



<http://opn.to/a/SJulp>

ARTÍCULO ORIGINAL

Estudio de las precipitaciones para el diseño de sistema de captación de agua de lluvia

Study of rainfall for the design of rainwater harvesting system

MSc. Martha Paula Ricardo Calzadilla^{*}, Ing. Abel Gómez Arias^{II}, MSc. Rafael Martín Fernández^I,
MSc. Virgen Cutie Cansino^{III}, Ing. Onay Martínez Díaz^{IV}

^I Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAGRIC), Boyeros, La Habana, Cuba.

^{II} Universidad Tecnológica de La Habana-CUJAE, Facultad de Ingeniería Civil, Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Marianao, La Habana, Cuba.

^{III} Instituto de Meteorología, Regla, La Habana, Cuba.

^{IV} Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) Niceto Pérez, Los Palacios, Pinar del Río, Cuba.

RESUMEN. El estudio se desarrolló en la finca “Tierra Brava” Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) Niceto Pérez, ubicada en la llanura Sur de Pinar del Río; con 22 ha de frutales y más de 90 animales domésticos, afectada por baja disponibilidad del recurso hídrico. El trabajo se realizó con el objetivo de definir parámetros y criterios, acorde a las condiciones hidrológicas de la región, para el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia. En el diagnóstico realizado se comprobó que las fuentes de agua permanentes son limitadas. Sin embargo, la caracterización hidrológica en un período de 58 años indica valor medio de las precipitaciones de 1367 mm; y picos superiores a la media con períodos de retorno de 5 años. En promedio en un año de cada 5 la lluvia anual superará los 1543 mm, y en 4 años superará los 974 mm; lo que asegura agua disponible para ser captada. Se verificó un buen ajuste de los registros de precipitación a la función de distribución de Gumbel con un 95% de confianza K-S y R^2 de 0,97. Como resultado se definen el diámetro nominal de la canaleta y bajantes a utilizar en el diseño de 100 mm y 50 mm, respectivamente; considerando un área de captación de 261 m², que genera caudales de conducción entre 0,875 a 1,750 l/s y volumen total de 237,4 m³. Almacenarla garantizará agua disponible durante los meses de sequías para uso doméstico a una familia de 6 personas y abasto a 282 animales.

Palabras claves: caudales, conductora, diseño, disponibilidad de agua.

ABSTRACT. The study was carried out in the “Tierra Brava” farm Credit and Service Cooperative (CCS) Niceto Pérez, located in the southern plain of Pinar del Río; with 22 ha of fruit trees and more than 90 domestic animals, affected by low availability of water resources. With the objective of defining parameters and criteria, according to the hydrological conditions of the region, for the design of a rainwater collection system. In the diagnosis made it was verified that permanent water sources are limited. However, the hydrological characterization over a period of 58 years; showed an average value of 1367 mm; and peaks above the average, with a return or recurrence period of 5 years. On average in one year of every 5 the annual rainfall will be greater than 1543 mm and in 4 years over than 974mm; which ensures available water to be captured. A good fit of the rainfall records was verified; to the Gumbel distribution function with a 95% K-S confidence and R^2 ; of 0.97. As a result, are defined for the system design; nominal gutter’s diameter and downpipes of 100 mm 50 mm respectively; considering an area of 261 m²; what generates driving flows between 0.875 to 1,750 l/s and a volume of 237.4 m³. Store will guarantee water for domestic use to a family of 6 people and water supply for 282 animals, during dry months.

Keywords: flows; downpipes; design; water availability.

^{*}Autora para correspondencia: Martha Paula Ricardo Calzadilla, e-mail: proyecto2op15@iagric.cu

Recibido: 10/05/2019.

Aprobado: 13/03/2020.

INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) CITMA (2016), en la Estrategia Ambiental Nacional 2016-2020 (EAN) identifica la carencia, el manejo, la disponibilidad y calidad del agua, como uno de los principales problemas ambientales en Cuba. Además, propuso en la Tarea Vida, Plan de Estado para el enfrentamiento al cambio climático aprobado en 2017, asegurar la disponibilidad y uso eficiente del agua como parte del enfrentamiento a la sequía, a partir de la aplicación de tecnologías para el ahorro y la satisfacción de las demandas locales.

El agua constituye para Cuba el principal desafío ambiental para garantizar su sostenibilidad en el desarrollo, así como su seguridad ambiental y alimentaria (Díaz, 2018).

El logro del manejo sustentable de las diversas fuentes de agua constituye un reto, lo cual requiere de soluciones locales efectivas. La captación de las aguas de lluvias es una forma directamente productiva de conservación de suelos y aguas. Aplicando los métodos de captación de lluvias es posible mejorar significativamente la confiabilidad de la producción agrícola y mitigar los efectos de la sequía (Ricardo *et al.*, 2015).

Los sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia representan una opción real para suministrar agua, en cantidad y calidad. Además, es una de las soluciones más viables y económicas para abastecer de agua a los seres vivos con las que podría compensarse las necesidades del recurso durante el periodo crítico de los cultivos con riegos complementarios; para consumo humano, animal y para uso doméstico, considerando que una familia de cuatro integrantes demanda de 73,000 a 146,000 litros por año que representa una dotación de 50 a 100 litros por persona día (Anaya *et al.*, 2015).

Según FAO (2013); Anaya *et al.* (2015); UNESCO (2015), numerosos son los ejemplos del uso de Sistemas de Captación de Aguas de Lluvias (SCALLs) a lo largo de la historia de la humanidad. En Cuba también se encuentran evidencias de lo ancestral que es la práctica de captación de agua de lluvia, no solamente con antiguas obras hidráulicas, sino también con la estructura clásica de algunas viviendas (Quintana, 2001; Ortega, 2002).

