

Experimento

Sistema de riego con
higrómetro para reducir
el esfuerzo físico y
mejorar la eficiencia en
consumo de agua

Informe de resultados



Paulina Jiménez A.
Responsable de Mapeo de Soluciones



PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO – PNUD

PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS

Paulina Jiménez A

MUESTREO

Andrea Urgilés

ENCUESTA DE MEDICIÓN

Bryan Vargas

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Jose Manosalvas

DESARROLLO DE PROTOTIPO

Bryan Vargas

Alex David Simbaña

César David Guano

Pablo Javier Arias

HUERTOS-PRODUCTORAS

Etelvina Rojas

Miriam Soria

Publicación realizada en el marco de la Minga de Innovación desarrollada con la Escuela de Formación Tecnológica de la Escuela Nacional Politécnica, la Plataforma Central Primero de Mayo y coordinada por el Laboratorio de Aceleración del Programa de Naciones Unidas (PNUD)- Ecuador.

© PNUD 2023

Elaborado en Ecuador

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) autoriza la reproducción parcial o total de este contenido, siempre y cuando se realice sin fines de lucro y se cite la fuente de referencia.



Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial- SinDerivadas 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> o envíe una carta a Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.



Tabla de contenido



4 Introducción

- 5 ¿Qué problemas estamos abordando?
- 6 Lugares de intervención (muestra)
- 6 Temporalidad del experimento
- 7 Diseño y métodos de medición



8 Intervención Llano Chico- Terreno A

- 9 Condiciones previas
- 9 Forma de riego antes de la intervención
- 9 Prácticas de aprovechamiento del agua

10 Resultados Llano Chico

- 10 Reducción en esfuerzo físico y tiempo
- 11 Eficiencia de consumo de agua
- 13 El aporte del sensor de humedad



14 Intervención En Tumbaco: Terreno B

- 15 Condiciones previas
- 15 Forma de riego antes de la intervención

16 Resultados Tumbaco

- 16 Reducción en esfuerzo físico y tiempo
- 16 Eficiencia en consumo de agua



19 Conclusiones

- 20 Recomendaciones
- 21 Recursos



Introducción

Este informe presenta los resultados de medición de impacto de una solución innovadora, de bajo costo, para el riego de huertos o tierras productivas de entre 100 y 1000 metros cuadrados de extensión. Se trata de un sistema de riego por aspersión que utiliza un tablero con tres modos de uso: manual, con temporizador y con sensor de humedad. Dicho panel de funcionamiento de riego fue desarrollado en el marco de la Minga de Innovación, coordinada por el Laboratorio de Aceleración del Programa de Naciones Unidas y con participación de la Escuela de Formación Tecnológica (ESFOT) de la Escuela Nacional Politécnica y la Plataforma Central Primero de Mayo.

Esta solución busca mejorar la eficiencia de consumo de agua y reducir el tiempo y esfuerzo humano para situaciones donde se riegan cultivos de forma mecánica. La solución tiene dos componentes: primeramente, la instalación de un tanque, bombas, mangueras y aspersores para evitar el riego manual con baldes. El segundo, compuesto por un tablero multimodal que incorpora un sensor de humedad para determinar el tiempo justo de riego y de este modo, mejorar la eficiencia de aplicación de agua.

A continuación, presentamos los resultados de su implementación como experimento en dos huertos, uno con agua de riego y otro con agua potable.





¿Qué problemas estamos abordando?

1. Esfuerzo físico

Muchos pequeños productores agrícolas dedican largas horas de trabajo al riego de sus cultivos de forma manual; es decir, utilizan baldes y regaderas para depositar el agua sobre las plantas, una a una. Este método es común entre productoras agroecológicas que almacenan el agua en reservorios, o bien porque no tienen acceso a fuentes de agua o, teniendo acceso a la red, optan por reposar el agua en depósitos para que ésta pierda el cloro. Antes de la intervención, el riego se realizaba llenando tinajas, baldes, tanques de diversos tamaños para reposar el agua y posteriormente aplicarla con regaderas sobre las plantas.

Los métodos manuales implican un desgaste físico y tiempo, por lo tanto, uno de los elementos del sistema de riego implementado, busca reducir dicho esfuerzo. El componente mecánico consiste en un tanque de 55 galones conectado a una bomba de 0.5 hp en un caso y 1 hp en otro, y la distribución del agua mediante aspersores. De esta forma, el agua, ya sin cloro, es transportada por mangueras a los aspersores para evitar acarrear los baldes. Por lo tanto, nuestra hipótesis es que si instalamos este sistema mecánico entonces, se reducirá el esfuerzo físico de forma significativa.

HIPÓTESIS EFICIENCIA EN ESFUERZO HUMANO

- **H₀ (sin efecto):** No se generan cambios en cuanto a la cantidad de personas y tiempo requerido para regar los cultivos con el sistema de riego.
- **H₁ (efecto positivo):** Se reduce la cantidad de personas y tiempo requerido para el regar los cultivos con el sistema de riego.
- **H₂ (efecto negativo):** Se aumenta la cantidad de personas y tiempo requerido para regar los cultivos una vez instalado el sistema de riego.

