. *Open Journal of Air Pollution* 5 (4).
- [3] Albuja, C., Pinos, C., Samaniego, J. (2013). Uso de desarenadores en abastecimiento de agua potable, Universidad de Cuenca, Ecuador, *Revista Galileo*, 23: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30010>
- [4] Álvarez, S. G. (2021). Cultural sustainability and community water management in coastal Ecuador: jagüeyes or albaradas and small dams or detention ponds. *Sustainability in Debate* 12(1), 101-132, doi: <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v12n1.2021.35516>
- [5] Araque-Niño, I., Britto-Aponte, M., Cuéllar-Rodríguez, L., Perico-Granados, N. (2020). Fitorremediación en aguas residuales sin tratamiento previo, *Revista de Tecnología*, en:

- [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/135295/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/135295/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [6] Avella-Forero, H., Perico-Granados, N., Acosta-Castellanos, P., Queiruga-Dios, A., y Arévalo-Algarra, H. (2021). Desarrollo de Competencias Aplicando el Método de Proyectos. Aplicación en Ingeniería Ambiental. En: Gude Prego, JJ, de la Puerta, JG, García Bringas, P., Quintián, H., Corchado, E. (eds) 14th International Conference on Computational Intelligence in Security for Information Systems and 12th International Conference on European Transnational Educational (CISIS 2021 e ICEUTE 2021). CISIS - ICEUTE 2021. *Avances en Sistemas Inteligentes y Computación*, vol 1400. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-87872-6\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-030-87872-6_37)
- [7] Ballut, G., & Monroy, M. C. (2015). Los Jagüeyes del Municipio de Sincelejo, Sucre, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 7(1), 80-83.
- [8] Botero, L., De la Ossa, J., Espitia, A., & De la Ossa, A. 2009. Importancia de los Jagüeyes en las sabanas del Caribe Colombiano. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 1(1), 71-84. doi:10.24188/recia.v1.n1.2009.413.
- [9] Castillo-Suárez, L., Gómez-Cañón, L. 2022. Reservorios para aguas lluvias en el Olivo, Cogua, Cundinamarca, Uniminuto, Tesis inédita.
- [10] Corporación Autónoma Regional (CAR). 2019. *Oportunidades de producción más limpia en la industria ladrillera*. Guía para empresarios: <https://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/36899/02833B.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=En%20Ola%20industria%20ladrillera%2C%20el,disposici%C3%B3n%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos%2C%20de%20forestaci%C3%B3n%20de%20C>
- [11] De La Ossa V., J., Ballut-Dajud, G., Monroy-Pineda, M. 2017. Los jagüeyes de los Montes de María en Sucre, Colombia: transformación alternativa y tradicional para acceso productivo y sobrevivencia. *Revista colombiana de ciencia animal recia* 9(1), 54-59. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.n1.2017.498>
- [12] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. 2013. *Captación y almacenamiento de aguas lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>
- [13] Fernández, D., Martínez, M., Ramírez, H., Martínez, B. 2017. *Ollas de agua, Jagüeyes, Cajas de agua o Aljibes*. SAGARPA. Texcoco: Subsecretaría de desarrollo rural, Dirección general de producción rural sustentable en zonas prioritarias. [https://0201.nccdn.net/1\\_2/000/000/170/8fa/Dise--o-y-Construcci-n-de-Jagueyes.pdf](https://0201.nccdn.net/1_2/000/000/170/8fa/Dise--o-y-Construcci-n-de-Jagueyes.pdf)
- [14] Galindo Escamilla, E., Palerm, J., Tovar Salina, J. L., Rodarte García, R. 2008. *Tecnología hidráulica y acciones comunitarias para la captación de agua de lluvia en Jagüeyes*. Boletín del archivo Histórico del agua, 21-31. [http://www.siagua.org/sites/default/files/documentos/documentos/captacion\\_agua\\_lluvia.pdf](http://www.siagua.org/sites/default/files/documentos/documentos/captacion_agua_lluvia.pdf)
- [15] Galindo, E., Bácenas, R. J. 2021. *El Benjamín de los Humedales: los jagüeyes, un patrimonio regional*. En U. A. México, & U. A. México (Ed.), *Humedales artificiales en México. Planteamientos alternativos a la extracción* 137-158. Ciudad de México, México: Río Subterráneo Editores.
