



Solutions for Inclusive Green Development  
Soluciones para el Desarrollo Verde Inclusivo



# Análisis costo-beneficio de las obras de cosecha de agua desde la perspectiva privada en Nicaragua

Eduardo Pacay  
Róger Madrigal  
Felipe Carrera

Serie técnica  
Informe técnico no. 464

# Análisis costo-beneficio de las obras de cosecha de agua desde la perspectiva privada en Nicaragua

Eduardo Pacay  
Róger Madrigal  
Felipe Carrera

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE  
Turrialba, Costa Rica, 2025



CATIE no asume la responsabilidad por las opiniones y afirmaciones expresadas por los autores en las páginas de este documento. Las ideas de los autores no reflejan necesariamente el punto de vista de la institución. Se autoriza la reproducción parcial o total de la información contenida en este documento, siempre y cuando se cite la fuente.

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2025.

**ISBN: 978-9977-57-813-2**

634.92

P113

Pacay, Eduardo.

Análisis costo beneficio de las obras de cosecha de agua desde la perspectiva privada en Nicaragua / Róger Madrigal y Felipe Carrera. – 1ª ed. – Turrialba, Costa Rica : CATIE, 2025.  
38 p. : il. – (Serie técnica. Informe técnico / CATIE ; no. 464)

ISBN: 978-9977-57-813-2

1. Captación de aguas 2. Adaptación al cambio climático 3. Rentabilidad  
4. Análisis de costos y beneficios I. CATIE II. Título III. Serie

#### **Citación sugerida:**

Pacay, E., Madrigal, R., Feliber, C. 2025. Análisis costo beneficio de las obras de cosecha de agua desde la perspectiva privada en Nicaragua (en línea). Turrialba, Costa Rica, CATIE. 38 p. (Serie técnica. Informe técnico / CATIE, no. 464).  
Disponible en <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/12719>

#### **Autores**

##### **Eduardo Pacay**

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza)

##### **Róger Madrigal**

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza)

##### **Felipe Carrera**

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza)

#### **Revisión técnica**

##### **Revisor interno:**

Pablo Evia, economista

##### **Revisor externo:**

Pavel Rivera, economista

# Índice

<b>Resumen</b> .....	5
<b>Introducción</b> .....	3
<b>Metodología</b> .....	4
Definición de tipología de fincas y descripción de la muestra evaluada ..	4
Estimación de costos y beneficios .....	5
Estimación de la situación sin proyecto .....	5
Estimación de la situación con proyecto .....	6
Estimación de valor actual neto de costos y beneficios .....	6
Definición del horizonte temporal y proyección de flujos de caja ..	6
Proyección según escenarios de variabilidad climática .....	6
Supuestos sobre la efectividad de las obras de cosecha de agua para reducir los daños climáticos .....	7
Determinación Valor Actual Neto (VAN) .....	8
Análisis de sensibilidad .....	8
<b>Resultados</b> .....	9
Rentabilidad financiera de las obras de cosecha de agua .....	9
Rentabilidad financiera de las obras de cosecha de agua según diferentes escenarios climáticos .....	9
Rentabilidad financiera de las obras de cosecha de agua por modelo de finca según los distintos escenarios propuestos ..	10
Análisis de sensibilidad .....	11
Análisis de sensibilidad según diferentes valores de tasa de descuento .....	11
Análisis de sensibilidad según distintos niveles de efectividad de las obras de cosecha de agua con distintas tasas de descuento ..	12
<b>Discusión</b> .....	15
<b>Conclusiones</b> .....	21
<b>Recomendaciones</b> .....	22
<b>Agradecimientos</b> .....	22
<b>Bibliografía</b> .....	22
<b>Anexos</b> .....	24



# Resumen

El presente estudio realiza un Análisis Costo-Beneficio (ACB) de las obras de cosecha de agua desde la perspectiva de productores agropecuarios en Nicaragua. Se consideró una muestra de 152 productores ubicados en el corredor seco en el centro-norte del país, y se utilizó como base para el análisis los ciclos agrícolas de mayo 2018-abril 2019 y mayo 2021-abril 2022. Se estimaron los costos y beneficios de los sistemas productivos de los productores bajo la situación sin proyecto (sin obras de cosecha de agua) y bajo la situación con proyecto (con obras de cosecha de agua). Debido a que las obras de cosecha de agua son una medida de adaptación ante el cambio y la variabilidad climática, el ACB se realiza bajo diferentes escenarios climáticos, así como para distintos modelos de finca. Al considerar todos los modelos de finca, se encontró que las obras de cosecha de agua son rentables desde la perspectiva privada con un Valor Actual Neto (VAN) promedio por manzana que va de entre US\$9,682 y US\$9,740 para un periodo de 30 años, dependiendo del escenario climático contemplado. También, se determinó que la rentabilidad financiera de las obras de cosecha de agua se incrementa en los escenarios donde se esperan mayores impactos climáticos sobre la disponibilidad de agua. Esto indica que es rentable y deseable invertir en obras de cosecha de agua, principalmente en sitios donde se esperan problemas relacionados con baja disponibilidad de agua futura, tal y como es el caso del Corredor Seco de Nicaragua. Al analizar la rentabilidad de las obras de cosecha de agua por modelo de finca, se concluyó que todos los modelos fueron rentables y tuvieron mayores impactos en el aumento de la rentabilidad en fincas con unidades productivas pequeñas, principalmente para los modelos *Techo con Sistema Huerto/Patio* y *Escorrentía con Producción Agroforestal Diversificada*.

**Palabras clave:** Cosecha de agua, Análisis Costo-Beneficio, adaptación, rentabilidad financiera cosecha de agua



# Introducción

La cosecha de agua<sup>1</sup> juega un papel crucial en la adaptación al cambio climático de los pequeños agricultores (Mutschinski y Coles 2023, Ndlovu et al. 2020, Kelemewerk et al. 2020, FAO 2018). A medida que el cambio climático se intensifica, los efectos adversos, como la variabilidad de las lluvias y las sequías prolongadas, se vuelven más frecuentes, lo que amenaza la seguridad hídrica y alimentaria de las comunidades agrícolas (FAO 2018). En este contexto, la cosecha de agua se presenta como una estrategia efectiva para mitigar los impactos negativos del cambio y variabilidad climática que garantiza el acceso sostenible al agua para la agricultura.

El *“Proyecto Adaptación de la Agricultura al Cambio Climático a través de la Cosecha de Agua en Nicaragua”*, financiado por la Cooperación Suiza en América Central (COSUDE) e implementado por el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), en colaboración con el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), tiene como objetivo contribuir a que 2500 familias de pequeños y medianos productores de diez municipios del corredor seco en el centro-norte del país<sup>2</sup> establezcan sistemas productivos más resilientes al cambio climático y mejoren su seguridad alimentaria y nutricional.

Como parte de la implementación de las tecnologías y prácticas de uso y manejo de agua, el proyecto ha construido obras de cosecha de agua con el propósito de mejorar la seguridad hídrica de las personas beneficiarias. De esta manera, se espera que los pequeños y medianos productores mejoren sus ingresos, su seguridad alimentaria y nutricional al transformar sus sistemas productivos en sistemas más diversificados y resilientes al cambio y la variabilidad climática.

- 
- 1 Es la acción de captar y almacenar agua proveniente de precipitación pluvial, manantiales y pequeños arroyos que luego puede ser utilizada para diferentes usos, principalmente en épocas de escasez de agua, por lo que se considera una medida de adaptación al cambio climático.
  - 2 Los diez municipios son: Ciudad Antigua y Mozonte (Nueva Segovia), Somoto, Totogalpa, Telpaneca, Palacagüina, Yalagüina y San Lucas (Matriz), Pueblo Nuevo y Condega (Estelí).

El presente estudio realiza una evaluación financiera de las diferentes obras de cosecha de agua implementadas por el proyecto. Esto se realiza por medio de un Análisis Costo-Beneficio (ACB) desde la perspectiva privada. Es decir, se considera los beneficios netos financieros percibidos por las personas productoras que implementaron las obras de cosecha de agua en sus fincas o propiedades. De forma más específica, el estudio tiene los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la rentabilidad financiera privada de las obras de cosecha de agua.
- Estimar cómo varía la rentabilidad de las obras de cosecha de agua según los distintos modelos de finca definidos con base en el tipo de obra y el sistema productivo, esto para distintos escenarios de reducción en la disponibilidad de agua.
- Realizar un análisis de sensibilidad para evaluar cómo la rentabilidad de las obras de cosecha de agua puede variar según cambios en variables clave.
- Identificar los cambios que los productores han observado o percibido en sus sistemas productivos debido a la implementación de las obras de cosecha de agua que podrían explicar la rentabilidad financiera de estas.

La metodología de ACB empleada para evaluar la rentabilidad financiera privada de las obras de cosecha de agua es una adaptación de la metodología estándar de ACB, la cual puede tener diversas aplicaciones<sup>3</sup> (Boardman et al. 2011). Los principales componentes se presentan a continuación.

## Definición de tipología de fincas y descripción de la muestra evaluada

Debido que el estudio se realizó a nivel de finca de los productores agropecuarios, se definieron 4 modelos que son las predominantes en la población bajo estudio, esto en función de su tipo de obra de cosecha de agua y su sistema productivo. La muestra evaluada se compuso de un total de 152 fincas (Tabla 1).