La FAO (2013), señala que la práctica de captación y aprovechamiento de agua de lluvia se define como la técnica o procedimiento capaz de aumentar la disponibilidad de agua en un espacio o terreno, para uso doméstico, animal o vegetal. Considera además que, por lo general, son técnicas mejoradas de manejo de suelos, agua, manejo de cultivos y animal; así como la construcción de obras hidráulicas que permitan captar, derivar, conducir, almacenar y/o distribuir el agua de lluvia; entre otras existen:

- Microcaptación: Consiste en captar la escorrentía superficial generada dentro del propio terreno de cultivo, en áreas contiguas al área sembrada o plantada, para hacerla infiltrar

y ser aprovechada por los cultivos.

- Macrocaptación: Consiste en captar la escorrentía superficial generada en áreas más grandes, ubicadas contiguas al cultivo (macrocaptación interna) o apartadas del área de cultivo (macrocaptación externa), para hacerla infiltrar en el área de cultivo y ser aprovechada por las plantas.
- Cosecha de agua de techos de vivienda y otras estructuras impermeables: Consiste en captar la escorrentía producida en superficies impermeables o poco permeables, tales como techos de viviendas y establos, patios de tierra batida, superficies rocosas, hormigón, mampostería o plástico.

En las técnicas de captación es importante identificar los principales componentes del Sistema de Captación del Agua de Lluvia (SCALL), su funcionamiento, criterios de diseño más sobresalientes, las características de los materiales de construcción, la forma de construir estos sistemas; de manera que la puesta en marcha de los proyectos sea factible con un enfoque de sostenibilidad. No tienen grandes variaciones entre sí, la mayoría constan básicamente de tres componentes: captación, conducción y almacenamiento (Abdulla y Al-Shareef, 2009).

Autores como Lee *et al.* (2017); López *et al.* (2017); Basán *et al.* (2018), citan algunas de las ventajas de los SCALLs; entre otras señalan que estos sistemas no requieren de energía para operar, son de fácil construcción con materiales locales, reducen la necesidad de emplear sistemas de distribución complejos y costosos, proporcionan agua de calidad relativamente buena en comparación con las aguas superficiales y subterráneas, constituyen una alternativa para reducir la explotación de los acuíferos; y su uso es muy útil en regiones donde el agua subterránea no es químicamente apta para el consumo de forma directa.

Según UNESCO (2015), la caracterización hidrológica de los sitios donde se deberán implementar los sistemas SCALLs es un proceso esencial para el éxito de las obras; teniendo en cuenta que a partir de este análisis se podrá definir la capacidad real de abastecimiento de agua, en función de las necesidades que una determinada zona posea.

El presente estudio tuvo como objetivo definir parámetros y criterios, acorde a las condiciones hidrológicas de la zona de estudio, que faciliten el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia.

MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la finca Tierra Brava, perteneciente a la CCS Niceto Pérez, ubicada en la llanura Sur-occidental de Pinar del Río, en la parte Norte del municipio Los Palacios, a una distancia de 4,0 km del asentamiento cabecera. Se localiza en una de las subcuencas (No 1) del Río Los Palacios y sus coordenadas son 22° 29' 38,44" latitud Norte y 83° 17' 48,75" longitud Oeste (Figura 1).

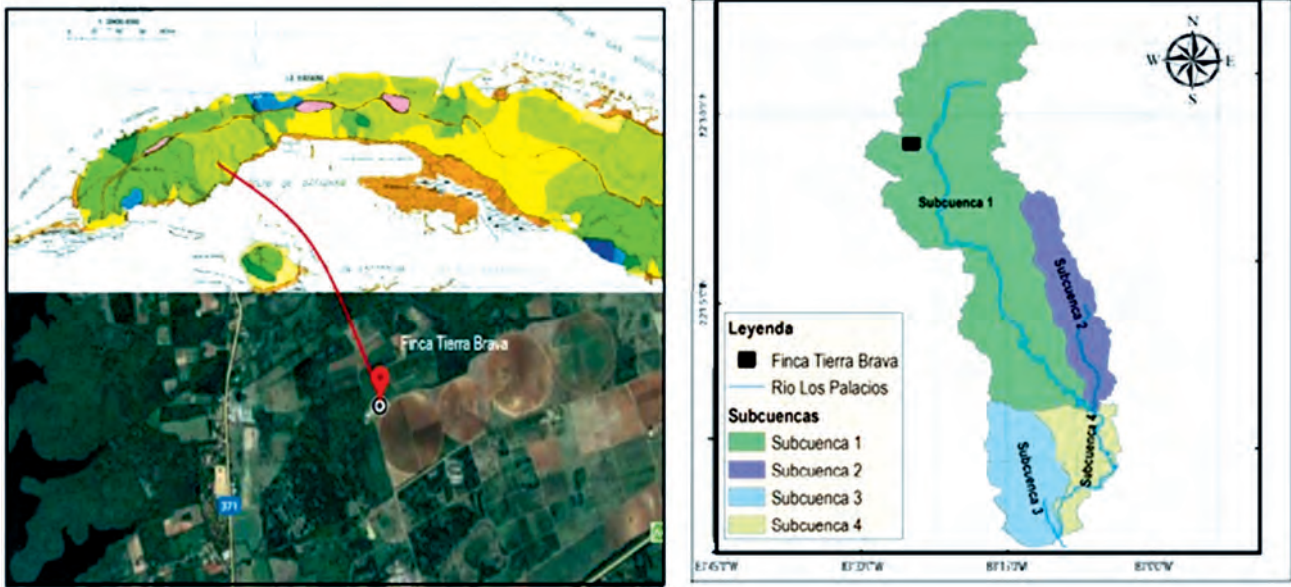


FIGURA 1. Ubicación espacial de finca “Tierra Brava”.