- [16] Guzmán Puente, M. A. 2017 Jagüeyes, patrimonio morelense para la sustentabilidad. *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos* 13(30), 29-37. <http://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/179>
- [17] Hernández-Pérez, J., Landeros-Sánchez, C., Martínez-Dávila, J., López-Romero, G., Platas-Rosado, D., Nikolskii-Gavrilov, I. 2017. Valoración de la evapotranspiración real estimada y rendimiento de caña de azúcar en Veracruz, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 8(5), 1013-1019. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.104>
- [18] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. 2016. *Tiempo y clima. Obtenido de Promedios climatológicos*: <http://www.ideal.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>
- [19] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. 2022. *DHIME*. Obtenido de Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos: <http://dhime.ideal.gov.co/atencionciudadano/>
- [20] León-Agatón, A., Córdoba-Ruiz, J., y Carreño-Sayago, U., 2016. Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y

- aeropuertos. *Tecnura*, 20(50), 141-153. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a10>.
- [21] Limaylla, A. Q. 2012. *Captación de agua de lluvia para la agricultura*. <https://biblat.unam.mx/hevila/Boletindelarchivohistoricodelagua/2008/vol13/noesp/9.pdf>
- [22] Llerena, F., Martínez, M., Fernández, D. 2016. *Diseño y construcción de jagüeyes*. Colegio de Postgraduados. SAGARPA. <https://es.slideshare.net/demetriofernandez313/diseo-y-construccion-de-jageyes>
- [23] Marcos, J., y Álvarez, S. 2016. Campos de Camellones y Jagüeyes en Ecuador: Una visión integral desde la arqueología al presente socioambiental. *Intersecciones en Antropología*, 17. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-373X2016000100002](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-373X2016000100002)
- [24] Martínez, M., Fernández, D., Mendoza, C. E., Salas, R., & Ramírez, H. 2017. Diseño Hidráulico de un canal de llamada. Colegio de Postgraduados. Texcoco: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- [25] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. 2010. *Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico*. Bogotá: Viceministerio de agua y saneamiento básico. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>
- [26] Mohanty, S., Bardhan, T., & Dey, A. (July de 2020). Rain Water Harvestings: A Viable Way to Combat water Crisis. *Food and Scientific Reports*, 1(7), 44-48. <https://foodandscientificreports.com/details/rain-water-harvesting-a-viable-way-to-combat-water-crisis.html>
- [27] Naghettini, M. 2016. Fundamentals of Statistical Hydrology, *Francis*, pp 1-495
- [28] Naciones Unidas 2018, *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3)*, Santiago. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content>
- [29] Nengoue, N., Auréle, U. 2015. *Caracterización de vertederos hidráulicos mediante técnicas CFD*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/67819/TFM%20Ulrich%20Final.pdf?sequence=1#:~:text=Los%20vertederos%20hidráulicos%20son%20de,%2C%20triangulares%2C%20rectangulares%20y%20trapezoidales>.
- [30] Odhiambo, K., Iro Ong'or, B., Kanda, E. 2021. Optimization of rainwater harvesting system design for smallholder irrigation farmers in Kenya: a review. *AQUA — Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 70(4), 483-492. [doi.org/10.2166/aqua.2021.087](https://doi.org/10.2166/aqua.2021.087).
- [31] Orduz-Quijano, M., Sánchez-Suárez, O., Baquero-Rosas, L., Perico-Granados, N., Tuay-Sigua, N., Blanco-Portela, N. 2022. *La Educación, las Ciencias Sociales y la Interculturalidad: Una Mirada desde la formación posdoctoral*. Editorial Universidad Santo Tomás.