2. Eficiencia en aplicación del riego

El segundo elemento del sistema de riego consiste en un tablero multimodal que controla el tiempo de aspersión, busca mejorar la eficiencia de aplicación de riego. El tablero ofrece tres modalidades de uso. La modalidad manual, permite el encendido y apagado de la bomba y aspersores a criterio de la usuaria. La segunda, utiliza un temporizador para apagar automáticamente en el tiempo determinado por la usuaria. La tercera, utiliza un sensor de humedad que se inserta en la tierra y emite señales cuando ésta está húmeda y apaga el riego. Esta última modalidad busca identificar la cantidad justa de agua que requieren los cultivos y mejorar la eficiencia en el consumo de agua, por lo que presentamos a continuación las hipótesis. La eficiencia en consumo de agua también se vería mejorada, con los aspersores al evitar pérdidas en el trayecto. Por lo tanto, nuestra hipótesis es que si determinamos el tiempo de riego con un sensor de humedad, entonces evitaríamos desperdiciar agua y regar lo justo y necesario.

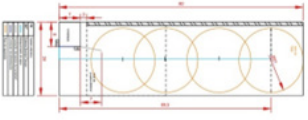
HIPÓTESIS EFICIENCIA APLICACIÓN DE RIEGO

- **H₀ (sin efecto):** No hay cambios en el consumo de agua entre el sistema de riego con sensor de humedad y el sistema tradicional que consistía en regar manualmente a simple vista.
- **H₁ (efecto positivo):** Se reduce el consumo de agua cuando se emplea un tiempo de aspersión a partir de las señales emitidas por el sensor de humedad frente al sistema de riego manual a simple vista.
- **H₂ (efecto negativo):** Aumenta el consumo de agua con el sistema de aspersión con sensor de humedad en relación con el riego manual a simple vista.



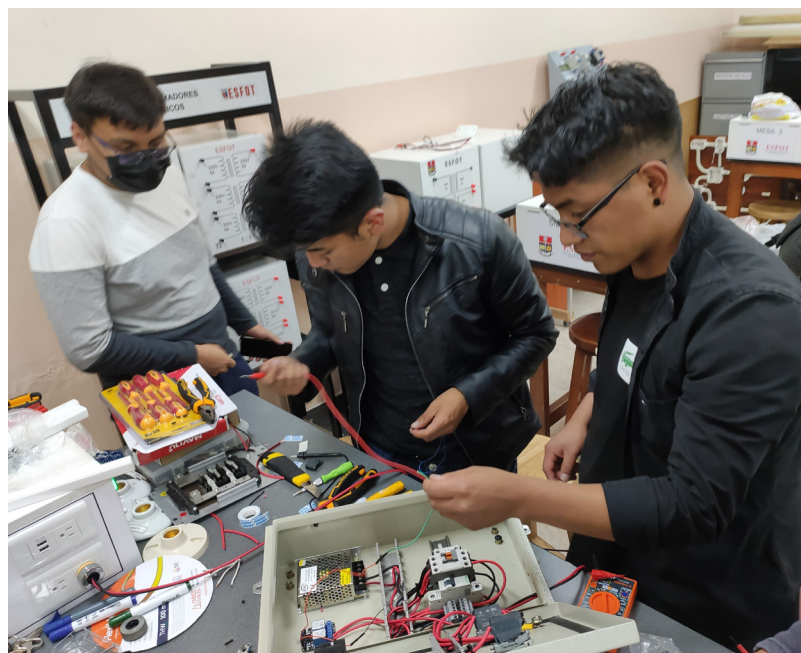
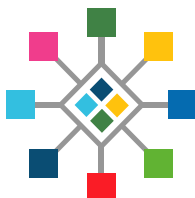
Lugares de intervención (muestra)

La selección de la muestra para este experimento fue intencional. Con la finalidad de comparar resultados obtenidos en contextos diferentes, la intervención se realizó en dos tipos terrenos: uno plano con acceso a agua de red y otro en inclinación con acceso limitado a agua comunal.

	Parroquia	M2 cultivados	Elevación	Plano
Terreno A	Tumbaco	1600	30% (Bomba de 1 hp)	
Terreno B	Llano Chico	800	Plano (Bomba de ,5 hp)	

Temporalidad del experimento

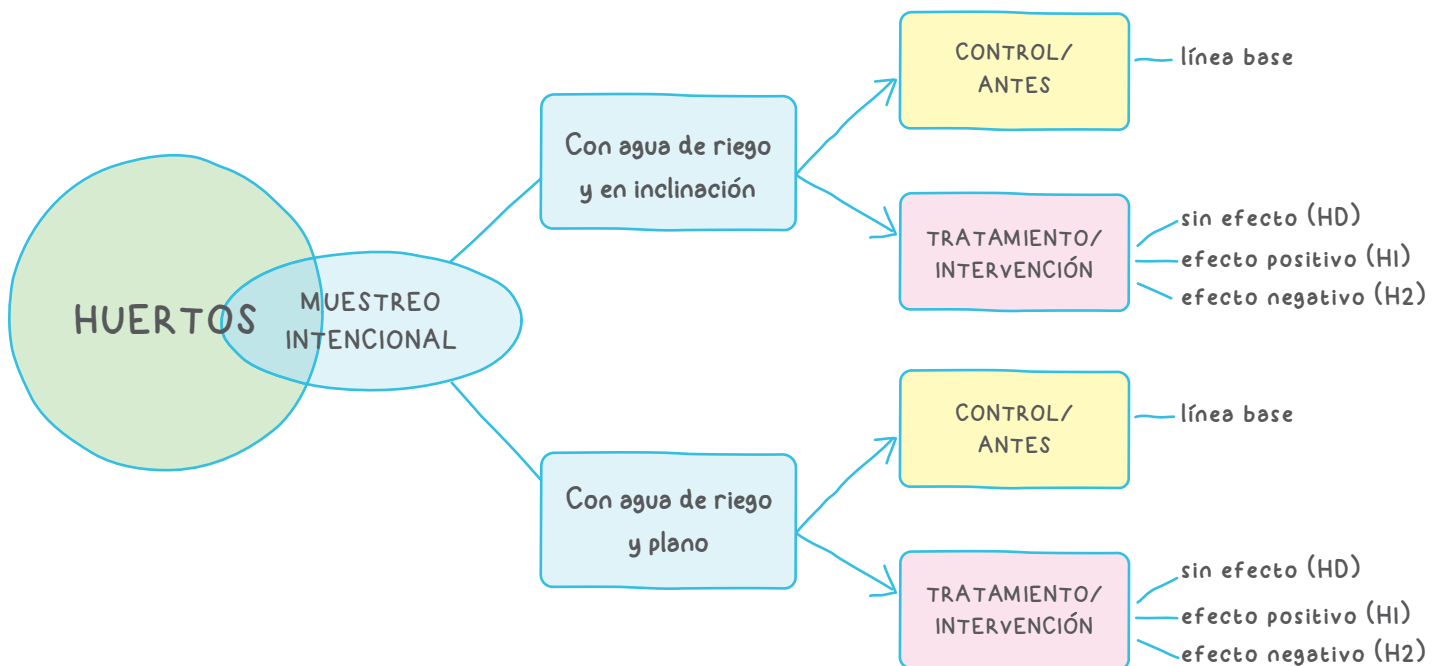
Este experimento fue llevado a cabo en el mes de julio, en época seca, cuando ninguno de los dos terrenos recibió lluvia. La solución está orientada a estos meses, puesto que los meses de lluvia (de noviembre a abril), se riega ocasionalmente.





