

Cosecha, reciclo y manejo eficiente del recurso hídrico como estrategia de adaptación al cambio climático por parte de AESMEVI

Harvesting, recycling and efficient management of water resources as a strategy to adapt to climate change by AESMEVI

Recibo: 10.07.2018 Aceptado: 09.08.2018

Para Citar:

Carvajal, R., & Macías, A. (2018). Cosecha, reciclo y manejo eficiente del recurso hídrico como estrategia de adaptación al cambio climático por parte de AESMEVI. *Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, Ed. Esp. 67-84
doi:<http://doi.org/10.23850/23899573.1639>

Rubén Carvajal Caballero

Ing. Agrónomo; Centro Agroempresarial y Turístico de los Andes. Málaga Santander; Servicio Nacional de Aprendizaje SENA; rcarvajalc@sena.edu.co

Alix Antonia Macías

Ing. Industrial; Centro Agroempresarial y Turístico de los Andes. Málaga Santander; Servicio Nacional de Aprendizaje SENA; amaciasb@sena.edu.co

Resumen

Los productores de la Asociación Esperanzas para un Mejor Vivir - AESMEVI, vienen presentando problemas con la escasez de agua y un manejo ineficiente del recurso hídrico. Esta situación se ha venido agravando en las últimas décadas por efecto del cambio climático, pues, por el aumento de la temperatura y el aumento del CO₂ ha generado cambios en los patrones de precipitación y ha contribuido con el aumento de eventos climáticos extremos. Frente a esta situación es necesario generar propuestas de un manejo eficiente del recurso hídrico. Es así que con AESMEVI se planteó un proyecto que contempló varias etapas como diagnóstico, ejecución y apropiación social del conocimiento para dar solución a la escasez de agua. Los resultados que se lograron fueron la construcción de 36 reservorios de capacidad de 20.000 litros, la construcción de 33 sistemas de reciclaje de aguas grises, la implementación de 33 sistemas de cosechas de aguas lluvias, la instalación de 36 sistemas de riego por microaspersión y se determinaron 36 láminas de riego para cultivos como durazno, aguacate, cítricos, guayaba y lulo. Recomendamos que estas soluciones se sigan trabajando con las comunidades, pues de este modo, garantizaremos el cuidado y protección del recurso hídrico para las generaciones futuras.

Palabras clave: recurso hídrico, cosecha, cambio global.

Abstract

The producers of the Association Esperanzas para un Mejor Vivir - AESMEVI, have been presenting problems with water scarcity and inefficient management of water resources. This situation has been aggravated in recent decades by the effect of climate change, because, due to the increase in temperature and the increase in CO₂, it has generated changes in rainfall patterns and has contributed to the increase in extreme climatic events. Faced with this situation it is necessary to generate proposals for an efficient management of water resources. Thus, with AESMEVI a project was proposed that contemplated several stages such as diagnosis, execution and social appropriation of knowledge to solve the water shortage. The results that were achieved were the construction of 36 reservoirs with a capacity of 20,000 liters, the construction of 33 graywater recycling systems, the implementation of 33 rainwater harvesting systems, the installation of 36 micro-sprinkler irrigation systems, and determined 36 irrigation sheets for crops such as peach, avocado, citrus, guava and lulo. We recommend that these solutions continue to work with the communities, from this way, we will guarantee the care and protection of the water resource for future generations.

Keywords: water resource, harvest, global change.

Introducción

Actualmente los productores rurales de la Asociación Esperanzas para un Mejor Vivir, AESMEVI, vienen padeciendo problemas críticos por la escasez de agua y por el manejo ineficiente del recurso hídrico. Esto ha generado pérdida de cosechas en sus cultivos, baja productividad, pobreza, desmejoramiento en la calidad de vida en el sector rural y aumento de la migración de la gente joven a las ciudades, entre otros. La situación se torna aún más grave cuando se presentan largos e intensos veranos y en las fuentes hídricas se disminuye el recurso hasta agotarse totalmente en algunos casos.

