

Artículo de Investigación

Evaluación del impacto socio ambiental del reservorio de siembra pluvial Yanarumi, cantón Guano

Evaluation of the socio-environmental impact of the Yanarumi rainwater seeding reservoir, Guano canton

Julia Calahorrano^{id}, Erika Pérez^{id}, Gabriela Yuquilema^{id}

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 060108;
erikatpema@gmail.com

*Correspondencia: jcalahorrano@unach.edu.ec

Citación: Calahorrano, J., Pérez, E., & Yuquilema, G. (2021). Evaluación del Impacto Socio Ambiental del reservorio de siembra pluvial Yanarumi, cantón Guano. Novasinerгия. 4(2). 127-139. <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.08>

Recibido: 01 diciembre 2020

Aceptado: 03 junio 2021

Publicación: 01 diciembre 2021

Novasinerгия
ISSN: 2631-2654

Resumen: El objetivo de esta investigación fue determinar el impacto ambiental y social de la técnica ancestral de siembra de lluvia, mediante el análisis del sistema de recolecta pluvial Yanarumi, ubicado en el páramo de San Carlos, parroquia Valparaíso, cantón Guano, provincia de Chimborazo, Ecuador. El sistema Yanarumi, consiste en una excavación, sin recubrimiento, que recoge la precipitación por infiltración natural y la transporta hacia una vertiente antes de su uso; desde el año 2013, el sistema abastece de agua de riego a la población del sector. Para evaluar cualitativa y cuantitativamente el impacto ambiental, se utilizó la metodología de las matrices causa-efecto y de momento, y para evaluar el impacto social, la metodología del retorno social de la inversión, SROI. Los resultados obtenidos mostraron, impactos negativos en la etapa de construcción del sistema, pero positivos en la etapa de operación; respecto al SROI, resultó en una relación positiva beneficio/costo de 4.26 USD. Estos hallazgos sugieren: (1) estos sistemas de recolección de agua son amigables con el ambiente y (2) la conveniencia de implementar sistemas ancestrales de aprovechamiento del agua en áreas con deficiencia de agua.

Palabras Clave: Cosecha de agua, escasez hídrica, impacto ambiental, impacto social, páramo, recogida de aguas pluviales, SROI, técnica ancestral.

Abstract: The objective of this research was to determine the environmental and social impact of the ancestral technique of rainwater harvesting through the analysis of the Yanarumi rainwater collection system, located in the San Carlos páramo, Valparaíso parish, Guano canton, Chimborazo province, Ecuador. The Yanarumi system consists of an uncovered excavation that collects precipitation by natural infiltration and transports it to spring before its use; since 2013, the system has been supplying irrigation water to the sector's population. The cause-effect and the moment matrix methodology were used to evaluate the environmental impact (quantitative and qualitative). In addition, the social return on investment (SROI) methodology was used to evaluate the social impact. The results obtained showed negative impacts in the construction stage of the system but positive in the operation stage; regarding the SROI, it resulted in a positive benefit/cost ratio of 4.26 USD. These findings suggest: (1) these water harvesting systems are environmentally friendly and (2) the convenience of implementing ancestral water use systems in water-deficient areas.

Keywords: ancestral technique, environmental impact, water harvesting, water scarcity, páramo, rainwater harvesting, social impact, SROI.



Copyright: 2021 derechos otorgados por los autores a Novasinerгия.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC). (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introducción

