



SOSTENIBILIDAD DE LA COSECHA DE AGUA PLUVIAL COMO ALTERNATIVA DE ABREVADERO PARA GANADO EN ZONA RURAL DEL DISTRITO DE ILAVE-PERÚ

SUSTAINABILITY OF RAINWATER HARVEST AS AN ALTERNATIVE WATERING PLACE FOR LIVESTOCK IN THE RURAL AREA OF THE DISTRICT OF ILAVE-PERU

Recibido: 14/05/22 **Aceptado:** 01/07/22

DOI: <http://doi.org/10.47190/nric.v4i1.6>

Elmer Atencio Miranda

<https://orcid.org/0000-0003-4981-4091>

mirand43@live.com - Universidad Nacional del Altiplano Puno

Roberto Alfaro-Alejo

<https://orcid.org/0000-0003-1672-9026>

ralfaro@unap.edu.pe - Universidad Nacional del Altiplano Puno

Wile Mamani-Navarro

<https://orcid.org/0000-0002-7557-2025>

wmamani@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca

RESUMEN

La escasez de agua potable sobre todo en áreas rurales ha provocado el incremento del uso de fuentes de agua no convencionales como es la recolección de agua de lluvia. Por lo tanto, ha sido necesario cumplir el objetivo de evaluar la sostenibilidad del sistema de captación de agua lluvia en viviendas rurales como alternativa para uso de abrevadero para ganado en la comunidad de Suquinapi del distrito de Ilave. Se evaluaron los techos de una vivienda rural relacionado al material, área de recolección, demanda de agua, la precipitación diaria mensualizada como oferta, la capacidad del sedimentador para sólidos de primeras aguas y la estimación del volumen de almacenamiento. En la vivienda se estimó una demanda de agua de 0.240 m³/día, la precipitación de 450.97 mm/año, siendo el volumen anual 82.98 m³ de agua. Los techos de la vivienda tuvieron un área total de 184 m², para la trampa de sólidos se estimó un volumen 0.20 m³ y el volumen de almacenamiento requerido fue de 45 m³. Por lo tanto, la recolección de agua de lluvia para el abrevadero de ganado es factible su instalación, sin embargo, se estima que solamente abastecerá los meses de enero a agosto, mientras que, durante los meses de setiembre a diciembre, se abastecerá con el sistema de agua potable convencional.

Palabras Clave: agua de lluvia, pecuario, cosecha de agua, vivienda rural

ABSTRACT

The scarcity of drinking water, especially in rural areas, has led to an increase in the use of non-conventional water sources such as rainwater harvesting. Therefore, it has been necessary to fulfill the objective of evaluating the sustainability of the rainwater harvesting system in rural homes as an alternative to use as a watering hole for cattle in the community of Suquinapi in the Ilave district. The roofs of a rural house were evaluated in relation to the material, collection area, water demand, monthly monthly rainfall as supply, the capacity of the settler for first-water solids and the estimation of the storage volume. In the dwelling, a water demand of 0.240 m³/day was estimated, with precipitation of 450.97 mm/year, with an annual volume of 82.98 m³ of water. The roofs of the house had a total area of 184 m², for the solids trap a volume of 0.20 m³ was estimated and the required storage volume was 45 m³. Therefore, it is feasible to install the collection of rainwater for the cattle trough, however, it is estimated that it will only supply the months of January to August, while, during the months of September to December, it will be supplied with the conventional drinking water system.