Según Farooq, Wahid, Kobayashi, Fujita & Basra (2009), la escasez de agua es una restricción ambiental severa para la productividad de la planta. El rendimiento de los cultivos se ve críticamente afectado por la sequía tanto por la duración como por la gravedad del mismo, causando mayores pérdidas que por otras causas. Siguiendo a Farooq *et al.*, (2009), el estrés por sequía tiene efectos sobre la reducción del crecimiento, la fenología, las relaciones hídricas y nutricionales, fotosíntesis, partición de asimilados y respiración en plantas, reduce el tamaño de la hoja, la extensión del tallo y la proliferación de la raíz, perturba las relaciones hídricas de

la planta y reduce la eficiencia del uso del agua. La situación es tan crítica que las reducciones en los rendimientos de diferentes cultivos (cebada, maíz, arroz, soya, papa, girasol, canola) pueden ser del 13 al 94%, dependiendo del estado de crecimiento. Para Majeed *et al.*, (2017), globalmente, el 80% del área de tierras agrícolas es de secano y de acuerdo a investigaciones actuales sobre el aumento de las frecuencias de sequías en el futuro, habrá una reducción sustancial en la rendimiento económico de las plantas de cultivo, generando una gran amenaza para la seguridad alimentaria mundial.

La actual escasez de agua es uno de los principales problemas mundiales, y de acuerdo con las proyecciones del cambio climático, será más crítica en el futuro, desde la disponibilidad del agua y la accesibilidad, los cuales son los factores limitantes más importantes para la producción de cultivos (Mancosu, Snyder, Kyriakakis & Spano, 2015). En muchas jurisdicciones, la condición de escasez de agua, ya sea estacional o continua, está ocurriendo más frecuentemente debido a presiones de desarrollo, aumento de uso de agua y cambio climático (Cook 2016). Para Udias, *et al.*, (2018), la escasez de agua y las sequías son una gran preocupación en la mayoría de los países mediterráneos, debido a que la agricultura es un usuario

importante de agua en la región y demanda cantidades significativas de aguas superficiales y subterráneas, poniendo en peligro la sostenibilidad y uso de los recursos hídricos disponibles.

El agua es considerada el recurso más crítico para el desarrollo agrícola sostenible en todo el mundo. El 70% de la superficie del mundo está cubierta de agua y solamente 2,5% del agua disponible es dulce, mientras que el 97,5% restante es agua salada. Casi 70% del agua dulce está congelada en los glaciares y la restante se presenta como humedad en el suelo o yace en profundas capas acuíferas subterráneas de difícil acceso. Menos del 1% de los recursos de agua dulce del mundo está disponible para el consumo humano y proviene principalmente de ríos y lagos. (Cumbre de Johannesburgo 2002).

Las áreas irrigadas aumentarán en los próximos años, mientras que los suministros de agua dulce se desviarán de la agricultura para satisfacer la creciente demanda de uso doméstico e industria. La agricultura actualmente utiliza alrededor del 70% de la extracción total de agua, principalmente para riego. Además, la eficiencia del riego es muy baja, ya que menos del 65% del agua aplicada es utilizada realmente por los cultivos. El otro

porcentaje 35% está representado por las siguientes pérdidas (distribución de la irrigación 7%, aplicaciones de campo 20% y distribución en granjas 8%) (Chartzoulakis & Bertaki, 2015). Para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2008), por sus siglas en inglés, de todos los sectores de la economía, la agricultura es la más sensible a la escasez de agua. Aunque el sector agrícola a veces se considera un usuario “residual” de agua, después de los sectores doméstico e industrial, representa el 70 por ciento del agua dulce mundial.