La regulación hidrológica y el almacenamiento de agua son funciones de vital importancia que se llevan a cabo gracias los páramos (Buytaer *et al.*, 2006; Araujo *et al.*, 2014). Los páramos, además, ejercen función de paisaje natural determinado por la relación entre el ecosistema y las comunidades que se benefician de sus servicios (Camacho, 2014). En la región Sierra del Ecuador, el riego es abastecido casi en su totalidad por el agua de los páramos (Mena Vásconez *et al.*, 2011). Los suelos de los páramos andinos gracias a su alta capacidad de retención de agua, son los responsables de la regulación hídrica del ecosistema (Buytaert *et al.*, 2006; Harden, 2006; Célleri & Feyen, 2009; Murtinho *et al.*, 2013). En años recientes, los páramos andinos se han visto afectados por actividades de sobrepastoreo y expansión de la frontera agrícola (Viviroli *et al.*, 2004; Ortiz *et al.*, 2005; Finer *et al.*, 2008; Araujo *et al.*, 2014). A pesar de la compleja geología y topografía, los suelos del páramo son bastante homogéneos (Buytaer *et al.*, 2006). El carbón orgánico típicamente está alrededor de 0.1 g kg⁻¹ (Poulenard, Podwojewski, & Herbillion, 2003); la densidad aparente seca está fuertemente correlacionada con el contenido de carbón orgánico, y sigue una tendencia similar, con valores entre 150 kg m⁻³, en condiciones húmedas y suelos meteorizados, hasta cerca de 900 kg m⁻³, en suelos jóvenes y regiones secas (Podwojewski, Poulenard, Zambrana, & Hofstede, 2006). Como resultado de la baja densidad aparente y de estructura abierta y porosa, los suelos del páramo tienen alta conductividad hidráulica y alta capacidad de retención de agua (Buytaer, *et al.*, 2006), por tanto, cuando el suelo del páramo es degradado o cambia su uso, consecuentemente se alteran tanto la capacidad de infiltración como la de almacenamiento del agua. A esto se suma la alta influencia de la variabilidad climática en la región, que interviene directamente sobre la cantidad de agua que almacena el ecosistema (Murtinho *et al.*, 2013). La población de la parroquia Valparaíso en el cantón Guano, provincia de Chimborazo, Ecuador, es altamente dependiente, tanto para consumo humano como para riego, del agua del páramo de San Carlos, localizado a una altitud de 3582 m s. n. m, donde la precipitación anual oscila entre los 750 mm a 1000 mm. La demanda de agua para riego, contrastada con la baja oferta en el sector, generó la necesidad de construir el sistema Yanarumi, que capta el agua pluvial y de niebla, en un reservorio de 25x25x4.5 m³, sin recubrimiento, excavado en el suelo, para posteriormente transportarla por infiltración natural, hacia los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano y riego (Sánchez, 2019).

En zonas con déficit de agua, los sistemas ancestrales de siembra de agua, pueden ser considerados una medida de adaptación al cambio climático y una manera de mantener los valores culturales y sociales, en las comunidades andinas del Ecuador. La intervención antrópica en un ecosistema frágil como el páramo andino, requiere ser investigada para determinar tanto los impactos ambientales como los impactos sociales, resultantes de una actividad; por esta razón, la presente investigación cuantifica los impactos socio-ambientales del sistema de siembra de agua pluvial de Yanarumi, mediante las metodologías de Evaluación del Impacto Ambiental y del Retorno Social de la Inversión.

2. Metodología

Problemas asociados a la erosión del suelo, movimientos en masa, sobreexplotación, ampliación de la frontera agrícola, construcción de infraestructuras, entre otras intervenciones antrópicas, pueden romper el frágil equilibrio del ecosistema del páramo. Por esta razón, cualquier intervención debe ser evaluada desde el punto de vista ambiental y social, para prevenir impactos irreversibles al ecosistema. Con el fin de determinar los factores ambientales afectados por la implementación del sistema de siembra pluvial, en esta investigación, se utilizó la metodología de "Evaluación de Impactos Ambientales (EIA)", ampliamente utilizada en el mundo; mientras que

para conocer los beneficios que aporta a los usuarios que habitan en el área de influencia, se aplicó la metodología del “Retorno Social de la Inversión (SROI)”. Las ventajas de estas herramientas son, su fácil aplicación, se ajustan a un amplio tipo de proyectos, y se complementan entre ellas. El objetivo principal de este estudio fue conocer si la construcción y operación del sistema de siembra pluvial Yanarumi, ha producido impactos negativos sobre los factores suelo, agua, aire, flora y fauna, del ecosistema y si hay aporte social para los pobladores de la parroquia Valparaíso. La Figura 1, presenta el flujograma metodológico seguido en el presente estudio.