Precipitación

La precipitación anual se caracteriza por una acentuada estacionalidad, con un período lluvioso de mayo a octubre, donde se acumula el 75,5% del total de lluvia anual y otro poco lluvioso, que abarca desde noviembre a abril con el 24,5% restante. El record de lluvia máxima caída en un mes es de 305,3 mm en el mes de octubre de 2008 (INSMET, 2017).

Suelos y relieve

La finca abarca una superficie de 22,0 hectáreas en las que predomina el tipo de suelo Ferralítico Cuarcítico Amarillo Rojizo Lixiviado, de textura loam arcilloso-arenoso, medianamente desaturado (40-75%), con profundidad efectiva de 55 cm, y en cuanto a la erosión, de poca pérdida en el horizonte “A”. Como factores limitantes tiene la erosión, la compactación, la baja fertilidad y la baja retención de humedad (Instituto de Suelo, 2017).

Ubicado en la ladera de la Meseta del Rosario, predominando un relieve con ondulaciones o pendientes que oscilan entre 1 y 3%. Las características del relieve permiten el fácil laboreo del suelo y la cría y pastoreo de ganado menor dentro de los campos de frutales, así como la reducción del escurrimiento cuando ocurren las lluvias al mantenerse la cobertura del suelo durante todo el año, favoreciendo la infiltración del agua y un moderado desarrollo de los procesos de degradación del suelo.

Como parte inicial del diseño, se seleccionaron tres superficies fijas de techos de edificaciones allí existentes: la vivienda del productor, 2 naves de maduración y beneficio que pueden ser destinadas para la captación del agua de lluvia las cuales tienen un área efectiva de 63 m², 72 m², 126 m², respectivamente, para un área total de 261 m².

Caracterización hidrológica del sitio

Para la caracterización hidrológica del sitio se tuvieron en cuenta los acumulados anuales y medias mensuales de las

precipitaciones de un período de 58 años (1961-2018) de la estación meteorológica Paso Real de San Diego.

Para comenzar con el tratamiento estadístico a la serie de datos, se determinaron los estadígrafos de posición, también llamados “de tendencia central”, como es el caso de la media y la desviación estándar según UNESCO (2015).

Luego para la definición de la Función de Distribución de Probabilidad (FDP) se determinó el período de retorno (T) y la probabilidad de excedencia $P(X)$, según criterio de Pizarro y Novoa (1986).

La FDP de Gumbel

Para el ajuste de los registros de lluvias existen múltiples FDP que se pueden utilizar: distribución Normal, Log-Normal, Pearson III, entre otras. En este caso se escogió la distribución de Gumbel, dado que ha demostrado poseer una adecuada capacidad de ajuste a precipitaciones, en distintos períodos de tiempo (Pizarro y Novoa, 1986). La función de distribución acumulada de Gumbel se define mediante la siguiente expresión:

$$F(X) = e^{-e^{-d(x-\mu)}} \quad (1)$$

Dónde: X: valor a asumir por la variable aleatoria (precipitación de diseño); $e \approx 2,72$: constante de Neper; d y μ ; son parámetros, que en base a la Desviación estándar (S) y a la media aritmética; tienden a los siguientes valores:

$$d = \frac{1}{0,779696 \cdot S} \quad \mu = \bar{X} - 0,450047 \cdot S$$

Pruebas de bondad de ajuste

Para definir la calidad del ajuste de la FDP Gumbel a los datos, se aplicaron las pruebas de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov y el Coeficiente de Determinación (R^2). El test Kolmogorov-Smirnov es una prueba de normalidad basada en

el valor absoluto de la máxima diferencia entre la distribución acumulada observada y la teórica. Es utilizada para verificar la hipótesis de que cierta muestra procede de una distribución particular (Pizarro *et al.*, 2004).

Se determinó la frecuencia observada acumulada y la frecuencia teórica acumulada. Las frecuencias observadas se ordenan de menor a mayor y luego se aplica la expresión de Weibull según (UNESCO (2015):

$$Fn(X) = \frac{n}{N+1} \quad (2)$$

Dónde: $Fn(X)$: frecuencia observada acumulada; n : número de orden ascendente de la serie de datos; N : número total de datos.

Por su parte, la frecuencia teórica acumulada se determinó mediante la FDP de Gumbel $F(x)$. Para finalizar con el test, se calculó el valor absoluto de la máxima diferencia entre las frecuencias observadas y las acumuladas. Esta diferencia se denomina por la letra Dc y su expresión es la siguiente:

$$Dc = \text{Sup} | Fn(X)_i - F(X)_i | \quad (3)$$

Dónde: Dc : supremo de las diferencias; $Fn(X)_i$: frecuencia observada acumulada; $F(X)_i$: frecuencia teórica acumulada.

Además, para conocer qué proporción de la variación total de las frecuencias observadas, es explicada por las frecuencias teóricas acumuladas; se determinó, el Coeficiente de Determinación R^2 .

$$R_2 = \frac{\sum(Fn(X)_i - F(X)_i)^2}{\sum(Fn(X)_i - \overline{Fn(X)})^2} \quad (4)$$

Dónde: R^2 : coeficiente de determinación, $0 \leq R^2 \leq 1$; $Fn(X)_i$: frecuencia observada acumulada; $F(X)_i$: frecuencia teórica acumulada; $\overline{Fn(X)}$: media de las frecuencias observadas acumuladas.