Key Words: Rainwater, livestock, water harvesting, rural housing

INTRODUCCIÓN

Pese a que en el Perú se tiene recursos renovables anuales de agua dulce per cápita de 54,535.74 m³ en el 2014 (Banco-Mundial, 2019), la distribución espacial y temporal es muy variable. Sumado al incremento poblacional y el cambio climático, junto con las altas tasas de evaporación, ocasiona una escasez temporal frecuente de agua disponible para cultivos de riego por lluvia (secano), riego, usos domésticos y bebida del ganado (Willy & Kuhn, 2016). Las técnicas de cosecha de agua lluvia se emplearon en muchas partes del mundo con la finalidad de mantener la sostenibilidad del agua en áreas rurales y urbanas (Herrera, 2010). Sin embargo, millones de individuos en el mundo aun no tienen acceso a esta necesidad. En particular, en las zonas rurales, la dispersión poblacional dificulta la ejecución de métodos de distribución de agua convencionales (Dao et al., 2017). Muchos de los usos domésticos de agua pueden ser sustituidos por agua de lluvia como fuente de abastecimiento (Hugues, 2019).

El abastecimiento de agua a través de cosecha de agua lluvia se considera como una opción viable (Ballén et al., 2006). Es así que las áreas impermeables como patios y techos se usan para recolectar agua de escorrentía y acarrear a un reservorio, para el beneficio de la agricultura y usos domésticos (Alim et al., 2020; Aziz et al., 2020; Hurayra & Rahman, 2022; Ward et al., 2010).

La implementación de la recolección de agua de lluvia ha ido en aumento como una alternativa a los métodos convencionales para reducir el número de personas sin acceso a agua potable, especialmente en áreas rurales (Ayantunde et al., 2018; Sámano-Romero et al., 2016). Sin embargo, muchos reservorios diseñados para bebedero de ganado contribuyen a una cohabitación pacífica de los pequeños reservorios para producción de hortalizas y el bebedero del ganado reduciendo la incidencia de conflictos (Ayantunde et al., 2018). Estos reservorios y sistemas de recarga en zonas semiáridas contribuyen a la seguridad hídrica en zonas rurales (Kiggundu et al., 2018; Okotto-Okotto et al., 2021; Mamani et al., 2016). Asimismo, Sagarpa (2017) y FAO (2013) mencionan las cantidades que se deben proporcionar en forma diaria como bebida para animales, los cuales pueden utilizar el agua de lluvia (Brown Manrique et al., 2009), considerando además la calidad del agua para tal fin (Fernandez Cirelli et al., 2010).

El incremento de la población en la región de Puno coadyuba al acrecentamiento de la problemática del abastecimiento de agua potable (Chino et al., 2016), por lo tanto, resulta ser insuficiente para dotar algunas viviendas, abriendo la posibilidad de utilizar otras fuentes no convencionales de agua. Así, las familias asentadas en Suquinapi emplean el agua tratada de la red de abastecimiento también para usos no potables (riego de cultivos, abrevadero de ganado y otros), en consecuencia, hay poca

valoración del sistema de agua potable, lo que provoca falta de equidad en el servicio, haciendo que usuarios de las viviendas más alejadas sufran el malestar, ya que el agua potable llega con dificultades, siendo un suministro intermitente. De esta manera la red de agua potable no satisface plenamente con la actual demanda, asimismo, no existe fuentes de aguas superficiales ni subterráneas para abrevadero de animales.

Nos enfocamos en la dotación de agua para el suministro de abrevadero de ganado doméstico, por ser la base de la economía familiar. En esa perspectiva la captación de agua de lluvia en las viviendas es una prioridad. Además, en este estudio, se evaluaron los parámetros de diseño para la implementación de la recolección de agua de lluvia a fin de satisfacer la demanda de agua en una vivienda típica para abrevadero de ganado. La importancia de este estudio se basa en: (1) el hecho de que en esta región existe escasez de agua frente a los diversos usos; y, (2) el enfoque y los resultados presentados en este trabajo se pueden utilizar en regiones con estrés hídrico para lograr soluciones sustentables para el suministro de agua basado en la recolección de agua de lluvia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La región Puno está ubicada al sur del Perú. La vivienda familiar elegida está ubicada en la comunidad de Suquinapi del distrito de Ilave, provincia de El Collao (Figura 1), entre las coordenadas 69° 37' 31" longitud oeste, 16° 06' 56" latitud sur, altitud 3870 msnm, se trata de una zona semiárida. El diagnóstico de la vivienda reporta 3 vacunos, 15 ovinos, además tiene los servicios de agua potable, electricidad y eliminación de excretas.