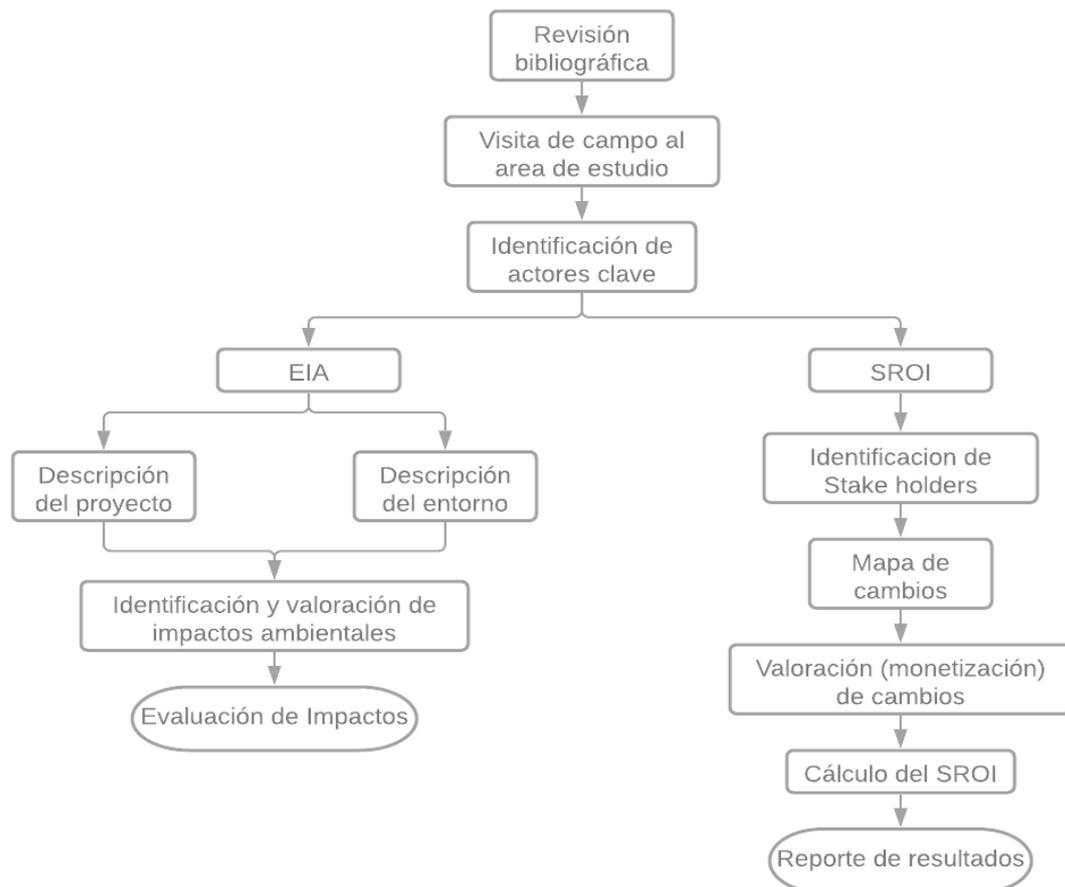


Figura 1: Diagrama metodológico.

2.1. Área de estudio

El sistema de siembra de agua pluvial Yanarumi, se encuentra ubicado en la parroquia Valparaíso, cantón Guano, provincia de Chimborazo, a una altitud de 3532 m s. n. m. y coordenadas 765186 de latitud y 9828959 de longitud. Las áreas de influencia directa e indirecta, se delimitó de 1 km y 7 km, a la redonda, respectivamente, en función de la ubicación de los usuarios del sistema. La figura 2, muestra la ubicación del sistema pluvial Yanarumi.

Según el MAE (2012), el ecosistema predominante en el área es un herbazal de páramo, cuya temperatura varía de 4 a 12°C, con precipitación anual de 750 a 1000 mm y suelo tipo Andosol, complejo Vitric Melanocryands.

La flora predominante es el zigze (*Cortaderia nítida*) y pajonal (*Calamagrostis intermedia*), en cuanto a la fauna se destacan el conejo de monte (*Oryctolagus Cuniculus*), mirlo (*Turdus chiguanco*) y huirac churo (*Phrutilus chrysopeplus*).