**Tabla 1.** Tipología de fincas y muestra evaluada

Modelo de finca	Número de fincas
Fincas con cosecha de agua de escorrentía natural usada para la producción agroforestal diversificada (denominadas en adelante como Escorrentía con Sistema Agroforestal)	42
Fincas con cosecha de agua de escorrentía natural usada para la producción silvopastoril (denominadas en adelante como Escorrentía con Sistema Silvopastoril)	33
Fincas con cosecha de agua de manantial usada para la producción agroforestal diversificada (denominadas en adelante como Manantial con Sistema Agroforestal)	29
Fincas con cosecha de agua de techo usada para la producción de huerto/patio (denominadas en adelante como Techo con Sistema Huerto/Patio)	48
<b>Total</b>	<b>152</b>

**Nota:** En el Anexo A se presenta la definición y fotografías ilustrativas de cada una de las obras de cosecha de agua.

<sup>3</sup> Por ejemplo, para evaluar si un negocio del sector privado es rentable en términos financieros o determinar si un proyecto o política implementado por el gobierno genera beneficios sociales para la población, etc. En este sentido, el ACB es una herramienta que apoya la toma de decisiones de inversores, organizaciones y gobiernos al momento de decidir si sus inversiones generarán la rentabilidad deseada de la manera más eficiente posible.

En cuanto a las características de las fincas evaluadas, estas tienen una extensión de 10,1 manzanas en promedio, en donde aquellas con mayor extensión son las del modelo de *Escorrentía con Sistema Silvopastoril* (18,5 manzanas en promedio) y las de menor extensión son las del modelo de *Techo con Sistema Huerto/Patio* (2,42 manzanas en promedio).

En relación con los tipos de sistemas productivos, 85,5% de las fincas poseen cultivos anuales (granos básicos o hortalizas), 28,9% tiene cultivos perennes, siendo el modelo de *Manantial con Sistema Agroforestal* el de más fincas con este tipo de cultivos. Asimismo, 81,6% del total de las fincas tienen actividad vinculada con la ganadería, ya sea mayor o menor, en donde el modelo de *Escorrentía con Sistema Silvopastoril* es el que tiene más fincas con ganadería (90,9% de las fincas) (ver más detalles en el Anexo 1).

## Estimación de costos y beneficios

Para llevar a cabo un ACB es necesario estimar cuáles son los costos y beneficios en la *situación sin proyecto* y la *situación con proyecto* (Boardman et al. 2011). En el presente estudio, la *situación sin proyecto* se refiere a aquella en la cual los productores no cuentan con obras de cosecha de agua. Mientras que la *situación con proyecto* es en la que los productores tienen las obras de cosecha de agua como medidas de adaptación al cambio y la variabilidad climática (particularmente adaptación ante disminuciones en la disponibilidad de agua futura).

El enfoque del análisis es incremental. Es decir, se consideran aquellos cambios en los costos y los beneficios en sus actividades agropecuarias que se deben únicamente a la realización del proyecto (Boardman et al. 2011, FAO y PNUD 2019). Entonces, los ingresos y costos incrementales se determinan restando a los beneficios y costos de la *situación con proyecto* los beneficios y costos de la *situación sin proyecto*.

El análisis se hace de esta manera, ya que no basta con conocer si el proyecto es bueno en sí mismo (si los beneficios son mayores que los costos). También se debe establecer si el proyecto es mejor que: i) la situación sin proyecto y ii) el mejor proyecto alternativo (CEPAL 2005). Por lo tanto, en este análisis se evalúa si el proyecto (implementación de las obras de cosecha de agua) es rentable por sí mismo y si es más rentable que la *situación sin proyecto*. No se compara si el proyecto es más rentable que otras alternativas de inversión en la finca o de acceso a fuentes de agua alternativas, porque dicho análisis está fuera del alcance del presente estudio.

## Estimación de la situación sin proyecto

Para estimar la *situación sin proyecto* se utilizó la información recopilada en la Línea Base (LB) del proyecto. La LB recopiló información sobre costos, ingresos, áreas cultivadas, entre otros, de los diferentes sistemas productivos de los productores para el año agrícola mayo 2018-abril 2019, cuando aún no se habían implementado las obras de cosecha de agua en las fincas. La LB contiene datos sobre cinco sistemas productivos: cultivos anuales, cultivos perennes, ganadería mayor y menor, actividades agroindustriales, y productos del bosque. En el Anexo 2 se muestra un resumen de los costos e ingresos considerados en cada uno de los sistemas productivos. Con esta información se calcularon los costos y beneficios totales anuales en la situación sin proyecto para las 152 fincas evaluadas.

## Estimación de la situación con proyecto

Para estimar la *situación con proyecto* se recopiló información financiera de los sistemas productivos de las mismas 152 fincas seleccionadas de la LB, pero ahora estas ya contaban con obras de cosecha de agua. Los datos se recopilaron para el ciclo agrícola mayo 2021-abril 2022. Asimismo, las encuestas incluyeron una sección cualitativa sobre los cambios percibidos por los productores en sus sistemas de producción como consecuencia de la implementación de la obra de cosecha de agua, con el objetivo de respaldar los resultados obtenidos en la parte cuantitativa (ACB) y destacar algunos beneficios que no se pueden cuantificar.

## Estimación de valor actual neto de costos y beneficios

### Definición del horizonte temporal y proyección de flujos de caja

El horizonte temporal establecido es de 30 años, ya que se asume que es el periodo de vida útil de las infraestructuras de cosecha de agua, donde se espera que el proyecto haya cumplido sus objetivos a largo plazo. Se proyectaron en un flujo de caja los diferentes costos e ingresos que se espera que los productores tengan a lo largo del tiempo, esto tanto en la *situación sin proyecto* como en la *situación con proyecto*. Al ser una evaluación económica desde la perspectiva privada, se utilizan precios y costos de mercado. No se supone reinversiones en construcciones de obras de cosecha de agua. Los flujos de caja se hicieron para cada una de las 152 fincas evaluadas.

## Proyección según escenarios de variabilidad climática

Dado que las condiciones climáticas influyen directamente sobre los sistemas productivos y, por ende, sobre el flujo de costos y beneficios esperado, se establecieron diferentes escenarios según los impactos potenciales del cambio y la variabilidad climática para considerar los daños climáticos. Los impactos contemplados se asocian con las posibles reducciones en la precipitación que conducirían a eventos de sequía en las zonas relevantes del proyecto. Se espera estos eventos impacten la productividad agropecuaria principalmente en la situación sin proyecto (sin obras de cosecha de agua), porque bajo la *situación con proyecto* se asume que la mayoría de estos impactos serán mitigados por las obras de cosecha de agua.

Se proponen 3 diferentes escenarios para realizar la evaluación financiera de las obras de cosecha de agua: 1) escenario climático optimista, 2) escenario climático pesimista y 3) escenario base. A continuación, en la Tabla 2 se describe las características y supuestos de cada uno (ver más detalles de los impactos y supuestos considerados para cada escenario en el Anexo 3).

**Tabla 2.**

Descripción de los escenarios elaborados en el presente estudio para la evaluación financiera de las obras de cosecha de agua

Escenario	Impactos sobre cultivos anuales	Impactos sobre la actividad ganadera
1) Escenario climático optimista	Considera los impactos proyectados bajo el escenario de cambio climático B2 (escenario optimista) estimados por CEPAL (2015).	Considera el valor inferior de los impactos proyectados por Nardone <i>et al.</i> (2010).
2) Escenario climático pesimista	Considera los impactos proyectados bajo el escenario de cambio climático A2 (escenario pesimista) estimados por CEPAL (2015).	Considera el valor superior de los impactos proyectados por Nardone <i>et al.</i> (2010).
3) Escenario base	Escenario sin cambio climático: No considera impactos potenciales del cambio climático sobre los sistemas productivos.	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3 se muestran los valores de los impactos potenciales del cambio climático utilizados para cada escenario. Estos se expresan como reducciones en el rendimiento de los sistemas productivos. Debido a que el ACB se realiza para un horizonte temporal de 30 años, se aplicaron las respectivas reducciones proyectadas para cada período correspondiente en el flujo de caja hasta llegar al año 2050.

**Tabla 3.**

Reducciones potenciales en el rendimiento de cultivos y sistemas ganaderos lecheros (expresados en porcentaje) considerados en los escenarios climáticos propuestos

Sistema productivo	2020	2030	2050
<b>Escenario climático optimista</b>			
Cultivos anuales	-5,81	-11,83	-12,65
Producción de leche	-1,2 -1,2		-2,5
<b>Escenario climático pesimista</b>			
Cultivos anuales	-12,76	-11,69	-21,74
Producción de leche	-2,7	-2,7	-4,1
<b>Escenario base</b>			
No considera los impactos del cambio climático.			

## Supuestos sobre la efectividad de las obras de cosecha de agua para reducir los daños climáticos

Para los dos escenarios propuestos se toman en cuenta los impactos climáticos (optimista y pesimista). En la *situación sin proyecto* se considera el 100% de los impactos climáticos proyectados, ya que es en esta situación donde los productores estarían totalmente expuestos a las condiciones climáticas adversas al no contar con obras de cosecha de agua. Mientras, para la *situación con proyecto* se utiliza el supuesto de que las obras de cosecha de agua podrían tener una efectividad para evitar 75% de los impactos climáticos. Es decir, se esperaría que ocurra 25% de los impactos climáticos proyectados. Esto se debe a que se estima que las obras de cosecha de agua son una medida de adaptación al cambio climático que ayudarán a reducir los daños climáticos en los sistemas productivos como consecuencia de la escasez de agua. Como se explicará más adelante, se realiza un análisis de sensibilidad que contempla diferentes niveles de efectividad de las obras de cosecha de agua.

## Determinación Valor Actual Neto (VAN)

Para el presente estudio se usa como indicador de rentabilidad el *Valor Actual Neto* (VAN). El VAN es la diferencia entre el valor actual de los beneficios netos futuros y el valor actual de los *costos de inversión*. Si el VAN es mayor a cero, significa que el proyecto es rentable en términos financieros (Boardman *et al.* 2011, FAO y PNUD 2019).