Los modelos climáticos mundiales han indicado una alta probabilidad de ocurrencias de sequía en las próximas décadas debido a los impactos de cambio climático causado por una liberación masiva de CO₂; por lo tanto, el cambio climático en relación con el elevado nivel de CO₂ y la sequía pueden afectar severamente el crecimiento de los cultivos (Yuhui, 2017), y las temperaturas y sequías extremas como consecuencia del cambio climático pueden amenazar la diversidad de las plantas (Lindh, Zhang, Falster, Franklin & Brännström, 2014). De esta manera, la producción global de cultivos está en riesgo debido al crecimiento de la población, preferencias alimentarias cambiantes y al cambio climático (McKersie, 2015). Así las cosas, el cambio climático se constituye en

una gran amenaza para la seguridad alimentaria en un mundo de creciente demanda de cultivos (Scheben, Yuan & Edwards, 2016). El cambio climático es multifacético e incluye concentraciones cambiantes de gases de invernadero en la atmósfera, aumento de la temperatura, cambios en los patrones de precipitación, y aumento de la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos (Gray & Brady 2016).

Para Feller (2016), el cambio global se caracteriza por el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera, el aumento promedio temperatura y eventos extremos más frecuentes, incluidos períodos de sequía, olas de calor e inundaciones. Se espera que el cambio climático genere aumentos en las temperaturas globales promedio (1.4°C - 5.8°C [34.52°F - 42.44°F] en 2100) y niveles de precipitación en distintos grados en todo el mundo (DeNicola, Aburizaiza, Siddique, Khwaja & Carpenter, 2015).

En este sentido el cambio climático es uno de los principales desafíos de nuestro tiempo y agrega un estrés considerable a nuestras sociedades y al medio ambiente. Constituyéndose en un desafío de alcance global y escala sin precedentes (Adedeji, Reu & Olatoye, 2014). Por otro lado, se considera que el cambio climático ha venido aumentando la frecuencia

del fenómeno del niño (El Niño Southern Oscillation ENSO) , el cual, tiene implicaciones profundas para el funcionamiento de diferentes agroecosistemas y ecosistemas que van desde desiertos hasta selvas tropicales lluviosas y estos cambios extremos de este fenómeno climático derivados del calentamiento global podrían alterar profundamente la biodiversidad y el funcionamiento de ecosistemas en muchas regiones del mundo (Holmgren, Scheffer, Ezcurra, Guti & Mohren, 2001). Igualmente estudios a partir de la realización de modelos climáticos de alta resolución, han mostrado que este evento que ocurre irregularmente, pero que típicamente se da de tres a seis años, ha aumentado la frecuencia en las últimas décadas y seguirá aumentando en décadas venideras por efecto del calentamiento global (Cai *et al.*, 2014).

Los múltiples desafíos relacionados con el la gestión del agua es enorme. Un clima cambiante y una población en rápido crecimiento, el desarrollo social y económico, la globalización y la urbanización son entre otros, los controladores externos que dan forma a nuestro mundo actual. Algunos sugieren que seremos testigos de una crisis por agua. Por lo tanto, debemos actuar ante tal crisis, la cual, puede convertirse en inevitable e irreversible. Todos nosotros podemos, y debemos, encontrar

formas de gestionar el recurso agua y, con ella, el futuro de la humanidad (Braga *et al.*, 2014).

Las poblaciones pobres y desfavorecidas son las que más sufrirán los efectos negativos del cambio climático en el suministro de agua. La aplicación de estrategias eficientes de gestión del agua es un elemento clave para aumentar la productividad del agua. Además de la evaluación de las estrategias de gestión de cultivos, la mejora de los sistemas de riego puede conducir a una administración agrícola más eficiente y sostenible del agua (Mancosu *et al.*, 2015). Ejemplos de medidas de adaptación y mitigación que pueden ayudar a reducir la presión sobre los recursos hídricos convencionales (aguas superficiales y acuíferos fósiles o subterráneos) incluyen la desalinización, el reciclado y la reutilización de aguas residuales y la externalización de alimentos o comercio virtual de agua (Luo *et al.*, 2017).

Con el fin de satisfacer la demanda de una mayor producción mundial de alimentos con recursos hídricos limitados, la implementación de una técnica adecuada de programación de riego es crucial, particularmente en cuencas irrigadas que experimentan estrés hídrico. La optimización del uso del agua en la agricultura requiere innovaciones en la detección

del estrés hídrico de las plantas, en varias etapas de la temporada de crecimiento, para minimizar el daño fisiológico del cultivo y la pérdida de rendimiento (Ihuoma & Madramootoo, 2017).