Diseño y métodos de medición

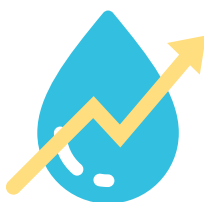
Se trata de un estudio *quasi*-experimental de casos y controles con muestreo intencional.



Para medir cambios en **esfuerzo físico** tanto en número de personas como tiempo empleado se aplicó una encuesta con preguntas semi-estructuradas dirigidas a las usuarias en dos momentos: antes de y después de la intervención. En dicha encuesta se preguntó sobre personas, tiempo, formas de riego.

La medición de **consumo de agua** se hizo mediante tres métodos de levantamiento de datos para poder triangular los resultados.

1. Volumen- medición de reservorios: El primero consistió en la aplicación de la encuesta antes (control) y después (tratamiento) de la intervención sobre cantidad de reservorios empleados para un día de riego.
2. Observacional- tiempo y litros: El segundo método fue observacional, poniendo a funcionar el sistema de riego y registrando el tiempo demandado por el sensor de humedad y los litros consumidos en el principal reservorio.
3. Volumen en planilla: Finalmente, en el caso del terreno que cuenta con agua potable, se compararon los metros cúbicos consumidos antes de la intervención y después de la intervención, según la planilla de agua.





INTERVENCIÓN LLANO CHICO *TERRENO A*

Huerto de Etelvina Rojas



Condiciones Previas

Acceso y disponibilidad del agua	Captación de agua previo a la intervención	Aplicación de agua previo a la intervención
Terreno inscrito en el programa de huertos urbanos de CONQUITO. Tiene acceso a agua de red y luz.	Utilización de 33 depósitos para captar agua lluvia en invierno o agua de red en verano, la cual reposa para posterior riego.	Uso manual de regaderas desde los depósitos ubicados en tres áreas del huerto hacia los cultivos.

Etelvina Rojas es una productora de plantas medicinales de la Plataforma Central 1ero de Mayo. Además de comercializar varios productos frescos en dicho mercado, produce hortalizas con métodos permaculturales y orgánicos y los vende en ferias agroecológicas.

Forma de riego antes de la intervención

Etelvina cuenta con un huerto de aproximadamente 800 metros cuadrados, donde, previo a la intervención, realizaba el riego de sus cultivos manualmente. Aunque cuenta con agua potable, no utilizaba mangueras ni aspersores debido a que el agua de red contiene cloro y considera perjudicial para sus productos. Por ese motivo, Etelvina recogía el agua con mangueras en un total de 33 reservorios para dejarla reposar hasta que perdiera el cloro. Este trabajo lo realizaban entre dos personas para poder tirar cuidadosamente de las mangueras hacia los reservorios sin arrastrar los cultivos. Posteriormente, procedía a aplicar el agua manualmente con regaderas. Para reducir la distancia de viajes entre los tanques y los cultivos, Etelvina colocaba los reservorios en diferentes puntos estratégicos para llevar el agua por secciones.

Prácticas de aprovechamiento del agua

Etelvina recicla las aguas grises de uso doméstico sobre sus cultivos. Toma baños en el huerto con agua "soleada", realiza el lavado de platos y de ropa en tanques para reutilizar dicha agua. El baño se da sobre aquellos cultivos más demandantes de agua como cidras y chayotes. Para neutralizar el agua jabonosa, Etelvina, realiza el enjuague en un segundo depósito y aumenta agua potable para diluir detergentes. El reciclaje de agua que realiza Etelvina es una buena práctica ambiental, sin embargo, al no contar con un sistema de separación de aguas grises con depuradoras para su reutilización por grifos le exige una gran carga de trabajo. Igualmente, otra buena práctica es realizar el riego a final de la tarde o muy temprano en la mañana para evitar pérdidas por evaporación.