Se calcula el VAN para cada una de las 152 fincas seleccionadas. Luego, el VAN de cada finca se transforma a VAN por manzana para así poder estimar un VAN promedio por manzana por finca, lo que permite realizar comparaciones del VAN entre los diferentes modelos de finca. En la ecuación 1 se muestra la fórmula para el cálculo del VAN.

### Ecuación 1

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN}{(1+r)^t}$$

Donde  $I_0$  es la inversión inicial en el año 0,  $BN$  son los beneficios netos,  $r$  es la tasa de descuento y  $t$  es el año en el cual se obtiene el beneficio neto. Se utiliza una tasa de descuento de 9,15% que corresponde a la tasa de interés nominal del Banco Central de Nicaragua<sup>4</sup>. Como se explica más adelante, se hace un análisis de sensibilidad para evaluar cómo la rentabilidad de las obras de cosecha de agua puede variar según diferentes tasas de descuento.

### Análisis de sensibilidad

En el presente estudio se lleva a cabo un análisis de sensibilidad que considera cambios en dos variables: la tasa de descuento y el nivel de efectividad de las obras de cosecha para evitar daños climáticos. Se realiza dicho análisis para estas dos variables, porque se cree que tienen alto grado de incertidumbre debido a la volatilidad propia de los mercados financieros y la información técnica disponible. También, su variación puede tener un efecto importante sobre la rentabilidad. A continuación, se presentan los supuestos utilizados.

- Además de la tasa de descuento de 9,15% que se indicó, adicionalmente se evalúa cómo la rentabilidad de las obras de cosecha de agua varía con otras tasas de descuento: 6%, 12% y 15%. Este análisis de sensibilidad se efectúa para cada uno de los escenarios propuestos (escenario climático optimista, escenario climático pesimista y escenario base).
- En relación con el nivel de efectividad de las obras, además del 75% indicado, también se realiza un análisis de sensibilidad que considera niveles de efectividad más bajos: 50% y 25%, esto para todas las tasas de descuento mencionadas. Este análisis se realiza para los escenarios climáticos propuestos (optimista y pesimista). No se lleva a cabo para el escenario base, ya que este no contempla impactos potenciales de cambio climático.

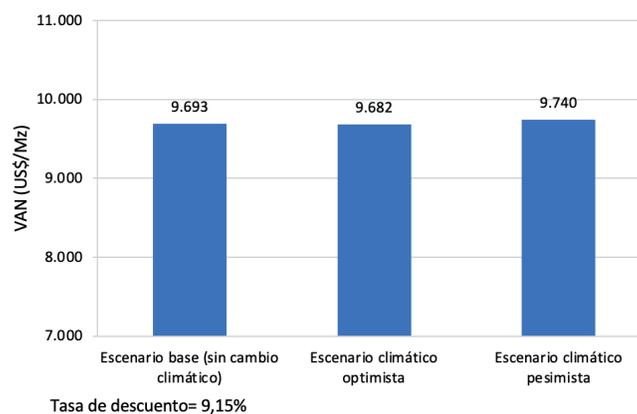
<sup>4</sup> Esta tasa de descuento corresponde al promedio de la tasa de interés de los últimos 3 meses (agosto, septiembre y octubre de 2022) emitida por el Banco de Central de Nicaragua. Ver: <https://www.bcn.gob.ni/graficos/tasasiap.php>

## Rentabilidad financiera de las obras de cosecha de agua

### Rentabilidad financiera de las obras de cosecha de agua según diferentes escenarios climáticos

La Figura 1 muestra el VAN neto promedio por manzana de las 152 fincas evaluadas para los tres escenarios propuestos en el presente estudio (sin distinguir por modelo de finca). Como se puede observar, el VAN neto es positivo en todos los escenarios, lo cual significa que las obras de cosecha de agua son económicamente rentables para los productores, independientemente de las predicciones climáticas.

Dado que el análisis se realiza en términos incrementales, esto implica que las obras de cosecha de agua incrementan los beneficios netos en comparación con la *situación sin proyecto*. El VAN varía entre US\$9,682 y US\$9,740 promedio por manzana, dependiendo del escenario climático. Asimismo, es importante señalar que el VAN incrementa al pasar del escenario base (sin cambio climático) al escenario climático pesimista. Como se discute más adelante, esto se debe a que, ante impactos climáticos mayores, las obras de cosecha de agua evitan más pérdidas por daños climáticos en comparación con la *situación sin proyecto*, donde se esperan mayores daños o pérdidas.

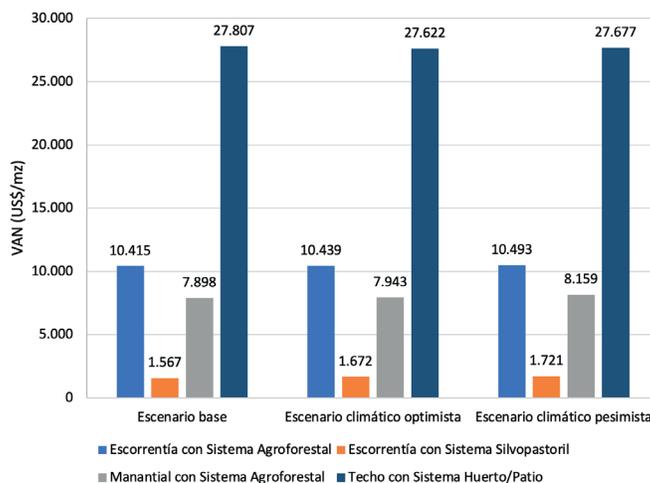


**Figura 1.** VAN promedio por manzana considerando en conjunto las 152 fincas evaluadas

## Rentabilidad financiera de las obras de cosecha de agua por modelo de finca según los distintos escenarios propuestos

En la Figura 2 se muestra el VAN promedio por manzana de cada modelo de finca evaluado según los distintos escenarios propuestos utilizando una tasa de descuento de 9,15%. En esta figura se puede observar lo siguiente:

- El modelo de finca más rentable –en otras palabras, el que presenta el mayor VAN promedio por manzana– es el modelo de *Techo con Sistema/Huerto Patio*. En este caso, el VAN varía entre US\$27,622-US\$27,807, dependiendo del escenario climático.
- El segundo modelo de finca más rentable es el modelo *Escorrentía con Sistema Agroforestal* con un VAN promedio por manzana de entre US\$10,415-US\$10,493.
- El tercer modelo de finca con mayor rentabilidad es el modelo *Manantial con Sistema Agroforestal* con un VAN promedio por manzana de entre US\$7,898-US\$8,159.
- El modelo de finca *Escorrentía con Sistema Silvopastoril* es rentable con un VAN promedio por manzana de US\$1,567 y US\$1,721, respectivamente. Se debe hacer notar que el VAN es significativamente menor comparado con los otros modelos.
- Nuevamente, se puede observar que la rentabilidad de las obras de cosecha de agua aumenta cuando se consideran impactos climáticos más grandes, es decir, al pasar del escenario base (sin cambio climático) al escenario pesimista con cambio climático. Esta tendencia es la misma para todos los modelos de finca evaluados, con excepción del modelo de *Techo con Sistema/Huerto Patio*, donde la rentabilidad es mayor en el escenario base<sup>5</sup>.



**Figura 2.**

VAN promedio por manzana para cada uno de los modelos de finca evaluados según los distintos escenarios propuestos

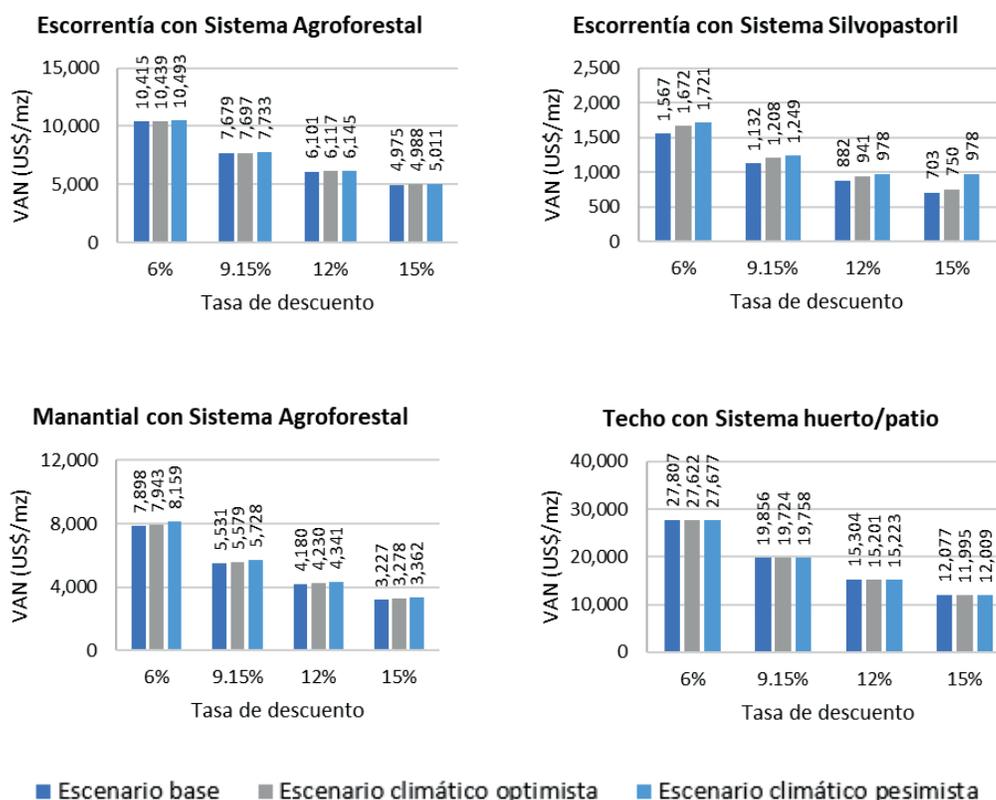
<sup>5</sup> Esto se debe a que en la muestra de las fincas de *Techo con Sistema Huerto/Patio* existen algunas que registran muy poca producción o producción cero en la situación sin proyecto. Por lo tanto, los costos evitados se reducen en dicha situación, ya que es ahí donde se considera 100% de los impactos climáticos, lo cual hace que la rentabilidad en los escenarios climáticos disminuya al reducirse la magnitud de los costos evitados.