En la actualidad, la escasez del agua para uso agrícola obliga al hombre al empleo de sistemas de riego más eficientes, tal como lo representa el riego localizado. Para el diseño y la operación del mismo se necesita hacer la estimación de los requerimientos hídricos de los cultivos que se pretenden establecer. Para alcanzar este propósito es necesario proponer una metodología práctica y sencilla que permita indicar cuándo y cuánto regar, así como los requerimientos de fertilizante diario, para proporcionar a los cultivos estos insumos en la cantidad y oportunidad adecuada (Tijerina, 1999).

Para Bouma, Hegdea, & Lasag (2016), la cosecha de agua impacta de manera significativa el rendimiento de los cultivos, siendo mayor en años de poca lluvia. Además, plantean que la recolección de agua debe tomarse como una opción importante para apoyar a los agricultores que habitan zonas áridas y semiáridas frente a los desafíos previstos asociados con el cambio climático. Igualmente, Mancuso *et al.*, (2015), plantea que hoy en día se implementan muchas estrategias para mejorar la

productividad del agua, comenzando con la elección óptima del sistema de riego, seguido de la aplicación de la programación de riego adecuada en términos de tiempo y cantidad de agua aplicada y concluyendo con la elección de la mejor administración del cultivo con respecto a las condiciones del suelo y el clima.

Para otros autores como Adhama, Riksen, Ouessar & Ritsema (2016), el agua de lluvia recolectada es una fuente alternativa de agua en las regiones áridas y semiáridas alrededor del mundo. Muchos investigadores han desarrollado y aplicado diversas metodologías y criterios para identificar sitios y técnicas adecuados para la cosecha o recolección de agua de lluvia (RWH).

En este sentido, la Asociación AESMEVI ejecutó estrategias de manejo eficiente del recurso agua, implementando sistemas de riego, sistemas de cosecha y almacenamiento de aguas, sistemas de reciclaje de aguas y láminas de riego, logrando así la generación de impactos positivos en sus cultivos, la conservación del recurso agua y una mejor administración de este recurso natural.

Como propósito de este proyecto de innovación para hacer frente a la escasez de agua, se han propuesto las siguientes estrategias:

1. Determinación de la oferta y demanda hídrica de cada uno de los beneficiarios.
2. Implementar sistemas de reciclaje de aguas usadas en lavamanos, duchas y cocina, para ser utilizadas en neficiarios. sistemas de riego y disminuir los niveles de contaminación del entorno.
3. Implementar sistemas de almacenamiento de aguas (reservorios de 20.000 a 50.000 lit)
4. Establecer sistemas de cosecha de aguas lluvias.
5. Implementar sistemas de riego eficientes por microaspersión según requerimientos hídricos.
6. Establecer requerimientos hídricos de los cultivos, etapa fenológica y condiciones edafoclimáticas.

Metodología

Área de Impacto del Proyecto

El proyecto se desarrolló en el Municipio de Molagavita, ubicado en la provincia de García Rovira, departamento de Santander, a 130 Km de su capital Bucaramanga y a 29 kilómetros de Málaga capital de la provincia. Tiene 197 Km² de extensión territorial y su posición geográfica se encuentra a 6° 40'

25.34" de latitud norte y a 72° 48' 33.97" de longitud oeste del Meridiano de Greenwich.

Implementación de la solución

El proyecto se desarrolló con 36 productores agrícolas integrantes de la Asociación Esperanzas para un Mejor Vivir – AESMEVI, quienes a través del uso de la metodología investigación acción participante IAP, identificaron su problema más relevante: la escasez de agua para la producción agrícola, a la cual se dirigió la solución generando estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático. En el desarrollo se contemplaron tres etapas:

Etapa 1 – Caracterización y diagnóstico de beneficiarios del proyecto

- Selección de los beneficiarios del proyecto.
- Medición del área de cada predio y delimitación de lotes a utilizar en la solución.
- Determinación de la oferta hídrica de cada predio.
- Determinación de las condiciones edafoclimáticas de la zona del proyecto.
- Determinación de la demanda hídrica de los cultivos existentes

en los predios pertenecientes a los beneficiarios seleccionados.