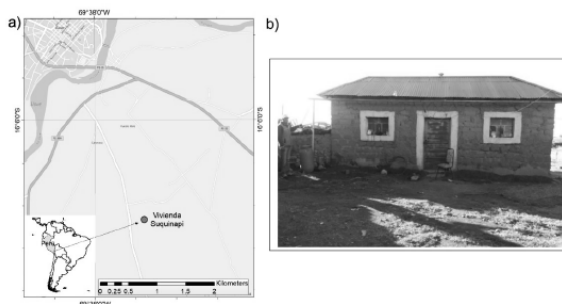


Figura 1. a) Mapa de Ubicación comunidad de Suquinapi b) Vivienda rural

Métodos

El diagnóstico socioeconómico y físico del ámbito de estudio es el punto de partida, lo que implica la geolocalización de la vivienda para el análisis del sistema de recolección, obteniendo las dimensiones y materiales del techo. Luego viene la estimación de la oferta de agua de lluvia, que incluye la cuantificación de la precipitación. Posteriormente la demanda de agua diaria y mensual para abrevadero de animales. Es de esta manera tomando en cuenta varios criterios para el diseño adecuado de sistemas de agua de lluvia (CIDECALLI, 2008; Sharma et al., 2015; UNATSABAR, 2003), lo que contempla a) Volumen para trampa de sólidos inicial b) Dimensionamiento del almacenamiento del agua de lluvia recolectada c) Conducción del agua para el consumo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnóstico de la vivienda familiar

El área de los techos de la vivienda es de calamina galvanizada, que es el material predominante. Este material proporciona una superficie lisa, impermeable y efecto esterilizante por las altas temperaturas que alcanza en el día.

La vivienda se conforma de tres ambientes (dormitorios, cocina, sala multiusos) con dimensiones de los techos de 8 m de largo por 5 m de ancho, Además, cuenta con un cobertizo para ganado siendo sus dimensiones de 12.40 m largo por 5.2 m de ancho, construidas de material noble, con techos de calamina galvanizada, lo que hace un área total área captación de 184 m². Notándose que los techos de la vivienda están libres de óxido, asimismo la pendiente de los techos es adecuada ya que facilita la evacuación del agua de lluvia.

La vivienda del señor Fredy Laura Arocutipu cuenta con techos cuyas canaletas pluviales suman 113.20 m. La base de la canaleta es de 10 cm, y su altura de 12 cm, está fijado con un soporte o solera de acero de 1x1/8 de pulgada a una separación de 1 metro. El bajante pluvial y de conducción tiene una altura de 2.40 en promedio, producto de PVC sanitario.

El aprovechamiento de los techos de las viviendas fue con el objeto de promover una

cultura de uso sostenible del recurso hídrico a través de la recolección del agua de lluvia como alternativa en la utilización para abrevadero de animales y algunos usos no potables, de esta manera optimizar el agua potable, que contribuya al desarrollo rural sustentable en las comunidades de las zonas marginales (Aziz et al., 2020; Dao et al., 2017; Kiggundu et al., 2018).

En este contexto, es ideal, aprovechar las cubiertas de los techos de áreas grandes, como locales comunales, centros educativos, centros de salud, templos religiosos y otros (Hurayra & Rahman, 2022; Palacio, 2010; Sharma et al., 2015).

Oferta de agua de lluvia

La oferta de agua de lluvia se estima a partir de la precipitación total mensual para el periodo 2000-2014, se utilizó a partir de los datos diarios proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) mostrado en la Tabla 1.