## Análisis de sensibilidad

### Análisis de sensibilidad según diferentes valores de tasa de descuento

La Figura 3 muestra los resultados del análisis de sensibilidad del VAN a distintas tasas de descuento (6%, 12% y 15%), además de la tasa de 9,15% que fue utilizada para los cálculos generales en este estudio. El análisis se realizó por cada modelo de finca y cada escenario climático propuesto.

Como era lo esperado, el VAN neto disminuye conforme aumenta la tasa de descuento. Esto sucede para todos los escenarios y todos los modelos de finca. Se puede observar que todos los modelos permanecen rentables (VAN positivo), incluso considerando una tasa de interés de 15%, en todos los escenarios. En resumen, dichos resultados muestran que invertir en obras de cosecha de agua es rentable aun cuando existan alternativas de inversión que brindan 15% del rendimiento. Lo anterior aplica para todos los modelos de finca.



**Figura 3.** Análisis de sensibilidad según distintas tasas de descuento

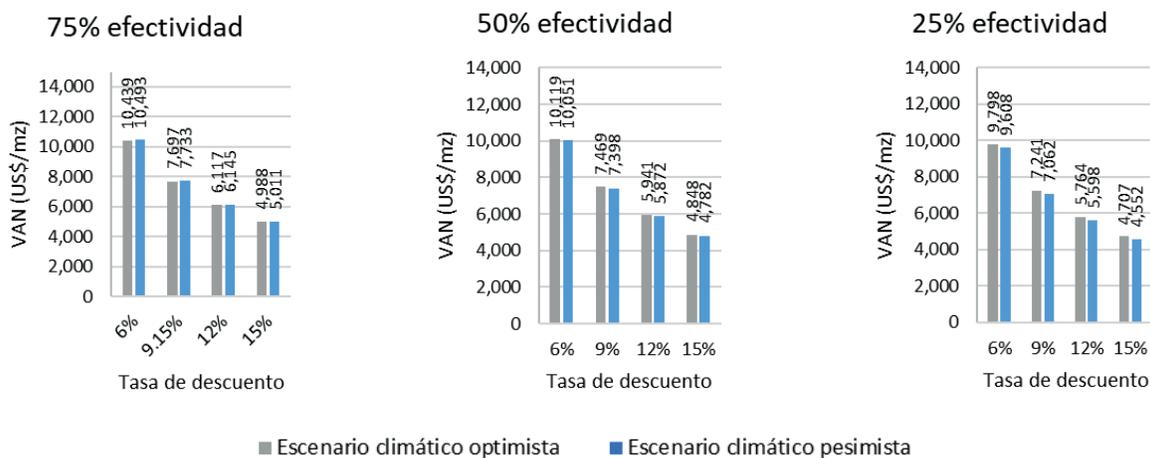
## Análisis de sensibilidad según distintos niveles de efectividad de las obras de cosecha de agua con distintas tasas de descuento

Como se explicó en la sección metodológica, los resultados generales presentados en este estudio suponen que las obras de cosecha de agua tienen 75% de efectividad para reducir daños climáticos. Se mantienen las mismas tasas de descuento consideradas en la sección anterior y para este análisis de sensibilidad se adicionan dos supuestos más de efectividad de las obras para evitar daños climáticos: 50% y 25%.

En las Figuras 4, 5, 6 y 7 se presentan los resultados para cada modelo de finca. El análisis se realiza únicamente para los escenarios climáticos optimista y pesimista, porque son en donde se consideran impactos de cambio climático. El escenario base no contempla impactos climáticos y, por lo tanto, no se pueden hacer supuestos de efectividad de las obras.

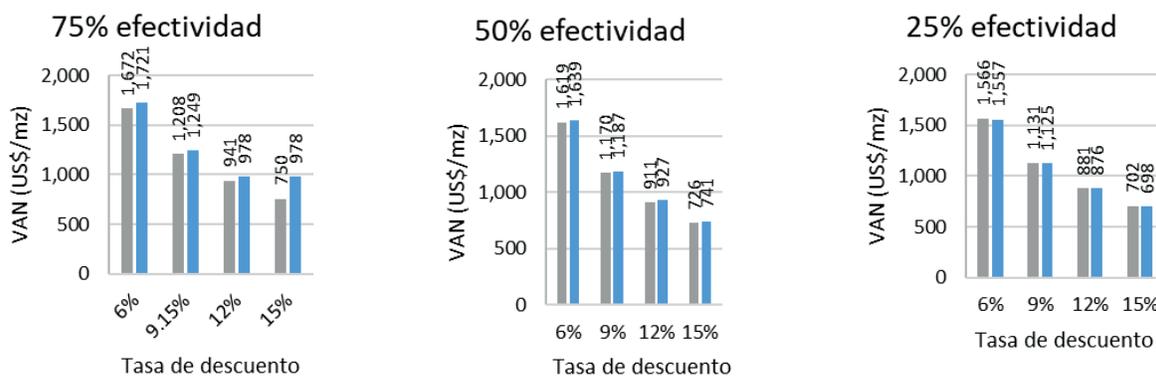
Como era lo esperado, el VAN se reduce conforme disminuye el nivel de efectividad de las obras para evitar daños climáticos, aunque las obras siguen siendo rentables (VAN positivo) para todos los niveles de efectividad considerados y todas las tasas de descuento. Estos resultados aplican tanto para el escenario climático optimista como para el pesimista y para todos los modelos de finca.

En resumen, dichos resultados muestran que el VAN permanece positivo para todas las tasas de interés y todos niveles de efectividad considerados, lo cual indica que es rentable invertir en obras de cosecha de agua aun considerando altas tasas de interés (de 15%) y bajos niveles de efectividad de las obras de cosecha de agua para evitar daños climáticos (25% de efectividad).

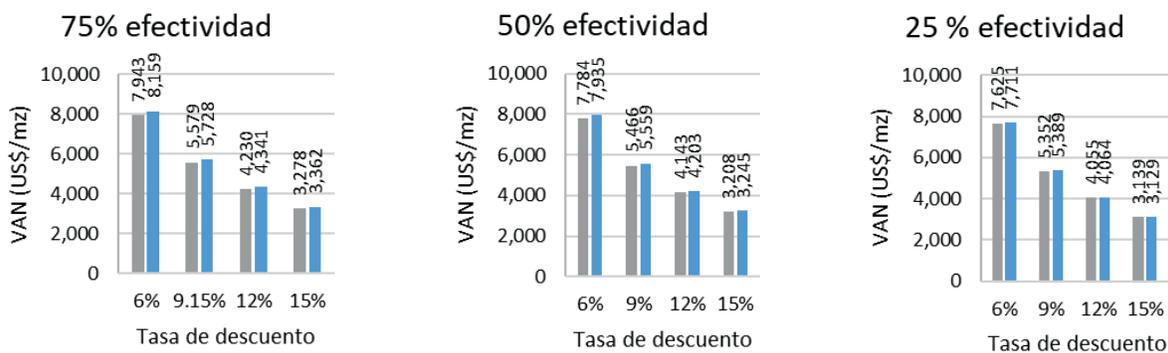


**Figura 4.**

Análisis de sensibilidad para el modelo Escorrentía con Sistema Agroforestal según diferentes niveles de efectividad de las obras de cosecha de agua y distintas tasas de descuento



**Figura 5.** Análisis de sensibilidad para el modelo Escorrentía con Sistema Silvopastoril según diferentes niveles de efectividad de las obras de cosecha de agua y distintas tasas de descuento



**Figura 6.** Análisis de sensibilidad para el modelo Manantial con Sistema Agroforestal según diferentes niveles de efectividad de las obras de cosecha de agua y distintas tasas de descuento



**Figura 7.** Análisis de sensibilidad para el modelo Techo con Sistema Huerto/Patio según diferentes niveles de efectividad de las obras de cosecha de agua y distintas tasas de descuento

**a. La rentabilidad financiera de las obras de cosecha de agua se respalda con los cambios observados y percibidos por los productores en sus sistemas productivos.**

Los resultados del análisis costo-beneficio son respaldados y explicados por los cambios observados o percibidos por los productores a nivel de campo en sus sistemas productivos por la implementación de las obras de cosecha de agua<sup>6</sup>. En la Tabla 4 se muestra un resumen de los diferentes beneficios percibidos debido a esto. Como se puede observar, para casi todos los modelos de finca reportan haber incrementado su producción de cultivos anuales y perennes (esto principalmente a través del incremento del número de temporadas de siembra, aumento del área cultivada y establecimiento de nuevos cultivos, entre otros), con excepción del modelo *Escorrentía con Sistema Silvopastoril*.

Con respecto a la ganadería, se evidencia que todos los modelos de finca, excepto el modelo de *Techo con Sistema Huerto/Patio*, reportaron un incremento en la producción de ganado mayor o menor (esto debido al aumento del número de animales, aumento de la producción de productos lácteos, reducción del número de horas para llevar a los animales a beber agua, por mencionar algunos). En términos generales, los mayores impactos en ganadería se observaron en el modelo de *Escorrentía con Sistema Silvopastoril*, lo cual se explica por el hecho de que este modelo es el que tiene a la ganadería como su actividad principal.