Cálculo de la precipitación de diseño

Finalmente, es necesario conocer el valor a asumir por la variable aleatoria (precipitación) para cierto período de retorno asociado, de tal manera poder predecir posibles eventos futuros y tomar decisiones de gestión y para el diseño de sistemas de ladera. Para esto se despejó dicha variable y se calculó su valor asociado a la probabilidad de diseño. Al despejar el valor de la variable aleatoria de la función original (ecuación 1), se obtiene la siguiente expresión:

$$X = \mu - \frac{\ln(-\ln(F(X)))}{d} \quad (5)$$

Dónde: X : valor a asumir por la variable aleatoria (precipitación de diseño); d y μ : parámetros a ajustar de la función; $F(X)$: función de distribución acumulada de Gumbel.

Diseño hidráulico del sistema de captación de aguas de lluvias de techos

Para el diseño hidráulico del sistema de captación de aguas de lluvias de techos se definieron los parámetros y criterios necesarios (Precipitación neta (PN); eficiencia de captación

($\eta_{\text{captación}}$); área efectiva de captación (A_{ef}); volumen captado (V_{cap}); caudal de conducción (Q_c); velocidad del caudal (v); volumen del sedimentador ($V_{\text{sedimentador}}$); y el volumen del depósito de almacenamiento ($V_{\text{depósito}}$). Por el método propuesto por el Centro Internacional de Investigación, Demostración, Capacitación y Servicio en Aprovechamiento del Agua de Lluvia A.C. (CIDECALLI-CP), según (Anaya *et al.*, 2015). Basado en este mismo método se calculó la demanda a suplir mediante la siguiente expresión matemática:

$$D = \frac{N_b \cdot \text{Dot} \cdot N_d}{1000} \quad (6)$$

Dónde: D : demanda de agua (m^3); N_b : número de beneficiarios del sistema; Dot : dotación (L/p/d); N_d : número de días (se utiliza L, para obtener la demanda diaria); 1000: factor de conversión de litros a m^3 .

Donde se tuvo en cuenta la demanda de acuerdo a los “Índices de consumo de agua” según INRH (2015) en Resolución 287/2015 para las condiciones de Cuba y para el uso humano una dotación de acuerdo a la OMS según Anaya *et al.* (2015).

Diseño hidráulico del sistema de conducción del agua de lluvia

A propuesta del método se realizó un tanteo o proceso iterativo para llegar a la sección y dimensiones adecuadas de la canaleta o colector a utilizar en el sistema.

Los colectores del agua pluvial a localizar en el área de captación, se dimensionaron considerando una sección llena y en función de la extensión del área de captación y la pendiente asignada al colector. Para los tramos longitudinales de las canaletas la pendiente propuesta fue del 2% y canaletas de PVC con sección semicircular.

El diseño parte del cálculo del caudal real de escurrimiento o de conducción que circulará por el sistema, por la ecuación propuesta por este método (Ecuación 7). Considerando una intensidad de la lluvia de 50 mm/h; basada en el estudio de Planos (2004, citado por Perdígón *et al.* (2019).

$$Q_c = \frac{5}{18} (A_{ec} \cdot I_{\text{lluvia}}) \quad (7)$$

Dónde: caudal de conducción (L/s); es el área efectiva de captación de agua de lluvia (m^2); es la intensidad máxima de la lluvia en la zona (mm/h), 5/18: factor de conversión de m^3/h a L/s.

Para definir el tamaño de la sección de la canaleta a utilizar en el sistema; que permita evacuar la cantidad de agua determinada anteriormente, se utiliza la ecuación de continuidad:

$$Q = A \cdot v \quad (8)$$

Dónde: Q : caudal de circulación (m^3/s); A : área mojada o hidráulica de la sección transversal de la canaleta (m^2); v : velocidad del flujo en la canaleta (m/s).

Se propuso tentativamente y en función de las posibilidades comerciales, un área de sección semicircular llena, a partir de considerar un primer diámetro (en metro para facilidad de trabajo).

$$A = \frac{\pi \cdot r^2}{2} \quad (9)$$

Dónde: A : área mojada o hidráulica de la sección transversal de la canaleta (m^2); r : radio de la sección transversal (m); π : constante $\pi \approx 3,14$

Una vez calculada el área se determinó la velocidad del caudal para un coeficiente de rugosidad $n=0,007$ por ser canaletas de PVC y pendiente del 2% ($S=0,020$), por la Ecuación de Manning:

$$v = \frac{\sqrt{S} \cdot R^{\frac{2}{3}}}{n} \quad (10)$$

Dónde: v : velocidad del flujo (m/s); n : coeficiente de rugosidad que depende del material de la canaleta o tubería; R : radio hidráulico (m); S : pendiente longitudinal de la canaleta, expresada en tanto por uno.

Diámetro de la tubería de conducción

Según la NC 600: 2008 (2008)Cuba”,,”genre”.”ICS: 91.060.20 1”,”publisher”.”Oficina Nacional de Normalización (NC, el diámetro se define en función del gasto de circulación que evacúa el sistema, coincidiendo con lo planteado por el método de CIDECALLI propuesto por Anaya *et al.* (2015).

Una vez confirmado el caudal de conducción Q_c se despejó el diámetro en la ecuación de continuidad (ecuación 8) como

variable del área de la sección transversal de la tubería.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

El diagnóstico realizado en la finca Tierra Brava permitió identificar los factores limitantes y la disponibilidad real del recurso hídrico; a través de la caracterización hidrológica de la zona y la evaluación de las fuentes de aguas disponibles. En el mismo se constató que el sitio cuenta con 22 ha de tierras cultivables de frutales, donde se desarrolla la agricultura de conservación con prácticas silvopastoriles. Lo que facilita la alimentación de más de 90 animales (aves; carneros; conejos) y los resultados productivos en la producción de las frutas que producen.