Oferta de agua de lluvia

La oferta de agua de lluvia se estima a partir de la precipitación total mensual para el periodo 2000-2014, se utilizó a partir de los datos diarios proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) mostrado en la Tabla 1.

Tabla 1
Precipitación mensual de la estación llave periodo 2000 - 2014.

AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total anual
2000	269.92	161.10	135.60	14.40	4.90	4.40	9.30	6.40	3.20	51.50	1.00	109.80	771.52
2001	298.90	231.80	162.20	44.10	2.50	0.10	15.00	23.90	12.20	58.00	33.80	106.90	989.40
2002	108.20	242.70	228.50	156.80	20.90	19.80	43.60	15.20	10.70	69.80	80.70	108.00	1104.90
2003	168.10	78.80	172.04	14.50	24.30	0.50	0.00	10.30	52.20	14.10	17.90	89.30	642.04
2004	286.10	132.50	52.60	19.40	10.20	1.60	22.10	38.30	15.90	2.00	22.40	63.20	666.30
2005	125.00	142.50	78.70	23.60	8.30	0.00	0.00	0.00	26.20	58.70	55.70	88.50	607.20
2006	335.40	80.10	138.34	30.80	3.20	3.00	0.00	8.90	27.70	25.60	99.60	81.10	833.74
2007	92.90	61.80	212.40	66.20	2.50	2.10	7.80	5.20	41.50	27.50	30.60	87.10	637.60
2008	245.10	94.70	68.50	17.00	1.80	1.40	7.20	3.20	1.40	53.70	0.60	146.20	640.80
2009	105.10	126.70	81.70	57.50	0.00	0.00	8.20	0.00	40.50	35.20	0.00	57.60	512.50
2010	212.90	117.50	64.40	42.10	37.20	0.00	0.00	8.70	1.20	39.00	7.80	125.90	656.70
2011	120.90	165.80	152.60	5.60	4.00	0.00	11.00	0.00	23.10	22.60	16.00	128.90	650.50
2012	115.00	248.40	179.50	43.50	0.00	1.20	0.00	4.20	12.40	7.50	46.30	252.60	910.60
2013	142.40	152.10	39.30	13.40	33.70	18.30	7.20	6.50	2.50	46.00	19.10	173.60	654.10
2014	210.40	78.20	36.00	18.60	0.20	0.00	3.30	29.20	120.50	30.70	20.10	83.50	630.70
Promedio	189.09	140.98	120.16	37.83	10.25	3.49	8.98	10.67	26.08	36.13	30.11	113.48	727.24

La precipitación mensual en la estación meteorológica llave varía de 512.50 a 1104.50 mm, con un promedio anual de 727.24 mm; en los meses de enero a marzo se produce el 61.9% de la precipitación anual, siendo este periodo propicio para almacenar.

Las pérdidas por salpicadura, efectos del viento, evaporación, fricción, tamaño de la gota, según los criterios mencionados por CIDECALLI (2008), hacen que la precipitación pluvial neta se considere sólo el 80% de la precipitación original, como se muestra en las columnas (2), (3) y (4) de la Tabla 2.

La oferta de precipitación neta mensual se obtiene multiplicando la precipitación pluvial neta por el área de recolección (techos) 184 m², como se detalla en las columnas (4), (5) y (6) de la Tabla 2.

Tabla 2
Precipitación pluvial neta en mm (2000 – 2014).

Mes	Precipitación promedio mensual (2000-2014)	Factor de pérdidas	Precipitación neta (mm)	Área del techo (m ²)	Oferta del mes (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Enero	189.09	0.80	151.272	184.0	27.83
Febrero	140.98	0.80	112.784	184.0	20.75
Marzo	120.16	0.80	96.128	184.0	17.69
Abril	-	-	-	184.0	-
Mayo	-	-	-	184.0	-
Junio	-	-	-	184.0	-
Julio	-	-	-	184.0	-
Agosto	-	-	-	184.0	-
Setiembre	-	-	-	184.0	-
Octubre	-	-	-	184.0	-
Noviembre	-	-	-	184.0	-
Diciembre	113.48	0.80	90.784	184.0	16.70
Total precipitación pluvial neta			450.97		82.98