Estas percepciones están en línea con los resultados obtenidos en la evaluación económica. Por ejemplo, los modelos de finca que resultaron ser los más rentables –modelo de *Techo con Sistema Huerto/Patio* y el de *Escorrentía con Sistema Agroforestal*– precisamente fueron aquellos en los cuales más productores indicaron haber incrementado el número de temporadas de siembra a lo largo del año y haber ampliado su área cultivada bajo cultivos anuales y perennes gracias a la implementación de las obras de cosecha de agua.

---

<sup>6</sup> Estos cambios fueron mencionados por los productores en las encuestas que fueron hechas a nivel de las fincas para estimar la *situación con proyecto*. Es importante indicar que estos son meramente cambios observados o percibidos por los productores. Por lo tanto, no se puede aseverar que son 100% atribuibles a la implementación de obras de cosecha de agua. Sin embargo, estas medidas de percepción pueden funcionar como un indicador de los beneficios potenciales generados por dichas obras.

Mientras, el modelo de *Escorrentía con Sistema Silvopastoril*, que resultó ser el menos rentable, fue el modelo en el cual menos productores reportaron haber aumentado sus temporadas de siembra, ampliado sus áreas de cultivos anuales y perennes, haber incrementado el rendimiento de estos cultivos, o haber establecido nuevos cultivos (Tabla 4). Además, es el modelo de finca que se vio más afectado por factores climáticos durante el periodo de evaluación. Se amplía la explicación de este último punto más adelante.

**Tabla 4.** Resumen de los beneficios potenciales de las obras de cosecha de agua percibidos por los productores

Cambios observados o percibidos por los productores según sistema productivo	Modelo de finca			
	Escorrentía con Sistema Agroforestal	Escorrentía con Sistema Silvopastoril	Manantial con Sistema Agroforestal	Techo con Sistema Huerto/Patio
<b>Cultivos anuales</b>				
Incremento del número de temporadas de siembra durante el año	✓	-	✓	✓
Capacidad de cultivar en época seca (temporada de riego) cuando antes no podían hacerlo	-	-	✓	✓
Incremento del área cultivada con cultivos anuales	✓	-	✓	✓
Establecimiento de nuevos cultivos anuales	✓	-	-	✓
<b>Cultivos perennes o semi-perennes</b>				
Incremento del área cultivada con cultivos perennes	✓	✓	✓	✓
Incremento en el rendimiento de cultivos perennes y semi-perennes	-	-	-	-
Establecimiento de nuevos cultivos perennes o semi-perennes	✓	✓	✓	✓
<b>Ganadería</b>				
Incremento en la producción de ganado mayor o menor	✓	✓	✓	-
Disminución en el tiempo para aguar los animales	✓	✓	✓	-
Incremento en la producción de productos lácteos	-	✓	-	-
Establecimiento de nuevos pastos en fincas	-	✓	-	-
<b>Valor de la propiedad</b>				
Percepción de un aumento en el valor de la propiedad	✓	✓	✓	✓

**Nota:** Se considera como un impacto (✓) si más del 75% de los productores reportaron haber observado o percibido el cambio.

Asimismo, estos cambios observados o percibidos por los productores también se ven respaldados en un incremento en los ingresos netos de las familias beneficiadas. El ingreso neto familiar en promedio de los beneficiarios antes de la implementación de la cosecha de agua era de US\$-219.1 por manzana por año, mientras que el ingreso neto promedio actual con cosecha de agua es de US\$195.1 por manzana por año. Aunque este incremento no se puede atribuir exclusivamente a la cosecha de agua, sugiere que las familias beneficiadas aumentaron en promedio más del 100% sus ingresos a raíz de mejorar su acceso al agua.

Por último, los resultados encontrados en el presente estudio están en línea con lo que reporta la literatura. Si bien existen muy pocos estudios que han realizado evaluaciones financieras de obras de cosecha de agua para pequeños agricultores, los estudios en otras regiones del mundo han encontrado que estas obras son financieramente rentables, dado que incrementan la capacidad productiva de los agricultores, reducen sus pérdidas por impactos de sequías y reducen su esfuerzo en la recolección de agua (Malik *et al.* 2014, Goel y Kumar 2005, Meeks 2017, Nagaraj *et al.* 2011, Abdeladhim *et al.* 2017).

**b. La rentabilidad de las obras de cosecha de agua aumenta bajo escenarios donde se esperan mayores impactos climáticos.**

Como se pudo observar en la Figura 1 y Figura 2 de la sección de Resultados, las obras de cosecha de agua son rentables financieramente para los productores y su rentabilidad aumenta particularmente bajo escenarios en donde se esperan más impactos climáticos relacionados con la escasez de agua, tales como la reducción del rendimiento de los sistemas agropecuarios o pérdida total de los cultivos.

El aumento de la rentabilidad en estos escenarios se debe a que, ante impactos climáticos mayores, las obras de cosecha de agua evitan más pérdidas por daños climáticos en la *situación con proyecto* (con obras de cosecha de agua) en comparación con la *situación sin proyecto*, donde se espera que sucedan mayores daños o pérdidas. Por lo tanto, en estos escenarios existen mayores costos evitados por daños climáticos, los cuales –al final– se traducen en beneficios económicos para el productor, lo que aumenta la rentabilidad financiera.

**c. La rentabilidad de las obras de cosecha de agua varía según el tipo de modelo de tipo de finca.**

Se determinó que la rentabilidad de las obras de cosecha de agua varía según el tipo de modelo de finca (Figura 2). Esta variabilidad se puede explicar porque los incrementos en los ingresos en los distintos sistemas productivos (cultivos anuales, cultivos perennes y ganadería, entre otros) fueron diferentes entre los modelos de finca evaluados.

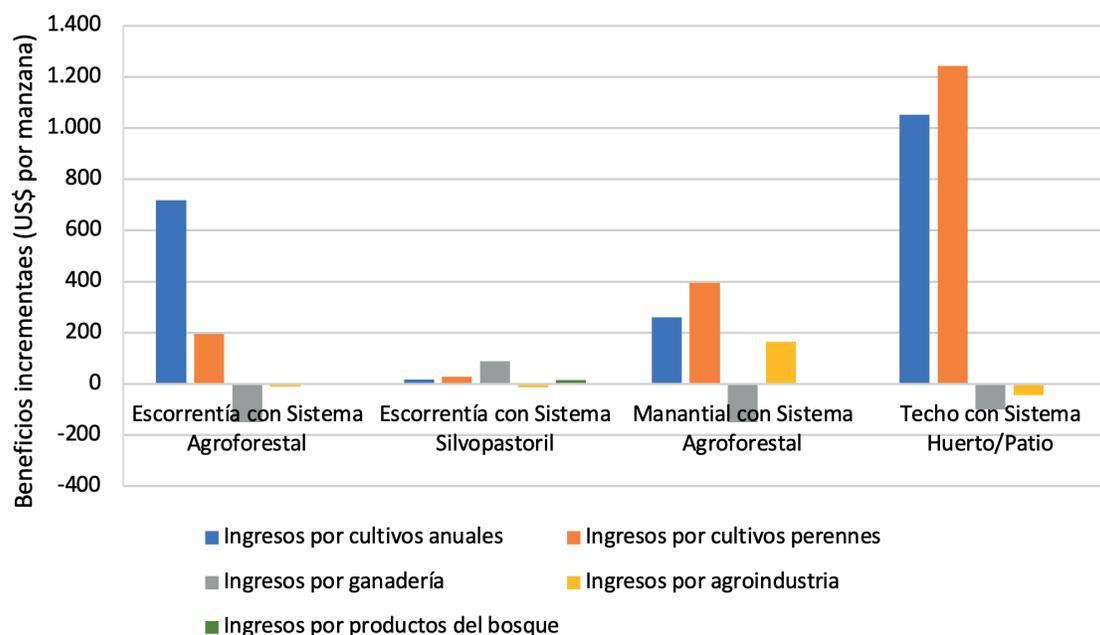
En la Figura 8 se muestra un resumen de los beneficios incrementales anuales (entre la *situación sin proyecto* y situación con proyecto) en cada sistema productivo para cada modelo de finca. Como se puede observar, los modelos de finca *Escorrentía con Sistema Agroforestal* y *Techo con Sistema/Huerto Patio* fueron los que obtuvieron más incrementos en sus ingresos, principalmente en los sistemas de cultivos anuales y perennes, lo cual explica por qué son los sistemas más rentables.

Mientras, el modelo de *Escorrentía con Sistema Silvopastoril* registra un incremento muy bajo o discreto en sus ingresos por ganadería, siendo esta su actividad principal, así como en sus cultivos anuales y perennes. Esto explica por qué es el modelo menos rentable. Este incremento discreto en sus ingresos en parte podría explicarse a que 31% de los productores de este modelo reportaron haber tenido daños en su producción ganadera debido a la ocurrencia de sequías y lluvias extremas durante el ciclo agrícola utilizado como base para medir la *situación con proyecto* (mayo 2021-abril 2022).

Además, 63% de productores mencionaron daños en sus cultivos anuales por los mismos eventos climáticos en ese ciclo agrícola. Para evitar que estos impactos afectaran los resultados del estudio, se hizo una estimación de la producción esperada en ausencia de esos eventos para no considerar dichos daños dentro del análisis y evitar proyectarlos año a año en el flujo de caja<sup>7</sup>. A pesar de eso, dichos impactos sí pudieron afectar negativamente la rentabilidad de este modelo de finca, ya que no es posible aislarlos completamente dentro del análisis, especialmente aquellos que afectaron la producción ganadera.