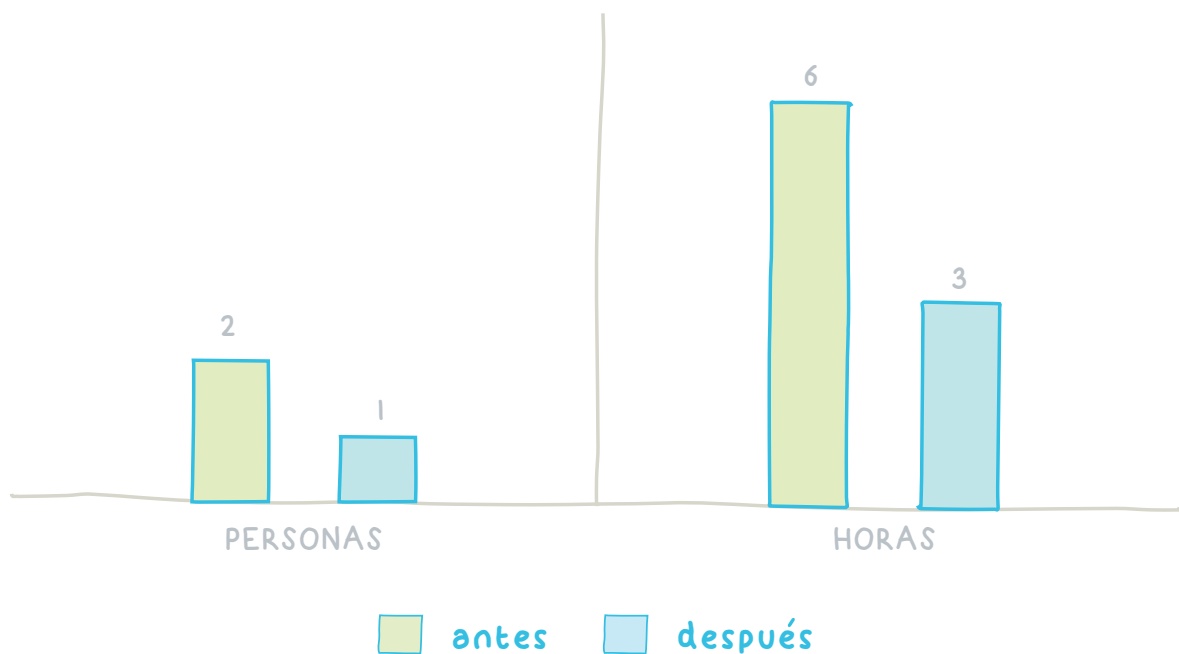
Resultados Llano Chico

Reducción en esfuerzo físico y tiempo

A continuación, presentamos los resultados obtenidos en el terreno A, ubicado en Llano Chico, que sí cuenta con agua de red. La medición en esfuerzo se realizó encuestando a la productora sobre la cantidad de personas involucradas previo a la instalación del sistema de riego y posterior.

Gráfico 1

Reducción en esfuerzo por semana



Con la instalación de un tanque de mayor capacidad, mangueras, bomba y aspersores, el tiempo de redujo significativamente, por lo que verificamos la hipótesis H1.





Eficiencia de consumo de agua

La medición del consumo de agua tiene limitaciones por la dificultad de aislar o controlar variables como la demanda de agua destinada a otras causas que no sean riego. Por este motivo, triangulamos los resultados, con la finalidad de confirmarlos. Igualmente, para reducir el error en los resultados, la medición en este experimento se realizó en época de verano, siendo julio un mes sin lluvias.

Etelvina comentó que previo a la intervención utilizaba 33 reservorios para almacenar el agua distribuidos de la siguiente manera:

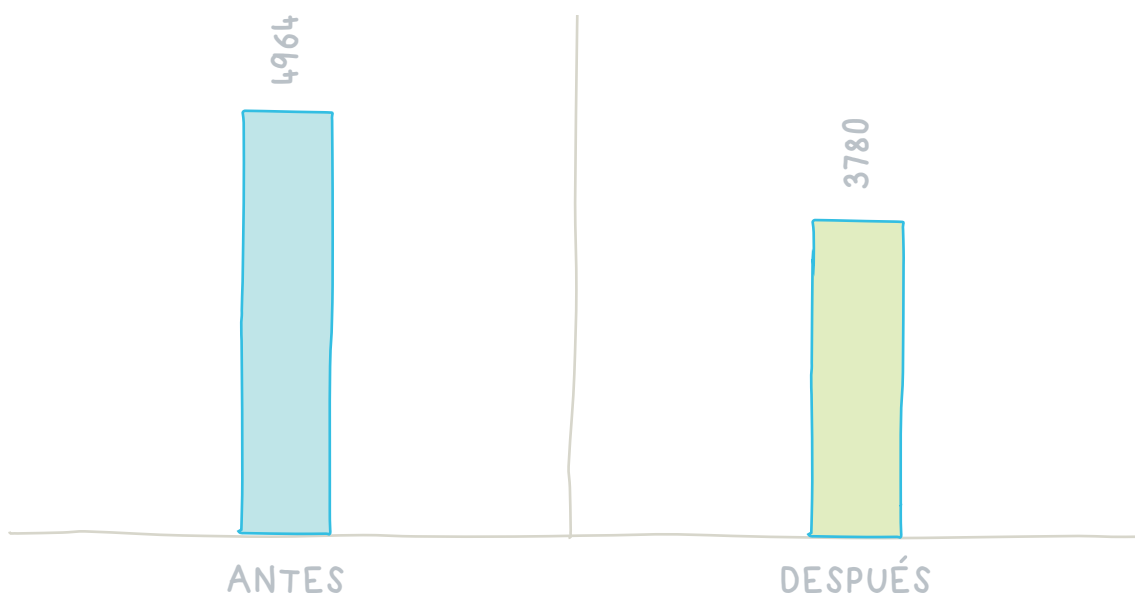
Reservorios	Cantidad	Capacidad en litros	Total litros semanal
5 tanques de 100 litros	5	100	500
2 grandes de más de 80 litros	2	80	160
10 tanque pequeños de 20 litros	10	20	200
10-15 baldes de 20 litros	15	20	300
tinas que suman 80 litros	1	80	80
Total litros aplicados antes de la intervención	33		1240

Esta cantidad de reservorios se agotaban en una semana distribuido en tres días; por lo tanto, el cálculo de consumo mensual en verano, concretamente en el mes de julio era de cerca de los 5 m³ (4964).