La estimación de oferta es importante para saber cuánto de agua de lluvia produce una zona y también conocer si cumple con requisitos de calidad y el uso final que se le dará (Dao et al., 2017; Sámano-Romero et al., 2016). El aprovechamiento del agua de lluvia captado de los techos, puede ser una fuente no puntual de contaminantes en el agua y estar por encima de los estándares de calidad ambiental (Chang et al., 2004), Por lo tanto, se plantea únicamente para el uso de abrevadero de ganado.

Estimación de la demanda de agua para ganado
La demanda de agua para el uso de bebedero de animales, se obtuvo de acuerdo al análisis realizado en la vivienda y los valores proporcionados por FAO (2013) y SAGARPA (2017) (ver tabla 3).

Tabla 3
Consumo de agua por los animales vacuno y ovino.

Cantidad	Tipo de animal	Consumo de agua/día/animal (litros)	Total (litros)
3	vacunos	45	135
15	ovinos	7	105
Total por día (litros)			240

Fuente: FAO (2013) y SAGARPA (2017)

La demanda diaria se multiplica según la cantidad de días del mes para obtener la demanda mensualizada para bebedero de animales, como se puede evidenciar en la Tabla 2.

El uso de materiales de poca eficiencia causa pérdidas por evaporación e infiltración a través de las paredes de la cisterna, de esta manera se agrega un 10% a su volumen original (Herrera, 2010), que debe compensar con el porcentaje que se pierde, se presenta en la columna (5) de la Tabla 4.

Tabla 4
Consumo de agua por los animales.

Meses	Días	Demanda por día (litros)	Demanda por mes (m ³)	Mas 10% de perdida por evaporación (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Enero	31	240	7.44	8.184
Febrero	28	240	6.72	7.392
Marzo	31	240	7.44	8.184
Abril	30	240	7.2	7.92
Mayo	31	240	7.44	8.184
Junio	30	240	7.2	7.92
Julio	31	240	7.44	8.184
Agosto	31	240	7.44	8.184
Setiembre	30	240	7.2	7.92
Octubre	31	240	7.44	8.184
Noviembre	30	240	7.2	7.92
Diciembre	31	240	7.44	8.184
Total				96.36

En este estudio se considera que la demanda es constante durante todo el año, sin embargo, esto puede variar según la época del año y las condiciones climáticas (Bigurra-Alzati et al., 2021; Ulker & Tasci, 2022), asimismo, el Altiplano peruano es una región con altas tasas de evaporación (Condori-Apaza et al., 2021), lo que requiere tomar en cuenta, incluso para propósitos de mantener cubierto el agua de almacenamiento, así como prevenir contaminación.

Diseño de elementos de recolección y almacenamiento

Volumen de sedimentador de primeras aguas
Considerando, una superficie de 184 m² y el

agua de lluvia necesario para la limpieza inicial del techo, el volumen de agua pluvial que se utilizará para este lavado se estima en 184 litros. Al no ser comercial, se propone un tanque plástico de 200 litros de capacidad, con un sistema de válvula flotante que indique el nivel requerido (184 litros) que permita el primer lavado del techo, luego el agua es conducida a la cisterna de almacenamiento.

Como resumen la demanda total acumulada anual es de 96.36 m³ y la oferta acumulada total de 82.98 m³, por lo tanto, se obtiene que la oferta acumulada es menor que la demanda acumulada (ver tabla 5). Al efectuar el balance hídrico a nivel mensualizado se aprecia que habrá déficit en varios meses del año.

Volumen de almacenamiento

El volumen de almacenamiento de agua de lluvia del abrevadero de animales, es la diferencia mensual entre la oferta acumulada y la demanda acumulada. El volumen máximo de almacenamiento es de 42.51 m³ para el mes de marzo, siendo este el volumen de diseño para la cisterna.