No obstante, teniendo en cuenta la carencia casi total de fuentes de agua permanentes en el sitio para el abasto a la ganadería, el beneficio primario de las frutas que produce y para el uso doméstico, el principal factor limitante está asociado con una deficiente gestión de los recursos hídricos. Donde se identificaron solamente 2 fuentes de agua y en ambas su productividad depende del escurrimiento generado por las precipitaciones en la zona.

Una: pozo criollo de excavación manual de brocal ancho entre 1,5 - 2,0 m, con una profundidad actual de 5,0 m, el que presenta derrumbes en sus paredes laterales que reducen su capacidad de almacenamiento de 8 m de excavación a 5 m y su calidad; donde se acumula el agua procedente del escurrimiento superficial que alimenta la zona llana del sector hidrogeológico P II-5 en la Cuenca Costera Sur (Figura 2).



FIGURA 2. Imágenes del pozo y sus limitaciones (bajo nivel de agua y derrumbes en las paredes).

Este pozo, según el Grupo Empresarial de aprovechamiento de los Recursos Hídricos GEARH (2017), Pinar del Río, se encuentra enmarcado en los depósitos terrígenos carbonatados de la formación Paso Real. El corte de esta formación geológica se caracteriza por el predominio del componente terrígeno, es decir, por la presencia de arcillas, arcillas arenosas y margas que desde el punto de vista hidrogeológico son rocas impermeables. Lo que representa que su productividad es nula; dependiendo solamente del escurrimiento superficial aportado por las precipitaciones.

Una segunda fuente en el sitio es un Canal de captación con tranque, que recibe agua de lluvia proveniente del proceso de escurrimiento (Figura 3). El mismo posibilita mantener la humedad del suelo de los campos más cercanos por escurrimiento subsuperficial.



FIGURA 3. Canal de captación de agua de lluvia.

Sin embargo, al evaluar el comportamiento de las precipitaciones en la zona de estudio en un período de 58 años (1961-2018), de la estación representativa del área “Paso Real de San Diego” los estudios indican que en la región los

acumulados anuales son superiores a 974 mm como pueden apreciarse en la Figura 4.

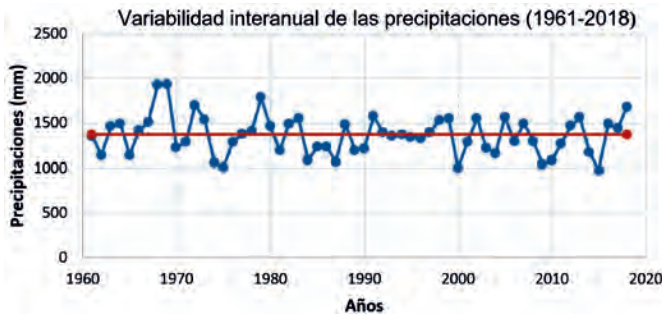


FIGURA 4. Comportamiento de las precipitaciones en el período 1961-2018.

Al definir los estadígrafos de posición de la muestra escogida el valor estimado de la media es de 1367 mm, mientras que la Desviación Estándar como una medida de la variabilidad de la muestra es de 217,35 mm, representando solo un 13% con respecto a la media.

Por otra parte, considerando el criterio de Pizarro y Novoa (1986) para conseguir precisar la probabilidad implícita, como puede apreciarse en la figura 5, los acumulados anuales superiores a la media se presentan con un período de retorno o recurrencia de cinco años; lo que indica que existe una probabilidad de excedencia que el suceso se repita del 20%, es decir que en promedio se puede esperar que en un año de cada cinco la lluvia anual sea igual o superior a 1543,7 mm y en cuatro años de cada cinco la lluvia anual será de 1162,5 mm o superior a 974,5 mm; con lo cual se asegura que en esos años se contará con el agua disponible. Lo anterior facilita la implementación de soluciones locales que incrementen el volumen de agua disponible en la finca Tierra Brava, mediante sistemas de captación de agua de lluvia (SCALLs).

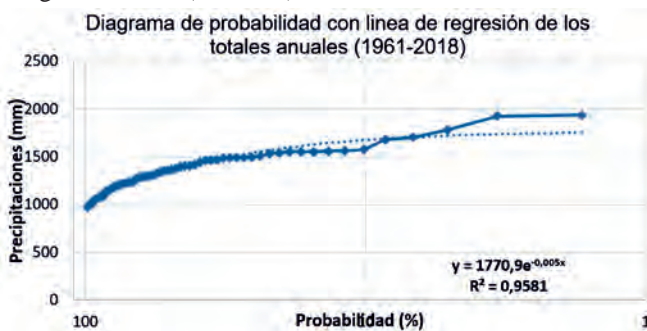


FIGURA 5. Diagrama de probabilidad de excedencia.

Test de bondad del ajuste de la FDP Gumbel

Una vez definida la probabilidad de excedencia, y teniendo en cuenta los estadígrafos media y desviación estándar, se

ajustaron los registros de lluvias a la Función de Distribución de Probabilidad (FDP) de Gumbel y se determinaron los parámetros de la FDP de Gumbel; $d=0,0059$ y $\mu=1269,2$. Se verificó que dicho ajuste es de calidad; a través del test Kolmogorov-Smirnov (K-S); donde el Supremo de las diferencias (D_c) ecuación (3); es menor que el valor $D_t=0,1786$, obtenido por la tabla K-S; por lo que se puede aceptar la hipótesis nula (H_0) que indica que se está en presencia de un buen ajuste con el nivel de confianza asumido ($D_t > D_c$), con un 95% de confianza ($\alpha=0,05$; $n=58$). (Pizarro *et al.*, 2004). De igual manera se aprecia un excelente ajuste del modelo; considerando el coeficiente de Determinación R^2 obtenido de 0,97.