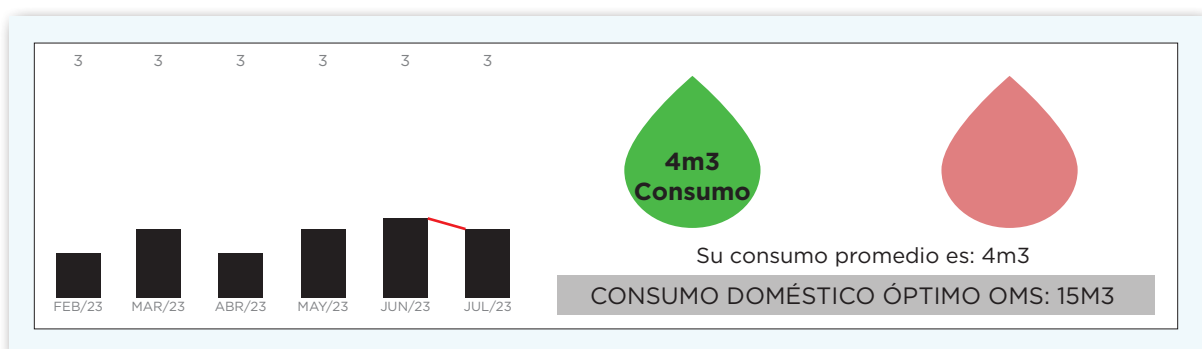
Realizada la intervención, instalamos un taque con capacidad de 55 galones, para almacenar y des-clorar el agua. Éste reemplazó muchos reservorios y se redujo la cantidad de depósitos de 33 a 7. El terreno cultivado es regado en su totalidad con 1,5 o máximo 2 tanques de 55 galones. Por lo tanto, la reducción en consumo de agua se detalla a continuación.

Gráfico 2
Litros mensuales



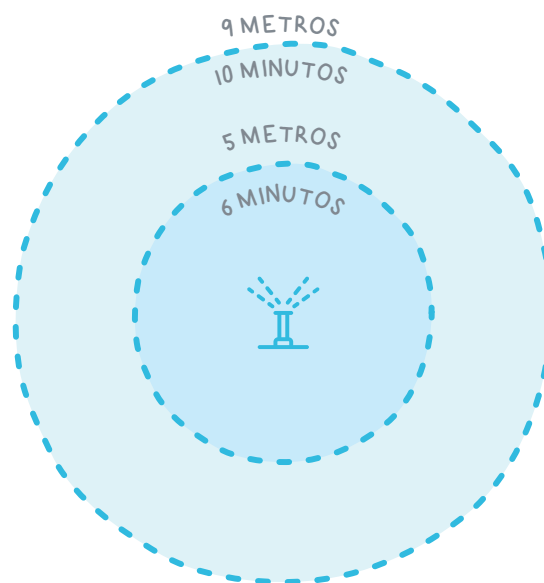
Para verificar estos datos, se revisó la factura de consumo de agua y, siendo el mes de julio una época sin lluvias, se constató una reducción de 1 metro cúbico de agua en el mes de la intervención.

Histórico de consumo mensual

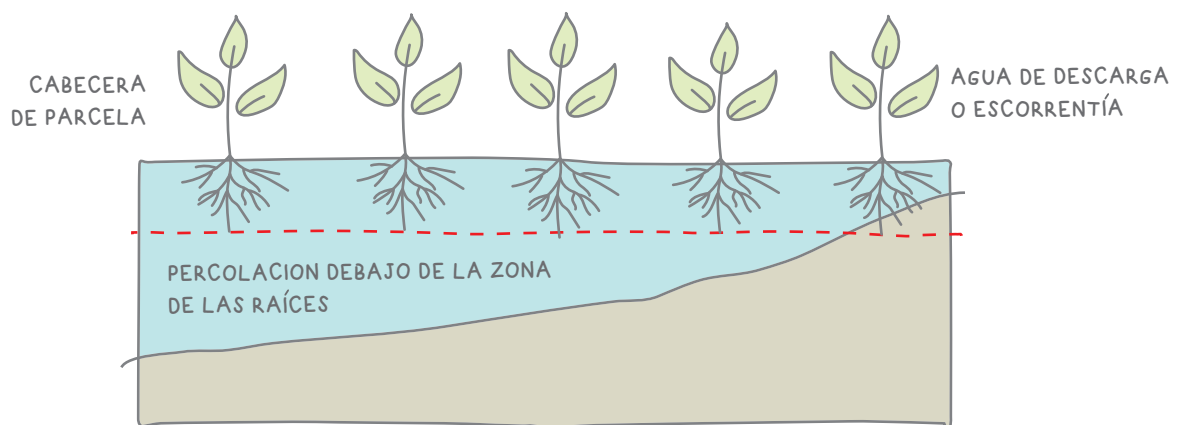


El aporte del sensor de humedad

Es importante destacar que esta reducción en el consumo de agua resulta del uso de "sensor de humedad". Se midió el tiempo en el que envía dicha señal y este dato permite establecer un criterio de uso de agua óptimo para este terreno. Con dicho dato, la productora puede estandarizar el tiempo de riego en época seca, evitando el excedente de agua por "sobre-riego". Cabe señalar que la humedad del suelo varía según la distancia de medición a partir del aspersor. A mayor distancia, menor humedad, por este motivo era importante tomar dos mediciones. El tiempo de riego determinado por el sensor ubicado a 5 metros del aspersor es de 6 minutos y 10 minutos a 9 metros. Recomendamos promediar el tiempo para beneficiar a todos los cultivos y una buena distribución de aspersores.