Tabla 5
Cálculo del volumen de almacenamiento de agua de lluvia

Meses	Oferta del mes (m ³)	Oferta		Demanda		Volumen (m ³)
		Acumulada (m ³)	Demanda por día (m ³)	Demanda por mes (m ³)	Acumulada (m ³)	
Enero	27.83	27.83	0.264	8.18	8.18	19.65
Febrero	20.75	48.59	0.264	7.39	15.58	33.01
Marzo	17.69	66.27	0.264	8.18	23.76	42.51
Abril	0.00	66.27	0.264	7.92	31.68	34.59
Mayo	0.00	66.27	0.264	8.18	39.86	26.41
Junio	0.00	66.27	0.264	7.92	47.78	18.49
Julio	0.00	66.27	0.264	8.18	55.97	10.31
Agosto	0.00	66.27	0.264	8.18	64.15	2.12
Setiembre	0.00	66.27	0.264	7.92	72.07	-5.80
Octubre	0.00	66.27	0.264	8.18	80.26	-13.98
Noviembre	0.00	66.27	0.264	7.92	88.18	-21.90
Diciembre	16.70	82.98	0.264	8.18	96.36	-13.38

De la tabla 5, se puede evidenciar, que los volúmenes varían cada mes, así el máximo volumen anual indica la capacidad del almacenamiento, para el mes de marzo con un volumen de 42.51 m³. Con el balance hídrico este volumen podrá abastecer a la vivienda por ocho (8) meses.

Asimismo los resultados de la Tabla 5, revelan que en 4 meses la oferta supera a la demanda mensual, sin embargo, en 8 meses la oferta acumulada es mayor que la demanda acumulada. En el periodo setiembre – diciembre

(valores negativos de la tabla 5) nos sugieren que en ese periodo debería utilizarse el agua potable de la red, esto significa un ahorro importante de agua potable, revelando que la implementación del proyecto sea altamente viable.

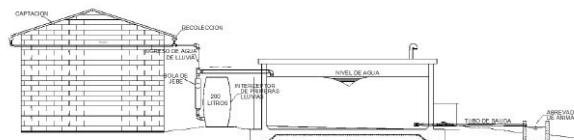


Figura 2. Detalle de componentes de recolección y almacenamiento de agua de lluvia.

Para el almacenamiento se propone un tanque cisterna apoyado de 45 m³ en concreto reforzado (Figura 2). La altura hidráulica útil es de 1.85 m para evitar sobrepresiones, en tanto, las dimensiones en planta de la cisterna son ancho 5.30 m, largo 5.30 m, altura 2.0 m, 0.15 m de borde libre sobre el nivel del agua.

Existen cálculos o estimaciones más exhaustivos, que pueden implicar precipitación diaria y simulaciones de lluvia almacenamiento, que podría optimizar el volumen de almacenamiento (ATA, 2010; Chávez-Mejía, 2019; UFSC, 2014), lo que es preferido en la actualidad, en la medida de tener mejores costos.

Los materiales empleados para reservorios pueden ser revestidos con geomembranas, prefabricados, en tierra natural, para lo cual es necesario el análisis económico (Alim et al., 2020; Ulker & Tasci, 2022). Los costos que implica la construcción generalmente lo asume el propietario, en algunos casos han recibido apoyo del gobierno (Kiggundu et al., 2018).

CONCLUSIÓN

Las características de la vivienda piloto estudiada en la comunidad de Suquinapi, son techos de calamina galvanizada, con 3 habitaciones y 1 cobertizo para el alojamiento de vacunos, haciendo un área total de techo de 184 m². Las aguas de los techos de la vivienda son conducidas a través de canaletas de forma semicircular de 40 cm² de área, pendiente longitudinal 0.006 m/m en una distancia total de 78 metros con salidas a la tubería recolectora de 2 pulgadas hasta el interceptor de lavado inicial de aguas de lluvia. La precipitación en la zona es

de 727.25 mm/año, siendo el volumen total captado aprovechable de 82.98 m³/año y la demanda acumulada es de 96.36 m³. Se propone un reservorio de agua de 45 m³, para el almacenamiento y uso en la época de estiaje.