Por todo lo anterior se puede afirmar que la FDP Gumbel es una distribución que se ajusta a los datos de precipitación de la serie escogida y el valor de la precipitación para un período de retorno de cinco años; despejando la variable de esta FDP por la ecuación 5 es de 1188,6 mm, lo que garantiza la confiabilidad a la hora de diseñar un sistema de captación de lluvia en la zona y poder tomar decisiones certeras en el diseño que satisfagan la demanda del recurso en el sitio.

Basado en los resultados anteriores, el estudio se enfocó fundamentalmente al criterio de aprovechar los techos existentes (261 m²) y generar una propuesta de diseño hidráulico a partir del agua de lluvia captada para satisfacer la demanda de uso doméstico y consumo animal, la cual representa un total de 235 m³.

Teniendo en cuenta el criterio aportado por la experiencia desarrollada en el CIDECALLI-CP, según Anaya *et al.* (2015), a la hora de seleccionar los datos de precipitación para el diseño del sistema de captación de techo en la zona se cumple la condición del método (precipitaciones superiores a 40 mm) en los meses de enero a noviembre para una precipitación total de 1337,6 mm. La que genera una precipitación a disposición del sistema (SCALL) o precipitación Neta (PN) de 909,6 mm; considerando el escurrimiento del material de los techos (tejas de metal) de 0,8 y en función del factor eficiencia de captación η de 0,68, lo que produce un volumen total de 237,4 m³ (Tabla1).

TABLA 1. Volumen total captado por los techos

Techo	Área (m ²)	Volumen captado (m ³)
Vivienda	63	57,30
Maduración	72	65,49
Beneficio	126	114,61
Total	261	237,40

El volumen captado desde los techos; como puede apreciarse en la Tabla 2 satisface la demanda de agua para diversos usos: las naves de maduración y beneficio para el consumo animal durante todo el año a un total de 93 animales (aves; carneros y conejos) y la vivienda garantiza agua para todo el año a 2 personas.

TABLA 2. Demanda de agua para uso doméstico y consumo animal

Usos	Cantidad	Dotación (litros/ día)	Demanda anual (m ³)	Demanda Meses de sequía +2 (m ³)	Usuarios beneficiados durante 2 meses de sequías +2
Naves de Beneficio y Maduración					
Aves	12	1	4,38	1,46	36

Usos	Cantidad	Dotación (litros/ día)	Demanda anual (m ³)	Demanda Meses de sequía +2 (m ³)	Usuarios beneficiados durante 2 meses de sequías +2
Carneros	64	6,6	154,18	51,39	192
Conejos	18	3.3	21,70	7,30	54
Total	93		180,24	60,03	282
			Vivienda		
Doméstico	2	75	54,75	18.25	6

Además; como puede apreciarse en la tabla 2 conservar el agua de lluvia captada en cisternas garantizará la demanda durante los meses de sequía más dos meses de seguridad (4 meses) a una familia de 6 personas y a 282 animales; es decir a 36 gallinas 54 conejos y 192 carneros; lo que reduciría la vulnerabilidad de la zona ante el riesgo por sequía.

Diseño hidráulico del sistema de recolección y conducción

Una vez evaluadas las potencialidades hidrológicas del sitio y el volumen aportado por los techos se definieron los elementos que componen el sistema de captación diseñado. Para el diseño hidráulico de las canaletas por el método propuesto por CIDECALLI-CP, según Anaya *et al.* (2015), se partió del cálculo del caudal real de escurrimiento o de conducción Q_c que circulará por el sistema, aplicando la ecuación 7 y teniendo en cuenta el área efectiva de cada uno de los techos ante una intensidad de la lluvia en la zona de 50 mm/h.

Se obtuvo un caudal Q_c en cada área de 0,875 L/s en la vivienda, 1 L/s en la nave de maduración y 1,75 L/s en la nave de beneficio, lo que genera un caudal total de 3,625 L/s, valor a tener en cuenta en el momento de evacuar todos los caudales juntos.

En el proceso de selección de la canaletas, se proponen canaletas de sección semicircular. A las que se les determinaron las dimensiones que permitirán evacuar el caudal real de escurrimiento o de conducción (Q_c), a través de un proceso iterativo que permitió definir la sección y las dimensiones adecuadas de la canaletas o colector a utilizar. Para ello se calculó el caudal máximo (Q) de 5,122 L/s, que es capaz de evacuar la sección seleccionada de 0,090 m; por la ecuación de continuidad (ecuación 8), considerando una sección llena y la velocidad del flujo (v) de 1,610 m/s por la ecuación de Manning (ecuación 9).

Quedó demostrado que el diámetro de canaletas para cada caso de 0,09 m admite un caudal máximo Q , mayor que el caudal real de escurrimiento o de conducción Q_c , por lo que se considera admisible el diámetro escogido.

El diámetro de los bajantes o tuberías de conducción definido está entre 0,040-0,041m, el que se calculó una vez confirmado el caudal real de escurrimiento o de conducción Q_c , despejando de la ecuación de continuidad (ecuación 8); como variable del área de la sección transversal de la tubería, donde $Q=Q_c$ y la velocidad (v) se impone mayor que la velocidad mínima para evitar sedimentación, 0,6 m/s y menor que la máxima admisible por el material, es decir no más de 5 m/s para PVC, para evitar sedimentación y erosión, respectivamente (Tabla 3). según el criterio de León y Martínez (2010).

No obstante, se proponen diámetros nominales de 100 mm para la canaletas y 50 mm para los bajantes o tuberías de conducción, teniendo en cuenta que en el mercado se venden según su diámetro nominal (diámetro exterior), considerando un espesor del material de 5 mm.