Consideramos que la eficiencia en consumo de agua se debe a que el sensor de humedad colocado en la tierra determina la demanda hídrica del cultivo en un punto óptimo (lo justo y necesario) sin pérdidas por infiltración profunda que no es aprovechada por las raíces (percolación).



En otras palabras, el sensor de humedad aporta información que permite mejorar la eficiencia de agua por lo que verificamos la hipótesis H1.

Además, el método de aspersión también contribuye a una mejor eficiencia de consumo de agua, pues evita pérdidas por derrames y encharcamientos del método manual.



INTERVENCIÓN TUMBACO *TERRENO B*

Huerto de Miriam Soria



Condiciones Previas

Acceso y disponibilidad del agua	Captación de agua previo a la intervención	Aplicación de agua previo a la intervención
<p>Terreno en Comuna. Terreno en pendiente (30% aprox.) hacia arriba desde la acometida de agua.</p>	<p>Utilización de 9 depósitos para almacenar el agua de riego, la cual llega por tubería hasta la parte inferior del terreno con frecuencia de una vez por semana por 2 horas.</p>	<p>Aplicaban el agua usando galones de agua, realizando 7 viajes</p>

Forma de riego antes de la intervención

Miriam Soria es una productora de plantas medicinales de la Plataforma Central 1ero de Mayo y pertenece a la Comuna Tola Chica de Tumbaco ubicada en el cerro Ilaló. Esta zona se encuentra bajo mucha presión urbanística por lo que se ha visto afectada por la deforestación. El agua es limitada en esta comuna por lo que cada familia recibe agua de riego comunal de manera racionada: un día por semana, por dos horas. Esta cantidad de agua es muy inferior de lo que demandan sus cultivos por lo que con el experimento no buscamos reducir el consumo de agua, sino, optimizarlo.

Antes de la intervención, en época de verano, la familia aplicaba manualmente todos sus reservorios (1130 litros semanales) en los cultivos y, al ser una cantidad insuficiente, perdían aproximadamente 30% del cultivo. Miriam comenta que morían las plantas de mayor demanda de agua, especialmente: eneldo, insulina, taraxaco, marco, escancel, tomillo, hierba buena. Esto suponía una pérdida económica importante, no sólo por no contar con el producto para su comercialización, sino por verse obligada a reinvertir en nuevas plantículas para reemplazar las muertas.





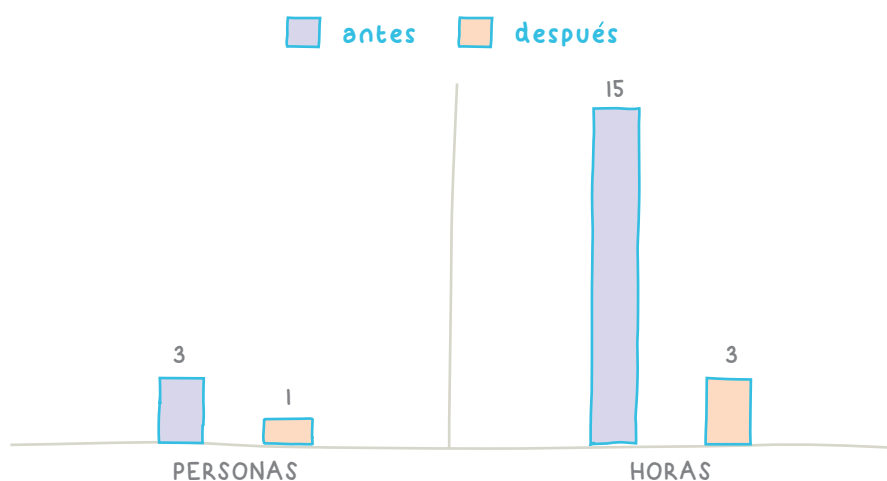
Resultados Tumbaco

Reducción en esfuerzo físico y tiempo

En el caso de este terreno sumamente inclinado, el riego manual resultaba excesivamente extenuante por la cantidad de viajes que cada persona debía realizar acarreando el agua desde los tanques a los cultivos. Se instalaron, cuatro irrigadores conectados a mangueras y una bomba de potencia 1hp. El componente mecánico de la intervención logró reducir el esfuerzo, como era esperado, aunque debemos considerar que no automatiza el trabajo en su totalidad.