Según el balance realizado se afirma que la lluvia para el abrevadero pecuario mediante esta captación de agua de lluvia, solamente soportará los meses de enero a agosto en tanto el resto de meses se cubrirá con el sistema convencional de agua potable. Al no existir en la zona agua subterránea de poca profundidad, agua superficial y otras fuentes, se considera que el uso de agua de lluvia para ganado doméstico es factible para su implementación.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declararon no tener ningún conflicto de interés potencial con respecto a la investigación, autoría y/o publicación de este artículo.

REFERENCIAS

- Alim, M. A., Rahman, A., Tao, Z., Samali, B., Khan, M. M., & Shirin, S. (2020). Feasibility analysis of a small-scale rainwater harvesting system for drinking water production at Werrington, New South Wales, Australia. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122437. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122437>
- ATA. (2010). The Tankulator. The Victorian Government Sustainability Fund. Alternative Technology Association. <http://tankulator.ata.org.au/questionnaire.php>
- Ayantunde, A. A., Cofie, O., & Barron, J. (2018). Multiple uses of small reservoirs in crop-livestock agro-ecosystems of Volta basin: Implications for livestock management. *Agricultural Water Management*, 204, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.010>
- Aziz, F., El Achaby, M., Ouazzani, N., El-Kharraz, J., & Mandi, L. (2020). Rainwater Harvesting: A Challenging Strategy to Relieve Water Scarcity in Rural Areas BT - Smart Village Technology: Concepts and Developments (S. Patnaik, S. Sen, & M. S. Mahmoud (eds.); pp. 267–290). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37794-6_13
- Ballén, S. J., Galarza, G. M., & Ortiz, M. R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Seminario Iberoamericano Sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua - VISEREA.
- Banco-Mundial. (2019). Renewable internal freshwater resources per capita (cubic meters). Data. <http://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.IN.TR.PC>
- Bigurra-Alzati, C. A., Lizárraga-Mendiola, L., & Rodríguez, G. A. V. (2021). Reducción de la huella de escasez hídrica y medidas de conservación del agua en la vivienda. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 9, 61–75.
- Brown Manrique, O., Gallardo Ballat, Y., Navas, F. D., Companioni Sanderson, J. L., & Pérez Duarte, W. (2009). Estimación del volumen potencial de agua pluvial con fines agropecuarios. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(1), 55–58. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215240012>
- Chang, M., McBroom, M. W., & Scott Beasley, R. (2004). Roofing as a source of nonpoint water pollution. *Journal of Environmental Management*, 73(4), 307–315. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.06.014>
- Chávez-Mejía, A. (2019). Desarrollo del modelo computacional COPA LlenA Nacional (cálculo óptimo de parámetros para el aprovechamiento de lluvia en aplicaciones nacionales) para diseñar e implementar sistemas SCALL como principal método de abastecimiento de agua en zonas de difícil. *Gaceta Instituto de Ingeniería, UNAM*, 1(135), 6–8.
- Chino, M., Velarde, E., & Espinoza, J. (2016). Captación de agua de lluvia en cobertura de viviendas rurales para consumo humano en la comunidad de Vilca Maquera, Puno-Perú. *Revista De Investigaciones Altoandinas*,