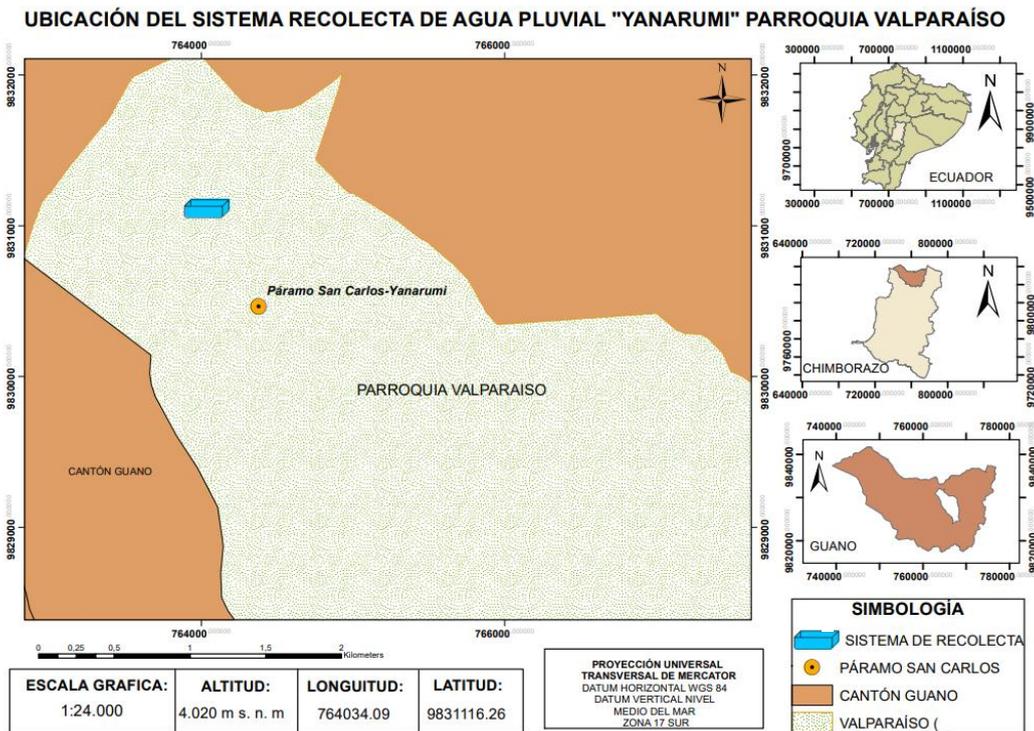


Figura 2: Ubicación del sistema pluvial Yanarumi, 2020.

Según el MAE (2012), el ecosistema predominante en el área es un herbazal de páramo, cuya temperatura varía de 4 a 12°C, con precipitación anual de 750 a 1000 mm y suelo tipo Andosol, complejo Vitric Melanocryands.

La flora predominante es el zigze (*Cortaderia nítida*) y pajonal (*Calamagrostis intermedia*), en cuanto a la fauna se destacan el conejo de monte (*Oryctolagus Cuniculus*), mirlo (*Turdus chiguanco*) y huirac churo (*Phrutilus chrysopeplus*).

El sistema Yanarumi constituye una excavación cuyas dimensiones se presentan en la Figura 3 con un área de 1607 m². No posee recubrimiento por lo que no existe impermeabilización y por lo tanto recolecta agua pluvial y niebla, para luego transportarla por escorrentía e infiltración natural, a una zona de captación, localizada en la parte baja del reservorio. Su capacidad de almacenamiento es de 2587.5 m³.

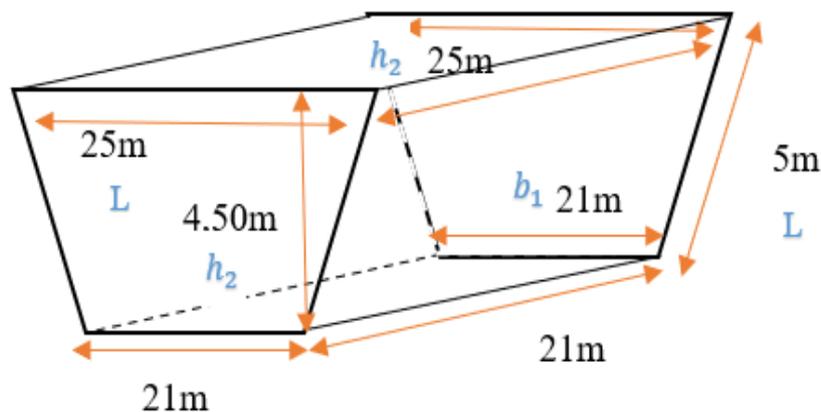


Figura 3: Dimensiones del sistema de recolecta pluvial Yanarumi.

2.2. *Diseño del estudio*

En una primera fase, se realizó una revisión bibliográfica del tema, de diversas fuentes de información. En una segunda fase, se realizaron encuestas y entrevistas a los actores clave identificados, en los municipios y organizaciones sociales del área de estudio.