- [32] Pandey, P., Soupir, M., Singh, V., Panda, S., y Pandey, V. 2011. Modeling Rainwater Storage in Distributed Reservoir Systems in Humid Subtropical and Tropical Savannah Regions. *Water Resour Manage*, 3091-3111. [doi:10.1007/s11269-011-9847-5](https://doi.org/10.1007/s11269-011-9847-5)
- [33] Parlamento Europeo. 2022. *Informe sobre el acceso al agua como derecho humano: dimensión exterior*. [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2022-0231\\_ES.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2022-0231_ES.html)
- [34] Perico-Granados, N., Galarza, E., Diaz-Ochoa, M., Arévalo-Algarra, H., Perico-Martínez, N. 2020. *GUÍA PRÁCTICA DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA: Apoyo a la formación de docentes y estudiantes*. UNIMINUTO. En: [https://repository.uniminuto.edu/jspui/bitstream/10656/10822/1/Libro\\_Gu%C3%A1practica%20de%20investigaci%C3%B3n%20en%20ingenier%C3%A1\\_2020.pdf](https://repository.uniminuto.edu/jspui/bitstream/10656/10822/1/Libro_Gu%C3%A1practica%20de%20investigaci%C3%B3n%20en%20ingenier%C3%A1_2020.pdf)
- [35] Perico-Granados, N., Tovar-Torres, C., Reyes, C., Perico-Martínez, C. 2021. *Formación de docentes y transformaciones desde la ingeniería*. UNIMINUTO. En: [https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/11822/1/Libro\\_Formaci%C3%b3n%20de%20docentes%20y%20transformaciones%20desde%20la%20ingenier%C3%A1\\_2021.pdf](https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/11822/1/Libro_Formaci%C3%b3n%20de%20docentes%20y%20transformaciones%20desde%20la%20ingenier%C3%A1_2021.pdf)
- [36] Perico-Granados, N., Tuay-Sigua, R., Blanco-Portela, N. 2022. *La educación para el desarrollo sostenible en la formación de ingenieros*, en: *La educación, las ciencias*

- sociales y la interculturalidad. Una mirada desde la formación posdoctoral.*  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/43596/libro%20educaci%C3%B3n,%20las%20ciencias%20sociales.pdf?sequence=1>
- [37] Perico-Granados, N., Tovar-Torres, C., Reyes-Rodríguez, C., Perico-Martínez, L. 2022. La experiencia, la reflexión y la mediación en la construcción de conocimientos. *Publicaciones, facultad de educación y humanidades, campus de Melilla.*  
<https://revistaseug.ugr.es/index.php/publicaciones/article/view/22276/21086>
- [38] Perico-Granados, N., Tovar-Torres, C., Reyes-Rodríguez, C., Vera, M. 2022. Método de proyectos para construir conocimiento en experticia, comunicación y pensamiento crítico, sobre el ambiente. *Publicaciones, facultad de educación y humanidades, campus de Melilla.:*  
<https://revistaseug.ugr.es/index.php/publicaciones/article/view/22275/21084>
- [39] PNUD. (2015). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.  
<https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html#:~:text=Con%20el%20fin%20de%20garantizar,y%20fomentar%20pr%C3%A1cticas%20de%20higiene.>
- [40] SAGARPA. (2017). Diseño y Construcción de Jagüeyes. Colegio de postgraduados. Montecillo: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.  
[https://0201.nccdn.net/1\\_2/000/000/170/8fa/Dise--o-y-Construcci--n-de-Jagueyes.pdf](https://0201.nccdn.net/1_2/000/000/170/8fa/Dise--o-y-Construcci--n-de-Jagueyes.pdf)
- [41] Sánchez, J. (2013). Hidrología Hidrogeología. Obtenido de Cálculos Estadísticos en Hidrología:  
[https://hidrologia.usal.es/temas/calculos\\_esta.pdf](https://hidrologia.usal.es/temas/calculos_esta.pdf)
- [42] Torres-Parra, Camilo A. et al. Agua segura para comunidades rurales a partir de un sistema alternativo de filtración. *Revista de Salud Pública [online].* 2017, v. 19, n. 4, pp. 453-459:  
<https://doi.org/10.15446/rsap.v19n4.56039>
- [43] Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWAP). (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo.* París, UNESCO.  
[https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000390776\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000390776_spa)
- [44] Zapata, R. 2018. Tipos de suelos: Características de suelos arcillosos y limosos.  
<https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/TIPOS%20DE%20SUELO.pdf>