- 18(3), 365–373. <https://doi.org/10.18271/ria.2016.226>
- CIDECALLI. (2008). Sistema de captacion de agua de lluvia para uso domestico y consumo humano a nivel familiar. <http://www.colpos.mx/ircsa/cidecall/>
- Condori-Apaza, V., Mamani-Luque, O. R., Alfaro-Alejo, R., Laqui, W., & Condori, W. F. (2021). Analysis and impact of meteorological droughts in the agriculture of Puno region, Peru. *E3S Web of Conferences*, 304, 03002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130403002>
- Dao, A. D., Nguyen, D. C., & Han, M. Y. (2017). Design and operation of a rainwater for drinking (RFD) project in a rural area: case study at Cukhe Elementary School, Vietnam. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 7(4), 651–658. <https://doi.org/10.2166/washdev.2017.055>
- FAO. (2013). Captacion y Almacenamiento de Agua de Lluvia, Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe.
- Fernandez Cirelli, A., Schenone, N., Perez Carrera, A. L., & Volpedo, A. V. (2010). Calidad de agua para la producción de especies animales tradicionales y no tradicionales en Argentina. *AUGMDOMUS*, 1, 45–66., 1, 45–66. <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/89>
- Herrera, M. L. (2010). Estudio de Alternativas Para Uso Sustentable del agua de lluvia. Tesis MSc, IPN-ESIA Unidad Zacatenco, México.
- Hugues, R. T. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(2), 125–139.
- Hurayra, M. A., & Rahman, A. (2022). Rainwater harvesting at place of worship: a case study in Australia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1022(1), 12063. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1022/1/012063>
- Kiggundu, N., Wanyama, J., Mfitumukiz, D., Twinomuhangi, R., Barasa, B., Katimbo, A., & Kyazze, F. (2018). Rainwater harvesting knowledge and practice for agricultural production in a changing climate: A review from Uganda's perspective. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 20(2), 19–36.
- Mamani, J., Alfaro, R., & Gonzales, S. (2016). Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la microcuenca del río Huayllani, Lampa. In *XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola-CONBEA 2016* (31-41).
- Okotto-Okotto, J., Yu, W., Kwoba, E., Thumbi, S. M., Okotto, L. G., Wanza, P., Trajano Gomes da Silva, D., & Wright, J. (2021). A mixed methods study to evaluate participatory mapping for rural water safety planning in western Kenya. *PLOS ONE*, 16(7), e0255286. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255286>
- Palacio, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. *Gestión y Ambiente*, 13(2), 25–39. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169420002002>
- SAGARPA. (2017). Diseño y Construcción de Bebederos Pecuarios (2nd ed.). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Sámano-Romero, G., Mautner, M., Chávez-Mejía, A., & Jiménez-Cisneros, B. (2016). Assessing Marginalized Communities in Mexico for Implementation of Rainwater Catchment Systems. In *Water* (Vol. 8, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/w8040140>
- Sharma, A. K., Begbie, D., & Gardner, T. (2015). Rainwater Tank Systems for Urban Water Supply: Design, Yield, Energy, Health Risks, Economics and Social Perceptions. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780405360>
- UFSC. (2014). Netuno. Universidade Federal de

Santa Catarina, Laboratorio de Eficiencia Energética en Edificaciones, Brasil. <http://www.lab-eee.ufsc.br/downloads/softwares/netuno>

- Ulker, E., & Tasci, H. (2022). Determining rainwater harvesting potentials in municipalities by a semi-analytical method. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 71(2), 248–260. <https://doi.org/10.2166/aqua.2022.106>
- UNATSABAR. (2003). Captacion de agua de lluvia para consumo humano: especificaciones tecnicas.
- Ward, S., Memon, F. A., & Butler, D. (2010). Rainwater harvesting: model-based design evaluation. *Water Science and Technology*, 61(1), 85–96. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.783>
- Willy, D. K., & Kuhn, A. (2016). Technology Adoption Under Variable Weather Conditions — The Case of Rain Water Harvesting in Lake Naivasha Basin, Kenya. *Water Economics and Policy*, 02(02), 1650001. <https://doi.org/10.1142/S2382624X16500016>