TABLA 3. Velocidad del flujo en el sistema de conducción y su diámetros

Techo	v (m/s)	D (m)	Diámetro exterior (mm)
Vivienda	0,7	0,040	50
Nave de maduración	0,8	0,040	50
Nave de beneficio	1,3	0,041	50

En cada uno de los sistemas a diseñar es necesario instalar un sedimentador según el criterio de Anaya *et al.* (2015). Como se puede apreciar en la tabla 4, los resultados indican la necesidad de diseñar sedimentadores con volúmenes en el rango de 1,05 a 2,01 m³, lo que reduce las afectaciones por sedimentación a la hora de almacenar el agua de lluvia captada. Este volumen de agua disponible puede ser utilizado para otros usos como la limpieza de las naves y la vivienda.

TABLA 4. Volumen del sedimentador para cada caso

Techo	Área (m ²)	V _{sedimentador} (m ³)
Vivienda	63	1,050
Maduración	72	1,200
Beneficio	126	2,100

CONCLUSIONES

- La muestra escogida para el análisis de las precipitaciones se ajusta a la función de distribución de Gumbel con un 95% de confianza K-S y Coeficiente de Determinación R^2 de 0,97.
- En el sitio existen potencialidades para incrementar el volumen disponible del recurso hídrico a través de la captación de agua de lluvia desde los techos con un área efectiva de 261 m².
- La precipitación neta en la zona es de 909,6 mm; como mínimo su captación y almacenamiento genera un incremento del volumen disponible durante los meses de sequía en 78,23 m³ y un volumen total en el año de 237, 41 m³.
- La propuesta de diseño hidráulico del sistema de captación de techo demanda un diámetro nominal de canaletas de 100 mm y bajantes y conductoras de 50 mm.
- El agua de lluvia captada almacenada en cisternas garantizará la demanda durante los meses de sequía más dos meses de seguridad (4 meses) a una familia de 6 personas y a 282 animales.

AGRADECIMIENTOS



Este trabajo forma parte de los resultados del Proyecto 2: “Fortalecimiento de Capacidades para la Coordinación de Información y los Sistemas de Monitoreo/MST en Áreas con Problemas de Manejo de los Recursos Hídricos”, del Programa de Asociación de País (CPP/OP 15, Country Pilot Partnership) sobre Manejo Sostenible de Tierras PIMS (3005) en Apoyo al Programa Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía en Cuba, como donante el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), Implementadores: ONU Ambiente y PNUD, Ejecutor: Agencia de Medio Ambiente, Agencia Técnica de Colaboración FAO y con la participación de diversas instituciones nacionales. Muchas gracias por el valioso apoyo a la investigación.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULLA, F.A.; AL-SHAREEF, A.W.: “Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan”, *Desalination*, 243(1-3): 195-207, 2009, ISSN: 0011-9164.
- ANAYA, G.M.; RAMÍREZ, C.; MARTÍNEZ, J.J.: “*Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia (SCALL) para consumo humano y uso doméstico*”, Inst. Centro Internacional de Investigación, Demostración, Capacitación y Servicio en Aprovechamiento del Agua de Lluvia A.C. (CIDECALLI), III Diplomado Internacional, Unidad de Congresos, Hotel Posada Santa Bertha. Texcoco, Estado de México, México, 2015.
- BASÁN, N.M.; SÁNCHEZ, L.; TOSOLINI, R.; TEJERINA, D.F.; JORDAN, P.: “Sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano, sinónimo de agua segura”, *Aqua-LAC*, 10(1): 15-25, 2018.
- CITMA: *Estrategia Ambiental Nacional 2016 / 2020. Cuba*, Inst. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), La Habana, Cuba, 2016.
- DÍAZ, D.J.A.: “El agua en Cuba: un desafío a la sostenibilidad”, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(2): 46-59, 2018, ISSN: 1680-0338.
- FAO: *Captación y almacenamiento de agua de lluvia Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*, Oficina Regional de la FAO Para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile, Chile, 2013, ISBN: 978-92-5-307580-5.
- GEARH: *Valoración geólogo-hidrogeológica sobre la propuesta de fuente de abasto para el sitio de réplica Finca Tierra Brava, municipio Los Palacios, provincia Pinar del Río*, Inst. Grupo Empresarial de aprovechamiento de los Recursos Hídricos (GEARH), Informe, Pinar del Río, Cuba, 2017.
- INSMET: *Caracterización climática de la Estación Meteorológica de Paso Real de San Diego, Pinar del Río*, Inst. Instituto de Meteorología de Cuba, Caracterización climática, Paso Real de San Diego, Pinar del Río, Cuba, 2017.
- INSTITUTO DE SUELO: *Informe de caracterización del suelo y el relieve. Finca Tierra Brava*, Inst. Ministerio de la Agricultura, Minag., Cuba, Caracterización del suelo, La Habana, Cuba, 2017.
- LEE, M.; KIM, M.; KIM, Y.; HAN, M.: “Consideration of rainwater quality parameters for drinking purposes: a case study in rural Vietnam”, *Journal of environmental management*, 200: 400-406, 2017, ISSN: 0301-4797.
- LEÓN, M.A.J.F.; MARTÍNEZ, G.Y.: *Hidráulica de las Conducciones Libres Tomo II*, Ed. ISPJAE- CUJAE, La Habana, Cuba, 2010.
- LÓPEZ, H.N.A.; PALACIOS, V.O.L.; ANAYA, G.M.; CHÁVEZ, J.; RUBIÑOS, P.; GARCÍA, C.M.: “Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: alternativa de abastecimiento hídrico”, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(6): 1433-1439, 2017, ISSN: 2007-0934.
- NC 600: 2008: *Edificaciones: requisitos de diseño del sistema de drenaje pluvial. ICS: 91.060.20 1*, Inst. Oficina Nacional de Normalización (NC), ICS: 91.060.20 1, La Habana, Cuba, 2008.
- ORTEGA, S.F.: “Captación de agua por los taínos en Cuba”, *Revista Agricultura Orgánica*,: 35-36, 2002, ISSN: 1028-2130.
- PERDIGÓN, C.D.; MARTÍNEZ, G.Y.; PÉREZ, A.A.; ULLOA, L.D.R.: “Patrones de distribución temporal de lluvia ciclónica en Cuba estimada por el modelo WRF”, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(1): 17-31, 2019, ISSN: 1680-0338.
- PIZARRO, R.; NOVOA, P.: *Elementos técnicos de hidrología I*, Ed. Corporación Nacional Forestal, Ministerio de Agricultura, Universidad de Chile, Instructivos técnicos ed., La Serena, Chile, 1986.
- PIZARRO, R.; SANGÜESA, C.; FLORES, J.; MARTÍNEZ, E.: *Diseño de Obras para la Conservación de Aguas y Suelos*, Inst. CORFO, 2004.
- QUINTANA, N.: “Arquitectura y Urbanismo en la República de Cuba (1902-1958): antecedentes, evolución y estructuras de Apoyo”, En: *Congreso Internacional de Asociación de Estudios Latinoamericanos LASA*, 2001.
- RICARDO, C.M.P.; MÉNDEZ, F.M.; BONET, P.C.; SIERRA, C.L.O.; CUTIÉ, V.: “Evaluación de la eficiencia de la captación de agua de lluvia en casas de cultivos”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(4): 3-9, 2015, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- UNESCO: *Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales de Chile*, Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe (PHI-LAC), no. ser. Documento Técnico N° 36, Ed. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Talca, Chile, 2015, ISBN: 978-92-9089-198-7.