Gráfico 3

Reducción es esfuerzo físico por semana

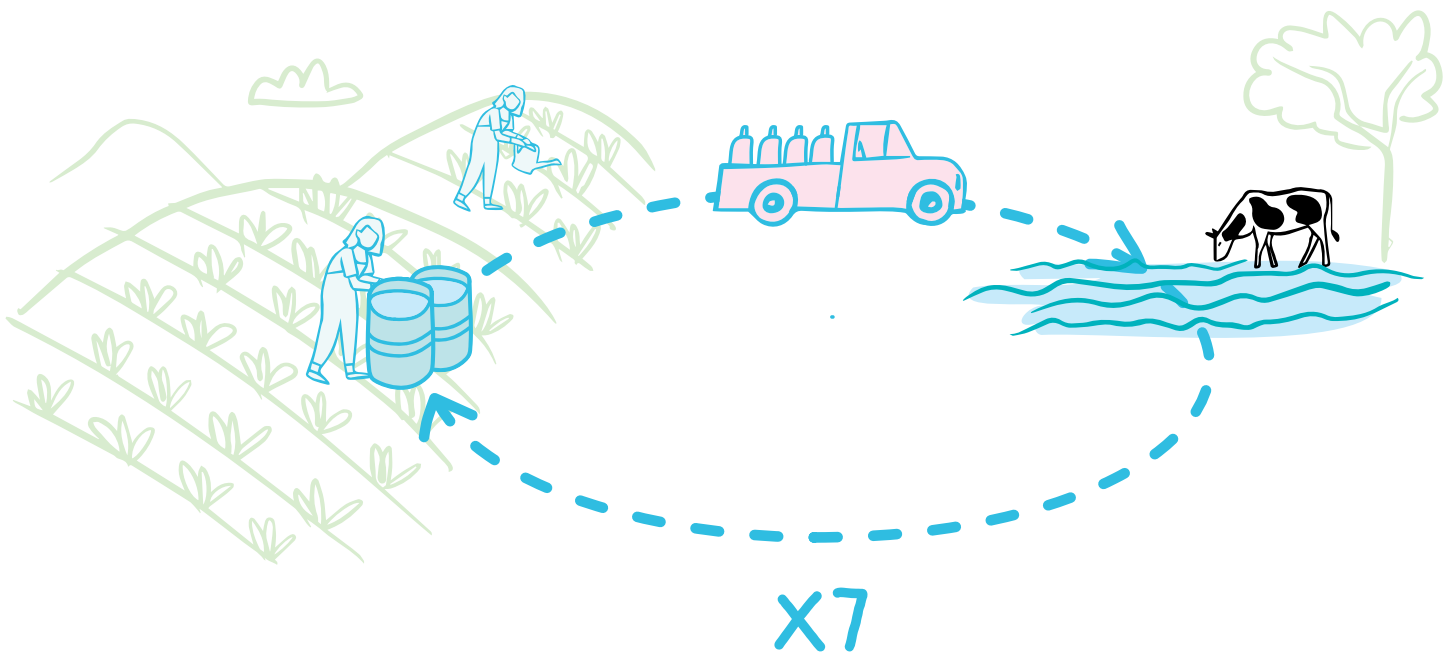


Esta reducción es significativa por lo que, con la intervención, se comprobó la hipótesis H1.

Eficiencia en consumo de agua

Antes de la intervención, Miriam Soria y su familia recolectaban agua de la acequia. Para ello, utilizaban 9 botellones de agua con capacidad de 6 litros cada uno y realizaban un total de 7 viajes cada uno (3 personas) de la fuente de agua a los 2 tanques de almacenamiento para, posteriormente, desde el tanque, acarrear en regaderas o galones el agua a los cultivos.

Depósito	Ctd	Litros	número de viajes o reposición	TOTAL LITROS	TOTAL EN UN MES
canecas	2	140	1	280	
baldes	9	6	7	378	
LITROS RECOLECTADOS Y APLICADOS X VEZ				658	
2 VECES X SEMANA (DATO SEMANAL)				1316	5264



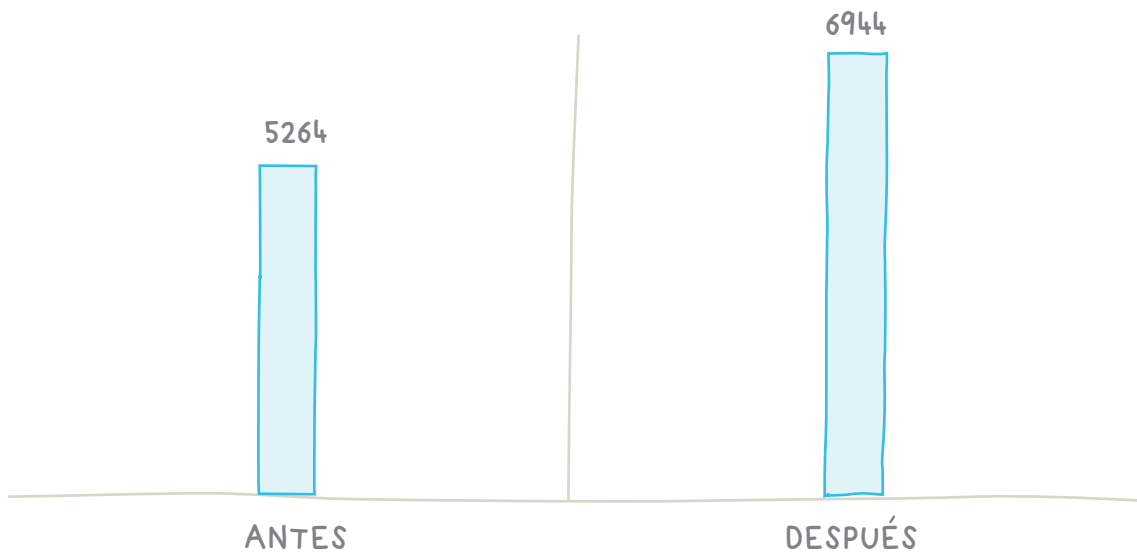
Esta operación de llenado de tanques debía realizarse dos veces por semana en época seca, sin embargo, el agua no abastecía de demanda hídrica, puesto que el 30% del cultivo se perdía.