---

7 Esto se hizo con el objetivo de no considerar estos impactos climáticos atípicos dentro de los ingresos (muchos de ellos ocasionados por los huracanes ETA y IOTA), puesto que dentro del análisis estos se proyectan año a año y, de considerarlos, se estaría asumiendo que todos los años ocurrirían dichos eventos, lo cual es un supuesto muy fuerte que afectaría los resultados. Para eso, se realizó el cálculo de cuál hubiese sido la producción de la finca si no hubiese sido afectada por el evento climático. Para hacer esta reestimación se aplicó un rendimiento esperado al área cultivada reportada. Eso se hizo para las fincas que reportaron haber cultivado, pero que no tuvieron cosecha debido al impacto de un evento climático.



**Figura 8.** Resumen de los beneficios incrementales por año en cada sistema productivo por modelo de finca

**d. Las obras de cosecha de agua pueden tener mayores impactos en el aumento de la rentabilidad en fincas con unidades productivas pequeñas.**

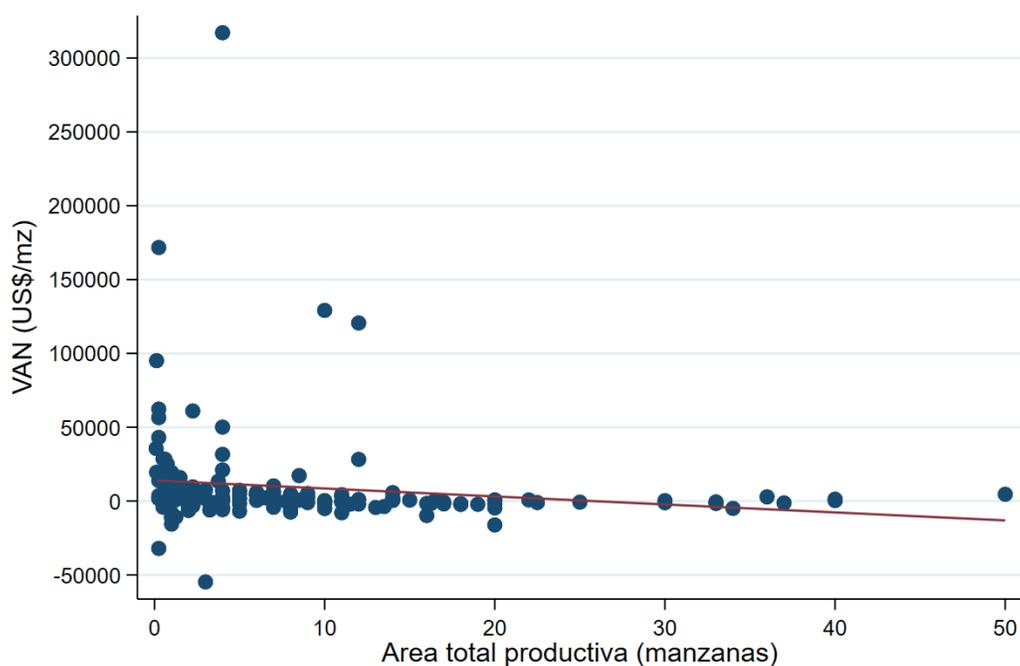
En la Tabla 5 se muestra las correlaciones del VAN por manzana con distintas características de las fincas evaluadas<sup>8</sup>. Como se puede ver, el tamaño de la unidad productiva de la finca es la única variable que tiene una correlación estadísticamente significativa con el VAN por manzana. Esta correlación es negativa (línea de tendencia con pendiente negativa). Es decir, el VAN por manzana tiende a ser menor en fincas más grandes y mayor en fincas más pequeñas.

Esto se puede observar en la Figura 9, la cual muestra que, a medida que incrementa el tamaño del área productiva de la finca, el VAN por manzana disminuye. Esta tendencia se debe a que el modelo de finca que en promedio tiene unidades productivas más pequeñas, el de *Techo con Sistema Huerto/Patio*, fue el más rentable por unidad de área (VAN/mz) según el ACB, lo cual se debe a que en parte el uso del suelo y la producción por unidad de área se pueden intensificar al implementar cosecha de agua en unidades productivas pequeñas.

<sup>8</sup> La estimación de estas correlaciones se hizo a través de regresiones no paramétricas utilizando el método Kernel porque los datos no poseen normalidad. En estas regresiones la variable dependiente fue el VAN por manzana y la variable explicativa fue la variable que representaba alguna característica de la finca (tamaño, miembros, del hogar y distancia al centro urbano más cercano, entre otros).

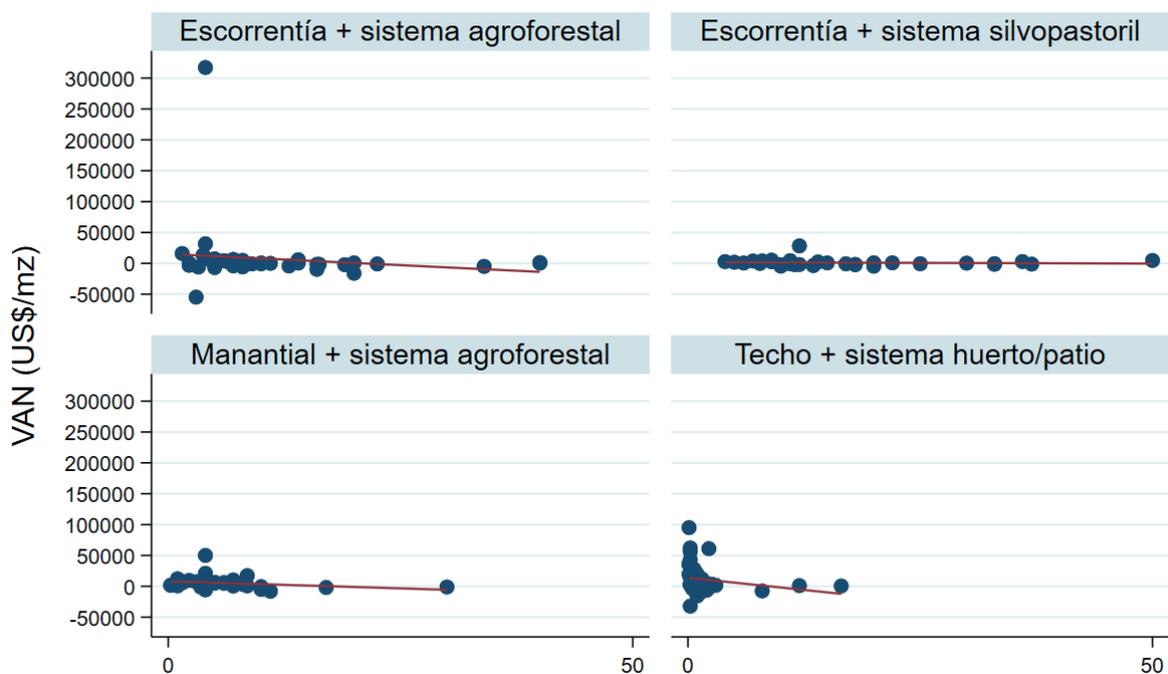
**Tabla 5.** Correlación del VAN por manzana con distintas características de las fincas

Variable	Dirección de la correlación con el VAN	P-value	Correlación estadísticamente significativa al 90%
Área de la finca (manzanas)	(-)	0.003	Sí
Número de miembros del hogar	(+)	0.245	No
Fincas con escritura pública o registro	(+)	0.831	No
Distancia a centro urbano más cercano	(+)	0.995	No



**Figura 9.** Gráfico de dispersión entre el VAN por manzana y el tamaño del área productiva de la finca considerando todos los modelos de finca

Si se observa la relación entre el área productiva y el VAN por manzana a lo interno de cada modelo de finca (Figura 10), se puede ver que la relación se mantiene relativamente negativa (línea de tendencia con mayor pendiente negativa), principalmente para los modelos de *Escorrentía con Sistema Agroforestal* y *Techo con Sistema Huerto/Patio*. Mientras, para los otros modelos de finca no existe correlación (línea de tendencia con poca pendiente). Esto implica que las obras de cosecha de agua pueden tener mayores impactos en el aumento de la rentabilidad de las actividades productivas, en particular en fincas pequeñas para estos dos modelos de finca.



**Figura 10.** Gráfico de dispersión entre el VAN por manzana y el tamaño del área productiva de la finca por modelo de finca

**e. La rentabilidad de las obras de cosecha de agua podría ser mayor si se consideran otros beneficios socioambientales.**

Existen otros beneficios que la cosecha de agua puede proporcionar, además de los beneficios privados (aquellos percibidos por los productores en sus sistemas productivos). Estos pueden ser beneficios socioambientales (co-beneficios), entre los que se encuentran: incremento del valor de la tierra, reducción de la presión de uso de aguas subterráneas y beneficios para la vida silvestre, entre otros (ver tabla de beneficios socioambientales en el Anexo 4). Estos no fueron contabilizados en el presente estudio porque el enfoque fue desde la perspectiva privada, la del productor. Por lo tanto, la rentabilidad estimada se puede considerar como la rentabilidad mínima, puesto que existen beneficios a nivel social y ambiental que, de contabilizarse monetariamente, podrían incrementar la rentabilidad económica de las obras de cosecha de agua.