Etapa 2 – Ejecución de la solución con los beneficiarios del proyecto

- Instalación del sistema de reciclaje de aguas servidas producidas en lavadero, cocina, duchas y lavamanos.
- Instalación del sistema de cosecha de aguas lluvias.
- Construcción del sistema de reservorios.
- Instalación del sistema de riego.
- Determinación del tiempo, frecuencia y caudal de riego para cada cultivo.

Etapa 3 – Apropiación social del conocimiento

- Socialización de procesos de ciencia y tecnología.
- Incorporación de espacios de participación ciudadana.
- Generación de procesos de intercambio y transferencia de conocimiento
- Generación de procesos de gestión del conocimiento.
- Construcción del plan de sostenibilidad del Proyecto.

Resultados y discusión

Etapa 1 – Caracterización y diagnostico

Para el desarrollo del proyecto fueron seleccionados 36 productores agrícolas que pertenecen a AESMEVI, cuyos predios tienen extensión promedio de 3,5 hectáreas las cuales están ubicadas en 13 veredas de 19 que tiene el municipio (Purnio, Hobo, Toma de Agua, Lagunitas, Jaimes, Centro, Llano de León, Potrero de Rodriguez, Llano de Molagavita, Rincón, Pantano Grande, Caney e Higuerones). La

oferta hídrica que se maneja en promedio en los beneficiarios del proyecto es de 6.690 litros por día (Ver Tabla1).

Los predios se ubican en pisos altitudinales de clima frío y clima medio, con régimen de precipitación bimodal que oscila entre 1100 a 1800 mm, cuyos picos de lluvias se presentan en los meses de abril-mayo y octubre-noviembre. Los menores niveles de precipitación se presentan en las márgenes al río Chicamocha y los mayores niveles se presentan en la parte fría y muy fría del páramo del almorzadero (Ver Figura 1).

Tabla 1.
Etapa 1 – Caracterización y diagnostico

No. de productores	No. de Veredas	Área Promedio Fincas (Ha)	Área Promedio Lotes frutales (Ha)	Tipo de Frutales	Oferta Hídrica promedio por productor en litros por día
36	13	3.5	0.5	Durazno, aguacate, lulo, guayaba, cítricos	6690.9

Fuente: Elaboración propia

Etapa 2 – Ejecución

Realizada la etapa diagnóstica se inició la ejecución con la implementación en el predio de cada beneficiario del proyecto de los cinco componentes

del proyecto, reservorios, sistema de colecta de aguas lluvias, sistema de cosecha de aguas lluvias, sistema de reciclaje de aguas grises y sistema de riego por microaspersión.