Con la donación de un tanque de 55 galones, aumentamos, la capacidad de almacenaje que permite aumentar el riego en verano. Sin embargo, recordemos que el limitante fundamental está en la disponibilidad del agua y no en los reservorios.

Ctd	Reservorio	litros	total litros	TOTAL EN UN MES
1	TANQUE	210	210	
2	TANQUES AZULES	140	280	
7	BALDES	6	378	
LITROS RECOLECTADOS Y APLICADOS X VEZ			868	
2 VECES X SEMANA (DATO SEMANAL)			1736	6944

Gráfico 4

Litros mensuales Tumbaco















Es importante señalar que el agua recolectada sigue siendo inferior a la demanda, sin embargo, el resultado principal es que con la intervención ya no se pierden los cultivos. Por un lado, el aumento de un reservorio aporta a este objetivo, pero también, el método de riego por aspersión contribuye a un mejor aprovechamiento del agua. Mientras que, la distribución del agua de forma manual conllevaba pérdidas y derrames, ahora el agua llega al huerto de forma más eficaz. Finalmente, los litros recogidos dependen del caudal del agua de riego comunitaria que reciben, el cual es un bien escaso, para toda la comuna.





Conclusiones

TERRENO A Con agua potable y plano				
	CONTROL ANTES	TRATAMIENTO/ INTERVENCIÓN		
ESFUERZO FÍSICO	 	 	H1	✓
CONSUMO DE AGUA			H1	✓
TERRENO B Con agua de riego y en inclinación				
ESFUERZO FÍSICO	 	 	H1	✓
CONSUMO DE AGUA			H1*	✓

*El aumento de aplicación de agua era deseado puesto que existía una pérdida del 30% de los cultivos



Componente mecánico (reducción en esfuerzo físico):

- El componente mecánico de riego (uso de bomba y aspersores) reduce significativamente el esfuerzo humano en los casos donde se regaba manualmente sin uso de mangueras.
- Aun teniendo acceso a la red de agua potable, algunas productoras prefieren almacenar el agua y reposarla para perder el cloro por lo que esta solución podría facilitar el trabajo a productores en el contexto urbano y rural.
- Es una solución enfocada en la aplicación de riego y no en la captación de agua, la reducción de tiempo se centró en dicha actividad. No obstante, se recomienda incorporar sistemas de captación de agua lluvia.

Componente tecnológico con sensor de humedad (reducción en consumo de agua):

- El consumo de agua se redujo en el terreno plano aplicando el tiempo óptimo de riego según las señales del sensor de humedad.
- En el caso del consumo del terreno en inclinación, no hubo reducción de consumo de agua, pero sí mayor eficiencia en su aplicación. El aumento en almacenaje permitió mejorar el estado de los cultivos.
- La eficacia en el riego se logró evitando pérdidas por derrames, encharcamiento, percolación o deslizamiento del agua.
- En el terreno B se perdían 30% de los cultivos antes de la intervención y ahora las plantas se mantienen vivas aunque con baja producción pues requieren más agua de la disponible.
- El pequeño aumento en consumo de luz eléctrica por la bomba de ,5hp y 1hp es de 69 ctvs. al mes con un uso de 2 horas dos veces por semana. Este consumo compensa la reducción de esfuerzo físico y la eficiencia en el uso de agua.
- La posible resistencia a incorporar componentes tecnológicos a una práctica cotidiana se vería reducida al parametrizar una única vez el tiempo de riego requerido por el sensor de humedad en época seca. Una vez conocido dicho dato, las usuarias pueden hacer uso del modo manual o con temporizador.
- Se debe tomar como tiempo óptimo de riego, la señal emitida por el sensor ubicado a mayor distancia del aspersor. Por lo tanto, la percolación es parcialmente reducida, ya que los cultivos más cercanos al aspersor estarían recibiendo 2 minutos adicionales de riego.
- Para una medición de humedad sistemática compartimos las [instrucciones](#) ofrecidas por el Laboratorio de Aceleración de PNUD Guatemala utilizando el mismo tipo de higrómetro.
- Esta misma intervención puede ser utilizada para diseños de riego por goteo, no obstante, requeriría una mayor inversión en materiales. No fue el caso de esta intervención porque los cultivos no están en línea ni terrazas.
- Esta solución es apta para terrenos familiares y comunitarios con una extensión de hasta 1,000 metros cuadrados.

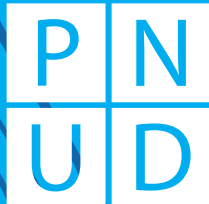


Recomendaciones

- Incorporar sistemas de captación de agua lluvia para una intervención más integral, ya que éstas se enfocan principalmente en la reducción del esfuerzo físico y la eficiencia en el consumo de agua.
- Aplicar políticas de reforestación, así como de conservación en estas zonas, especialmente en el cerro Ilaló, pues la falta de agua que enfrentan los agricultores se debe a la deforestación de las últimas décadas por la expansión de la mancha urbana.
- Promover sistemas de reutilización de aguas grises en huertos ubicados en zonas urbanas y polideportivos a través de incentivos como rebajas de impuestos prediales cuando éstos cuenten con dichos sistemas de recirculación de agua.
- Fortalecer de capacidades a líderes y lideresas de Juntas de Agua para una mejor administración, gestión y mantenimiento eficiente de los sistemas comunitarios de agua.
- Socializar esta solución a entidades como [Agrupar](#) de Corporación de Promoción Económica CONQUITO o el Ministerio de Agricultura, para beneficiar a un mayor número de productores/as.

Recursos

- Manual para [replicar](#) el sistema de riego
- Manual de [instrucciones](#) para el usuario



laboratorios
de aceleración