## Conclusiones

- Al considerar todos los modelos de finca en conjunto, el ACB determinó que las obras de cosecha de agua son rentables financieramente para las personas productoras, con un VAN promedio por manzana de entre US\$9,682 y US\$9,740, dependiendo del escenario considerado. Asimismo, se determinó que la rentabilidad financiera de las obras de cosecha de agua incrementa en los escenarios donde se consideran mayores impactos climáticos. Esto indica que es rentable invertir en obras de cosecha de agua como una medida de adaptación al cambio climático, especialmente en sitios donde se esperan mayores reducciones de la disponibilidad de agua.
- Al analizar la rentabilidad de las obras de cosecha de agua por cada modelo de finca, se pudo determinar que todos los modelos evaluados son rentables y que su rentabilidad aumenta especialmente bajo escenarios que consideran impactos de variabilidad climática y cambio climático. El modelo de *Techo con Sistema/Huerto Patio* fue el más rentable, mientras que el menos rentable fue el modelo de *Escorrentía con Sistema Silvopastoril*. Esto en parte podría explicarse porque al menos un tercio de los productores de este último modelo reportaron daños por lluvias extremas y sequías, lo que se vio reflejado en incrementos discretos en sus ingresos netos, lo que pudo reducir la rentabilidad de este modelo.
- Se encontró que la rentabilidad por manzana tiende a aumentar a medida que el tamaño de la unidad productiva de la finca disminuye, para los modelos de finca *Techo con Sistema/Huerto Patio* y *Escorrentía con Sistema Agroforestal*. Esto significa que las obras de cosecha de agua pueden tener impactos importantes en el incremento de la rentabilidad, principalmente en fincas pequeñas para estos dos modelos.
- Se determinó que los modelos de finca evaluados continúan siendo rentables, incluso al utilizar altas tasas de descuento y asumir una baja efectividad de las obras de cosecha de agua para evitar daños climáticos.
- La implementación de las obras de cosecha de agua ha generado cambios importantes en los sistemas productivos, que se han traducido en beneficios percibidos por los productores. Entre los principales beneficios percibidos por los productores se encuentran el incremento del número de temporadas de siembra durante el año, incremento del área cultivada con cultivos anuales y perennes, diversificación de cultivos, aumentos en la productividad en los sistemas agrícolas y ganaderos, reducción del tiempo invertido para dar agua a los animales y percepción del aumento del valor de la tierra debido a la mayor disponibilidad de agua.



## Recomendaciones

---

- Se recomienda invertir en obras de cosecha de agua como una medida de adaptación al cambio climático dada la rentabilidad financiera determinada, especialmente para las personas productoras ubicadas en sitios donde se esperan mayores reducciones de la disponibilidad de agua.
- Las obras de cosecha de agua tienen el potencial de ser replicadas en otras regiones de Nicaragua (scaling-up), sobre todo para aquellas zonas en donde se esperan condiciones de sequía más severas y se debe priorizar a productores con unidades productivas pequeñas, principalmente con modelos de *Techo con Sistema Huerto/Patio* y *Escorrentía con Sistema Agroforestal*, que es donde se estima que las inversiones pueden tener más impacto.
- Las inversiones en cosecha de agua podrían ser opciones tecnológicas financiadas por el sector financiero formal, ya que son rentables, incluso considerando altas tasas de descuento (15%), particularmente bajo condiciones de menor disponibilidad de agua debido a la variabilidad climática. Esto sugiere que las obras de cosecha de agua son capaces de cubrir el costo del capital invertido, inclusive si se consideran préstamos bancarios con tasas de interés relativamente altas.



# Agradecimientos

Se agradece al *Proyecto Adaptación de la Agricultura al Cambio Climático a través de la Cosecha de Agua en Nicaragua* por llevar a cabo el levantamiento de la información en campo y brindar la información técnica necesaria para poder llevar a cabo este estudio. Asimismo, se da las gracias a la Cooperación Suiza en América Central (COSUDE) por dar el apoyo financiero para la implementación de este proyecto.



# Bibliografía

- Abdeladhim, MA; Sghaier, M; Fleskens, L; Ouessar, M. 2017. An integrated cost-benefit and livelihood approach for assessing the impact of water harvesting techniques (WHTs) on livelihoods: a case study in the Oum Zessar Watershed, South-East Tunisia. *Water and Land Security in Drylands: Response to Climate Change*, 303-316.
- Boardman, AE; Greenberg, DH; Vining, AR; Weimer, DL. 2011. *Cost-benefit analysis: concepts and practice*. Cambridge University Press.
- Bunclark, L; Gowing, J; Oughton, E; Ouattara, K; Ouoba, S; Benao, D. 2018. Understanding farmers' decisions on adaptation to climate change: Exploring adoption of water harvesting technologies in Burkina Faso. *Global Environmental Change* 48:243-254.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2005. *Metodología general de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública*. Santiago de Chile.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2015. *Climate Change in Central America: Potential Impacts and Public Policy Options*, (LC/MEX/L.1196/Rev.1), Mexico City, Mexico.
- Escarcha, JF; Lassa, JA; Zander, KK. 2018. Livestock under climate change: a systematic review of impacts and adaptation. *Climate* 6(3):54.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. *Adaptación al cambio climático en la agricultura: Directrices políticas*. Disponible en <http://www.fao.org/3/I8891ES/i8891es.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura ). 2018. *Cost-benefit analysis for climate change adaptation policies and investments in the agriculture sector*. Briefing note.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura); PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo). 2019. *Guía de análisis costo-beneficio. Aplicación para medidas de adaptación al cambio climático en el sector agropecuario en Uruguay*. Montevideo. 163 p.
- Goel, AK; Kumar, R. 2005. Economic analysis of water harvesting in a mountainous watershed in India. *Agricultural Water Management* 71(3):257-266.
- Gray, E; Ozment, S; Altamirano, JC; Feltran-Barbieri, R; Morales, G. 2019. *Green-Gray Assessment: how to assess the costs and benefits of green infrastructure for water supply systems*.
- Hendriks, J. 2018. El agua en la agricultura familiar campesina. *LEISA Revista de Agroecología* 34(3). Disponible en <https://www.biodiversidadla.org/Documentos/Revista-LEISA-vol.-34-3-El-agua-en-la-agricultura-familiar-campesina>
- IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático). 2000. *Climate Change 2000: IPCC Special report on emissions scenarios. A special report of IPCC Working Group III, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA (US), Environmental Molecular Sciences Laboratory (US)*.
- Kelemewerk Mekuria, Z., Kassegn Amede, A., & Endris Mekonnen, E. 2020. Adoption of rainwater harvesting and its impact on smallholder farmer livelihoods in Kutaber district, South Wollo Zone, Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 6(1), 1834910.
- Malik, RPS; Giordano, M; Sharma, V. 2014. Examining farm-level perceptions, costs, and benefits of small water harvesting structures in Dewas, Madhya Pradesh. *Agricultural Water Management* 131:204-211.

- Meeks, RC. 2017. Water works: The economic impact of water infrastructure. *Journal of Human Resources* 52(4):1119-1153.
- Morales S; Saldaña O; Ñamendy M; Reyes E; Gutiérrez M; Santander, G. 2022. Sistematización para valorar la contribución a la Biodiversidad de las Obras de Cosecha de Agua de Escorrentía y Manantial asociados a Producción Agroforestal y Silvopastoril. Proyecto Cosecha de Agua. CATIE, Nicaragua.
- Mutschinski, K., & Coles, N. A. 2023. Adoption of rainwater harvesting as a sustainable approach to improving the climate resilience of small landholders in Kenya. *World Water Policy*, 9(4), 913-928.
- Nagaraj, N; Pradhani, U; Chengappa, PG; Basavaraj, G; Kanwar, RS. 2011. Cost effectiveness of rainwater harvesting for groundwater recharge in micro-watersheds of Kolar District of India: the case study of Thotli micro-watershed. *Agricultural Economics Research Review* 24(2):217-224.
- Nardone, A; Ronchi, B; Lacetera, N; Ranieri, MS; Bernabucci, U. 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science* 130(1-3):57-69.
- Ndlovu, S., Mathe, B., Phiri, K., & Nyathi, D. 2020. Factoring water harvesting into climate change adaptation: Endogenous responses by smallholder farmers in Gwanda district, Zimbabwe. *Cogent Social Sciences*, 6(1), 1784652.
- Rojas-Downing, MM; Nejadhashemi, AP; Harrigan, T; Woznicki, SA. 2017. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management* 16:145-163.
- SEDEMA (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México). 2020. Cosechar la lluvia. Manual para instalar un sistema de captación pluvial en tu vivienda. Disponible en: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGCPCA/ManualCosecharLaLluvia.pdf>

## Anexo A. Definición de los tipos de obras analizadas

### Obras de cosecha de agua de esorrentía

Consisten en captar el agua de lluvia generada dentro o cerca del propio terreno del productor, para acopiarla en un reservorio y aprovecharla para los cultivos.



Fuente: Proyecto Cosecha de Agua

### Obras de cosecha de agua de manantiales

En estos sistemas, el agua se capta directamente de los manantiales que se localizan cerca del terreno del productor, mediante captaciones.



Fuente: Proyecto Cosecha de Agua

## Obras de cosecha de agua de techos

Consisten en captar agua de lluvia que cae directamente en los techos de las viviendas. El agua captada es generalmente utilizada para cultivos de patio, pero –dependiendo de su calidad– puede ser apta también para uso doméstico.