Martha Paula Ricardo Calzadilla, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: proyecto20p15@iagric.cu
 Abel Gómez Arias, Universidad Tecnológica de La Habana-CUJAE, Facultad de Ingeniería Civil, Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Marianao, La Habana, Cuba, e-mail: proyecto20p15@iagric.cu

Rafael Martín Fernández, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: proyecto20p15@iagric.cu
 Virgen Cutie Cansino, Instituto de Meteorología, Municipio Regla, La Habana, Cuba, e-mail: virgen.cutie@insmet.cu

Onay Martínez Díaz, Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) Niceto Pérez, Los Palacios, Pinar del Río, e-mail: proyecto20p15@iagric.cu

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

Convención Internacional Ingeniería Agrícola 2020

19 - 23 de octubre de 2020

CONVOCATORIA

El Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric) se complace en invitar a investigadores, académicos, empresarios, decisores de políticas de gobierno y demás especialistas de Cuba y el mundo, que trabajen por alcanzar sostenibilidad de la agricultura, a la Convención Internacional de Ingeniería Agrícola 2020 dedicada a la "Agricultura de Precisión" como tema central.

TEMÁTICAS

- Agricultura de Precisión.
- Agricultura de Conservación.
- Relaciones agua – suelo – planta – atmósfera.
- Tecnologías de riego, drenaje y mecanización en los sistemas agropecuarios.
- Recursos energéticos convencionales y renovables en la actividad agropecuaria.
- Impactos del cambio climático en el sector agropecuario.
- Impactos del riego, el drenaje y la mecanización en el medio ambiente.
- Formación, Capacitación y Extensivismo en la Ingeniería Agrícola.
- **MININDUSTRIAS:**
- Género, equidad e inclusión en el sector agropecuario y el medio ambiente.

COMITÉ ORGANIZADOR
 Presidencia:

Presidente de Honor: *Inq. José Suárez León*
 Presidente MSc: *Víctor M. Tejeda Marrero*
 Vicepresidenta: *MSc. Andy Azop Capote*
 Comité Científico:
 Presidente: *Dra. C. Yaima Chaterlón Duratty*
 Miembro: *Dr. C. Julián Herrera Puebla*
 Miembro: *Dra. C. Felicitá González Robaina*
 Miembro: *Dr. C. Enrique Cisneros Zayas*
 Miembro: *Dra. C. Carmen Duarte Díaz*
 Miembro: *MSc. Amaury Rodríguez González*
 Miembro: *MSc. Martha I. Malinilla Lavastida*
 Miembro: *MSc. Juan E. Garzón Perera*
 Miembro: *MSc. Luisa Villarino Fernández*

FECHAS IMPORTANTES

- La entrega de los resúmenes será hasta el **FEBRERO DEL 2020**, en formato electrónico.
- La notificación oficial de aceptación será en **MARZO 2020**.
- La entrega final de los trabajos aceptados será el **30 DE ABRIL**, en formato electrónico PDF.

CONTACTOS

Las personas interesadas podrán comunicarse con la Secretaría Ejecutiva del evento:

MSc. Orelvis Almagro Peñelver

55 7 645 4008
convencion2020@boyeros.iagric.cu

Agencia de Viajes: (Saviata Tours, Jardines del Rey)

COSTOS DE INSCRIPCIÓN:

PARTICIPANTES	HASTA EL 30 de mayo 2020	DESPUÉS DEL 30 de mayo 2020
Delegados	250.00	300.00
Acompañantes	100.00	150.00
Estudiantes	120.00	170.00

Los estudiantes deberán presentar documento acreditativo de su institución avalando su condición.

Polo Turístico Cayería de Ciego de Ávila

**AGRICULTURA DE PRECISIÓN:
 DOSIS CORRECTAS, EN EL LUGAR IDÓNEO EN EL MOMENTO ÓPTIMO.**