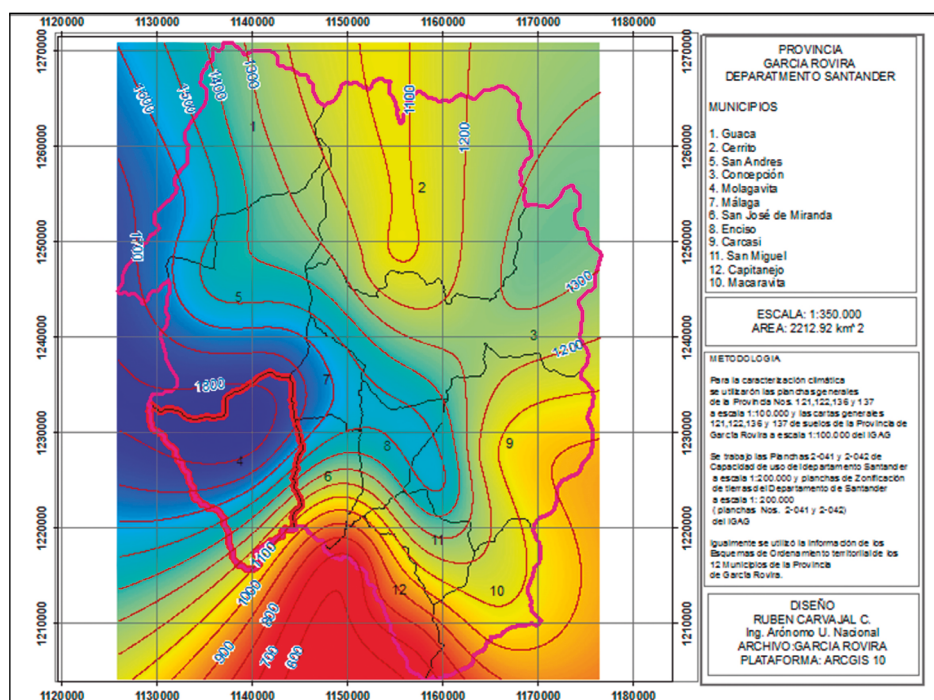


Figura 1. Mapa de Isoyetas de la Provincia de García Rovira

Para el establecimiento y construcción de los 36 reservorios de 20 mil litros de capacidad se seleccionó un espacio dentro del predio para construirlo con 4 m de largo por 5 metros de ancho y 1.2 m de profundidad.

Se impermeabilizó con geotextil y geomembrana y se dejó una salida de 1,5 o 2 pulgadas. Los 36 productores participaron en la construcción haciendo uso de la metodología mano vuelta o día devuelto. En la figura 2, se observa el proceso de construcción

Se establecieron 36 sistemas de riego por microaspersión de media hectárea en cultivos de aguacate, cítricos, durazno, lulo y guayaba. Se usó manguera de 16 y 38 mm y materiales PVC como collarines de 1,5 a 0,5 pulgadas, adaptadores machos doble rosca de 0,5 pulgadas, llave roscada de 0,5 pulgadas, acople PVC a manguera de 0,5 pulgada, microaspersor de 40 a 60 litros/hora, microconector, microtubo de 10 a 12 mm. En la Figura 3 se presenta el sistema de riego instalado y los accesorios utilizados.



Figura 2. Proceso de Construcción reservorios de 20000 litros



Figura 3. Proceso de Construcción sistema de riego

Fuente: Elaboración propia

Para el sistema de cosecha de aguas lluvias se instalaron canales elaborados con lámina de zinc para lo cual puede usarse lisa o corrugada. El almacenamiento consta de un tanque plástico de 1.000 litros y un sistema

de salida que conduce el agua al reservorio o directamente al sistema de riego. La Figura 4 presenta el sistema instalada en casa de uno de los beneficiarios.



Figura 4. Proceso de construcción sistema de cosecha de aguas lluvias

Fuente: Elaboración propia

En total se instalaron 32 sistemas de reciclaje de aguas grises provenientes de lavamanos, lavadero, ducha y cocina, las cuales fueron destinadas para ser usadas en el sistema de riego. Se construyeron tanques con dimensiones de 4m de largo por 1m de ancho y 0,7m de alto, en bloque y frisados en cemento, en las que se delimitaron 5 compartimentos separados con desnivel para la caída del agua escalonadamente. Allí se colocó el buchón o jacinto de agua,

que hace las veces de depurador al filtrar y absorber todo el contenido orgánico y de esta forma dejar el agua más apta para el riego de los cultivos (Ver Figura 5).

La solución planteada a los beneficiarios del proyecto es la de garantizar los requerimientos hídricos de los cultivos en épocas de verano y minimizar el estrés hídrico de las plantas como mecanismo de adaptación y mitigación al cambio



Figura 5. Proceso de construcción sistema de reciclaje de aguas grises

Fuente: Elaboración propia

climático. La Figura 6 muestra una representación de la solución propuesta por el Representante Legar de AESMEVI.

Para el logro de esta solución se plantea inicialmente conocer la oferta y demanda hídrica del cultivo. Parte de este ítem está relacionado directamente con la demanda hídrica; si ésta es mayor que la oferta, es necesario entonces generar sistemas de gestión del agua (cosecha de aguas

lluvias, sistemas de almacenamiento, reciclaje de agua y sistemas de riego eficientes).