Fuente: Proyecto Cosecha de Agua

## Anexo B. Principales características del grupo meta evaluado

Variable	Todos los modelos de finca	Modelo de finca			
		Escorrentía con SAF	Escorrentía con Sistema Silvopastoril	Manantial con SAF	Techo con Sistema Huerto/Patio
Área (manzanas en promedio)	10,1	13,2	18,5	8,5	2,4
Fincas con título de propiedad (%)	75,7	81,0	75,8	75,9	70,8
Cultivos anuales (%)	85,5	88,1	90,9	100	70,8
Cultivos perennes (%)	28,9	21,4	12,1	44,8	37,5
Ganadería (%)	81,6	83,3	90,9	89,7	68,8
Agroindustria (%)	3,3	2,4	9,1	0,0	2,1
Productos del bosque (%)	4,6	2,4	9,1	3,4	4,2
# promedio de miembros del hogar	4,7	4,7	4,3	4,9	4,9
Número de fincas	152	42	33	29	48

## Anexo C. Resumen de costos e ingresos considerados por cada sistema productivo

<b>Sistema productivo: Cultivos anuales y cultivos perennes</b>	
<b>Costos</b>	<b>Ingresos</b>
Preparación del suelo Insumos y productos (semilla, fertilizantes, herbicidas, insecticidas, etc.) Equipo y herramientas (machetes, azadones, bombas de fumigar, etc.) Transporte (traslado de insumos al sitio de producción) Costos de cosecha y trillado (sacos, mecate, etc.) Costos de comercialización (transporte y almacenamiento) Mano de obra (permanente contratada, temporal contratada y familiar)	Ingresos por venta de producción y por autoconsumo
<b>Sistema productivo: Ganadería mayor y menor</b>	
<b>Costos</b>	<b>Ingresos</b>
Alimentación (concentrado, pacas, melaza, sales minerales, etc.) Productos y servicios veterinarios (vacunas, desparasitantes, vitaminas, etc.) Mantenimiento de pastos (fertilizante, riego, grapas, alambres y postes) Mantenimiento de infraestructura (sala de ordeño, corrales, comederos, etc.) Compra de animales (vacas, novillos, cerdos, aves de patio, etc.) Equipo y herramientas (machetes, azadones, bombas de fumigar, etc.) Gastos de trazabilidad Mano de obra (permanente contratada, temporal contratada y familiar)	Ingresos por venta de productos lácteos (leche, queso y cuajada) Ingreso por venta de animales (gallinas, cerdos, novillos, etc.) Autoconsumo (productos lácteos o ganadería menor)
<b>Sistema productivo: Agroindustria</b>	
<b>Costos</b>	<b>Ingresos</b>
Insumos y servicios utilizados (materia prima, químicos, electricidad, transporte, etc.) Equipos y medios de producción Mano de obra (permanente contratada, temporal contratada y familiar)	Ingresos por venta de productos agroindustriales
<b>Sistema productivo: Productos del bosque</b>	
<b>Costos</b>	<b>Ingresos</b>
Mano de obra (permanente contratada, temporal contratada y familiar)	Ingresos por venta de productos del bosque (leña, madera, plantas medicinales, etc.)

## Anexo D. Descripción de los impactos climáticos considerados en los sistemas agrícolas y pecuarios en los escenarios propuestos

### a. Impactos potenciales considerados en los sistemas agrícolas

Para poder considerar los impactos potenciales de la variabilidad climática sobre los cultivos agrícolas a largo plazo, se construyeron diferentes escenarios y se utilizó como base el estudio realizado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL 2015). En dicho estudio se estiman los impactos potenciales del cambio climático sobre el sector agrícola para los diferentes países de Centroamérica, incluyendo Nicaragua. Estos impactos se miden como reducciones esperadas en el rendimiento de los cultivos y bajo dos escenarios de emisiones de gases de efecto de invernadero propuestos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (CEPAL 2015):

- Escenario B2: Es un escenario menos pesimista y proyecta una reducción de 17% de la precipitación al año 2100 en Nicaragua.
- Escenario A2: Es un escenario más pesimista y proyecta una reducción de 35% de la precipitación al año 2100 en Nicaragua.

Los dos escenarios de cambio climático utilizados por CEPAL (2015) proyectan reducciones en las precipitaciones para Nicaragua, por lo que los impactos potenciales estimados se deben principalmente a reducciones esperadas en los rendimientos de los cultivos agrícolas por eventos de sequías. A continuación, se explican detalles de los escenarios B2 y A2, así como los impactos considerados.

### Descripción de los escenarios de cambio climático utilizados por CEPAL (2015) para estimar los impactos potenciales sobre la agricultura en Nicaragua

Escenario B2	Escenario A2
▶ Es un escenario menos pesimista, donde se esperan menos impactos.	▶ Es un escenario más pesimista, donde se esperan impactos más severos.
▶ Proyecta un mundo en el que predominan las soluciones locales para la sostenibilidad económica, social, medioambiental, con un nivel de desarrollo económico intermedio y un cambio de tecnología.	▶ Sugiere un mundo muy heterogéneo, con una población mundial en continuo crecimiento. El crecimiento económico por habitante, así como el cambio tecnológico, están más fragmentados y son más lentos.
▶ Estima que a finales de siglo la temperatura regional aumentará entre 2,1 y 3,3 °C con respecto al período 1980-2000.	▶ Estima que a finales de siglo la temperatura regional aumentará entre 3,7 y 4,6 °C.
▶ Este escenario proyecta una reducción de 17% de la precipitación al año 2100 en Nicaragua.	▶ Este escenario proyecta una reducción de 35% de la precipitación al año 2100 en Nicaragua.

**Impactos de cambio climático sobre los cultivos de maíz y frijol estimados por CEPAL (2015) para Nicaragua e impactos promedio utilizados en este estudio para cultivos anuales (impactos expresados como porcentajes de reducción en la productividad)**

Producto	2020	2030	2050
<b>Escenario A2</b>			
Maíz	-6,1	-11,65	-13,62
Frijol	-5,52	-12,01	-11,68
<b>Promedio utilizado para cultivos anuales</b>	<b>-5,81</b>	<b>-11,83</b>	<b>-12,65</b>
<b>Escenario B2</b>			
Maíz	-11,06	-10,58	-20,74
Frijol	-14,45	-12,8	-22,74
<b>Promedio utilizado para cultivos anuales</b>	<b>-12,755</b>	<b>-11,69</b>	<b>-21,74</b>

**b. Impactos potenciales considerados en la actividad ganadera**

El cambio climático es una amenaza para la producción ganadera por su impacto en la calidad de los pastos y forrajes, la disponibilidad de agua, la producción animal y de leche, las enfermedades del ganado y la reproducción animal debido al calor y la ocurrencia de sequías principalmente (Rojas-Downing *et al.* 2017). Cambios en los patrones de precipitación pueden reducir los rendimientos de los pastos y forrajes, lo que conlleva a pérdidas económicas que suelen estar relacionadas con un rendimiento animal deficiente por causa de la escasez de alimentos provocada por las sequías (Escarcha *et al.* 2018).

Dada la escasa evidencia existente sobre la cuantificación de impactos potenciales del cambio climático sobre la producción ganadera, el presente estudio considera únicamente los impactos potenciales del cambio climático sobre la producción de leche. Para eso, se utilizan las estimaciones realizadas por Nardone *et al.* (2010), que predicen una reducción de entre 1,2%-2,7% en la productividad de los sistemas de vacas lecheras para el 2030 y una reducción de entre 5,1%-6,8% al 2090. Los valores inferiores (1,2% al 2030 y 5,1% al 2090) de estos rangos fueron utilizados para el escenario climático optimista y los valores superiores (2,7% al 2030 y 6,8% al 2090) fueron usados para el escenario climático pesimista.

## Anexo E. Potenciales beneficios socioambientales proporcionados por obras de cosecha de agua

Beneficio	Descripción
<b>Incremento del valor de la propiedad</b>	Una mejor disponibilidad de agua puede incrementar el valor de la tierra al mejorar su capacidad productiva. Según el presente estudio, 100% de los productores evaluados perciben que el valor de sus fincas ha aumentado debido a que ahora tienen una mejor disponibilidad de agua.
<b>Reducción de la presión e uso de los cuerpos de agua subterránea</b>	Al ser una alternativa de abastecimiento, la cosecha de agua reduce la presión de uso de los acuíferos (SEDEMA 2020). Incluso, podría contribuir, aunque no significativamente, a la recarga de las aguas subterráneas (Guerra 2022).
<b>Posible reducción de riesgo de anegamientos o inundaciones</b>	Dependiendo de las condiciones del terreno (topografía, tipo de suelo y geología, entre otros), las obras de cosecha de agua pueden disminuir los escurrimientos a drenajes en sitios específicos, lo que podría ayudar con la reducción de anegamientos o inundaciones (SEDEMA 2020).
<b>Mejora de la concientización social sobre el uso eficiente del agua</b>	Al pasar de una situación con problemas de disponibilidad de agua a la situación en la que comienzan a percibir los beneficios del agua cosechada, los usuarios tienen más incentivos para hacer un uso más eficiente del recurso hídrico (SEDEMA 2020).
<b>Incremento de la humedad del suelo en el ecosistema local</b>	Algunos tipos de obras de cosecha de agua (como las que forman pequeñas lagunas) pueden incrementar la humedad del suelo y subsuelo localizadamente. Esta retención de agua permite incrementar y mantener la humedad para el ecosistema local, así como mejorar la cobertura vegetal para fines ambientales (Hendriks 2018).
<b>Potenciales beneficios en la salud</b>	En el caso de la cosecha de agua para consumo humano, se podría esperar que en sitios donde las fuentes de agua alternas son escasas y de mala calidad, la cosecha de agua podría proveer beneficios en la salud al evitar enfermedades y mejorar el nivel de higiene de las personas (SEDEMA 2020).
<b>Posibles beneficios para la vida silvestre</b>	El Proyecto Cosecha de Agua realizó un estudio que muestra una fuerte conexión entre el incremento de la biodiversidad y las obras, ya que el agua contenida en los reservorios es utilizada por aves acuáticas y playeras, anfibios, mamíferos y reptiles, ya sea para beber para su ciclo reproductivo o alimentarse de otros animales (Morales <i>et al.</i> 2022).

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).



Solutions for Inclusive Green Development  
Soluciones para el Desarrollo Verde Inclusivo



Tel. + (506) 2558-2000



[comunica@catie.ac.cr](mailto:comunica@catie.ac.cr)



Sede Central, CATIE  
Cartago, Turrialba, 30501  
Costa Rica

ISBN: 978-9977-57-813-2



9 789977 578132