En los sistemas instalados, para un manejo eficiente del riego se calculó la demanda hídrica de cada cultivo en litros por riego cada dos o tres días, determinándose para el durazno 120 litros, aguacate 110 litros, cítricos 80 litros, lulo 18 litros y guayaba 25 litros).

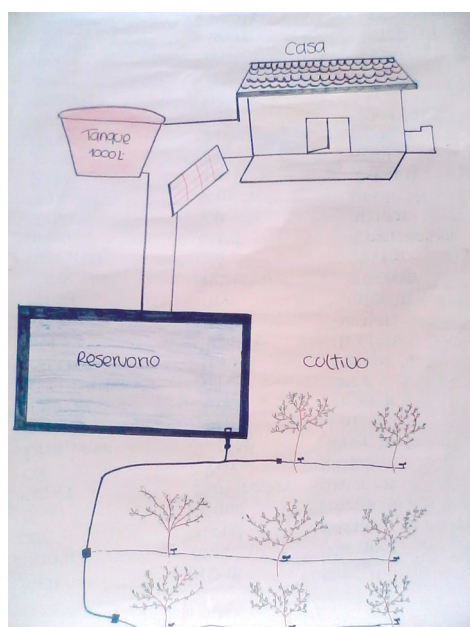


Figura 6. Solución propuesta por el Representante Legal de AESME-VI (Asociación esperanzas para un mejor vivir)

Etapas 3 – Apropiación social del conocimiento

En esta etapa, durante el proceso de construcción de la solución del problema los productores llevaron su bitácora, una especie de agenda en la que cada productor, a criterio propio, registró diariamente los sucesos relacionados con el proyecto. Como parte de la expresión particular de cada integrante, se generaron espacios de comunicación a través de coplas, cuentos y narraciones, así como también la edición de videos y manuales prácticos para gestionar y comunicar los logros del proyecto.

Conclusiones

La escasez del recurso hídrico es una preocupación en todos los campos de la producción, siendo de especial interés en el ámbito rural teniendo en cuenta el bajo nivel tecnológico de este sector. El reciclaje, la cosecha de aguas lluvias y los sistemas de riego eficientes son estrategias que permiten el incremento de la oferta hídrica y su utilización en la producción primaria.

Teniendo en cuenta que los núcleos familiares son pequeños, el tratamiento del agua residual de cocina, ducha, lavamanos y lavadero resulta sencillo y de bajo costo siendo una solución viable y de gran beneficio ambiental. De igual manera, el almacenamiento de las aguas lluvias en reservorios aumentan la disponibilidad del recurso y su aprovechamiento con la implementación de sistemas de riego acordes a la fenología y condiciones edafoclimáticas de los cultivos.

Con la implementación de un sistema de gestión del recurso hídrico como la experiencia desarrollada con la asociación rural del municipio de Molagavita AESMEVI, mejoran las posibilidades para la sostenibilidad de la producción y la generación de valor ambiental. En general, lo clave es la apropiación por parte de la comunidad de la importancia de

hacer del agua un manejo eficiente. Con prácticas como las descritas se desarrolla el concepto de economía circular del agua con el que se espera mejorar los modelos productivos rurales.

Referencias

- Adhama, A., Riksen, M., Ouessar, M. & Ritsema, C. (2016). Identification of suitable sites for rainwater harvesting structures in arid and semi-arid regions: A review. *International and water conservation research*, 4 (2), 108-120. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.03.001>
- Adedeji, O., Reuben, O. & Olatoye, O. (2014). Global Climate Change. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2, 114-122. <http://dx.doi.org/10.4236/gep.2014.22016>
- Braga, B., Chartres, C., Cosgrove, W., Veiga da Cunha, L., Gleick, P., Kabat, P.,...Xia, J. (2014). *Water and the Future of Humanity Revisiting Water Security*. China: Springer.
- Bouma, J., Hegde, S.E. & Lasage, R. (2016). Assessing the returns to water harvesting: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 163, 100-109. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.08.012>
- Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., van Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G.,...Jin, F. (2014). Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 4, 111-116.
- Chartzoulakis, K. & Bertaki, M. (2015). Sustainable water management in agriculture under climate change. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 88-98. <http://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.011>
- Cook, C. (2016). Drought planning as a proxy for water security in England. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 21, 65-69. <http://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.005>
- Cumbre de Johannesburgo (2002). *Conclusiones finales de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible de Johannesburgo*. Recuperado de: <http://www.proteger.org/cierre-cumbre-mundial-johannesburgo-2002/>

- Oganización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2012). *Coping with water scarcity. An action framework for agriculture and food security*. Roma: FAO.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, N., Basra, S. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.* 29(1), 185–212. doi:10.1051/agro:2008021
- Feller, U. (2016). Drought stress and carbon assimilation in a warming climate: Reversible and irreversible impacts. *Journal of Plant Physiology*, 203, 84–94. <http://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.04.002>
- Gray, S. B. & Brady, S. M. (2016). Plant developmental responses to climate change. *Developmental Biology*, 419 (1), 64–77. <http://doi.org/10.1016/j.ydbio.2016.07.023>
- Holmgren, M., Scheffer, M., Ezcurra, E., Guti, J. R. & Mohren, G. M. J. (2001). El Niño effects on the dynamics of terrestrial ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, 16 (2), 89–94. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)02052-8](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)02052-8)
- Lindh, M., Zhang, L., Falster, D., Franklin, O. & Brännström, Å. (2014). Plant diversity and drought: The role of deep roots. *Ecological Modelling*, 290, 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.05.008>
- Luo Xiao-San, D., Muleta, Z., Haoye, T., Zhen, Z., Shuanghe, S., Byong-Lyol L. (2017). Inclusive development and agricultural adaptation to climate chang. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 24, 78-83. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.02.004>
- Majeed, S., Gupta, N., Nazir, M., Mahajan, R., Malik, F. A., Sofi, B.,...Salgotra, R. K. (2017). Impact of drought on photosynthesis: Molecular perspective. *Plant Gene*, 11, 154–159. <http://doi.org/10.1016/j.plgene.2017.04.003>
- Mancosu, N., Snyder, R. L., Kyriakakis, G. & Spano, D. (2015). Water Scarcity and Future Challenges for Food Production. *Water*, 7, 975–992. <http://doi.org/10.3390/w7030975>
- Mckersie, B. (2015). Planning for food security in a changing

- climate. *Journal of Experimental Botany*, 66 (12), 3435–3450. <http://doi.org/10.1093/jxb/eru547>
- DeNicola, E., Aburizaiza, O., Siddique, A., Khwaja, H. & Carpenter, D. (2015). Climate Change and Water Scarcity: The Case of Saudi Arabia. *Annals of Global Health*, 81(3), 342-353. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2015.08.005>
- Ihuoma, S. & Madramootoo, C. (2017). Recent advances in crop water stress detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 267-275. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.026>
- Scheben, A., Yuan, Y., & Edwards, D. (2016). Current Plant Biology Advances in genomics for adapting crops to climate change. *Biochemical Pharmacology*, 6, 2–10. <http://doi.org/10.1016/j.cpb.2016.09.001>
- Tijerina, L. (1999). Requerimientos hidricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación. *TE-RRA*, 17 (3), 237-245.
- Udias, A., Pastori, M., Malago, A., Vigiak, O., Nikolaidis, N. P. & Bouraoui, F. (2018). Science of the Total Environment Identifying efficient agricultural irrigation strategies in Crete. *Science of the Total Environment*, 633, 271–284. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.152>
- Yuhui, W., Denghua, Y. A. N., Junfeng, W., Yi, D., & Xinshan, S. (2017). Effects of Elevated CO₂ and Drought on Plant Physiology, Soil Carbon. *Pedosphere: An International Journal*, 27(5), 846–855. [http://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60458-2](http://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60458-2)