Para evaluar los impactos ambientales, inicialmente se efectuaron visitas al sitio, para mediante una lista de chequeo simple, realizar una evaluación preliminar o llamar la atención sobre impactos importantes (Soriano, Ruiz, & Ruiz, 2015), seguidamente, se identificaron las relaciones significativas a través de la matriz causa-efecto, como una primera aproximación (Conesa Fernandez - Vitora, 2010), para posteriormente aplicar la matriz de momento (MAE, 2012), una versión de la matriz de Leopold (1971) , desarrollada por la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. Finalmente, para evaluar el impacto social se aplicó la metodología del retorno social de la inversión (SROI), que permite comprender, medir y comunicar valor económico, y el beneficio financiero -social y medioambiental, generado por una actividad o proyecto, en relación a los recursos invertidos (Millar & Hall, 2012)

2.3. *Evaluación de impacto ambiental*

Para identificar los procesos del sistema Yanarumi, con las entradas (consumo de materiales) y salidas (generación de residuos, vertidos de agua y emisiones), El proyecto fue descrito mediante un diagrama de bloques y aplicando una lista de chequeo, se descartaron los impactos supuestos de los actuales, presentes en el área de estudio.

Se aplicó una matriz causa-efecto para valorar los impactos tanto en magnitud como en importancia, colocando en la primera columna los factores ambientales que podían ser afectados y en las demás columnas las actividades o acciones que se realizaron en el proyecto, resultando en un valor numérico, el cual fue trasladado y procesado con la matriz de momento. La tabla 1, muestra el modelo de matriz causa-efecto, a aplicar.

Tabla 1: Matriz Causa-Efecto

Impacto ambiental/Acciones del proyecto		Magnitud del impacto en las fases del proyecto
Factor	Impacto	Actividades Magnitud/ Importancia

Mediante la interrelación factor-acción, se prosiguió con la Matriz de Momento, que valora la importancia de los factores ante la magnitud del impacto. La tabla 2, presenta los componentes y factores, que pudieron ser alterados por el proyecto.

Se calificó cada impacto en carácter, intensidad, extensión, reversibilidad, probabilidad y persistencia, y se aplicó la formula expresada en la ecuación 1:

$$M=C*Pr*(Pe+R+I+E) \quad (1)$$

Donde, C= carácter, I= Intensidad, E= extensión, R= reversibilidad, M= mitigabilidad, Pr= probabilidad, Pe= persistencia.

Luego de valorar el impacto se calificó el grado de significancia positiva y negativa, y que se muestra en la Tabla 3, pero considerando solo aquellos significativos y muy significativos.

Tabla 2: Factores Ambientales seleccionados

Suelo	Erosionabilidad
	Compactación
	Estabilidad
	Alteración de características
	Alteración de propiedades
	Modificación de la productividad
	Cambio de uso
Agua	Variación de caudal
	Alteración de calidad
	Alteración de agua superficiales
	Alteración de agua subterránea
Aire	Modificación del ciclo hidrológico
	Emisión de material particulado
	Alteración de la calidad
Flora	Alteración en el clima
	Incremento en niveles de ruido y vibraciones
	Remoción de cobertura vegetal
Fauna	Inserción de especies
	Disminución de la diversidad y abundancia
Paisaje	Migración de especies
	Disminución de la calidad visual
Económico	Modificación de la calidad de fondo escénico
	Aumento de la fragilidad paisajística
	Economía
Social	Generación de empleo
	Negocios comunales
Ecosistema	Estilo de vida
	Salud y Seguridad
	Alteración de hábitats
	Aumento de la vulnerabilidad del ecosistema
	Pérdida de biodiversidad

Tabla 3: Rangos de significancia del Impacto

81-100	Muy significativo
61-80	Significativo
41-60	Medianamente significativo
21-40	Poco significativo
0-20	No significativo
(-) 1-20	(-) No significativo
(-) 21-40	(-) Poco significativo
(-) 41-60	(-) Medianamente significativo
(-) 61-80	(-) Significativo
(-) 81-100	(-) Muy significativo

2.4. Evaluación de Impacto Social

Para la evaluación de impacto social se utilizó la metodología del retorno social de la inversión la cual permite determinar los valores extra financieros (valor social), generados por la inversión realizada para implementar el sistema de recolecta de agua pluvial Yanarumi. Se inició con la identificación de los actores involucrado: Población de Valparaíso, GADPR de Valparaíso y Fundación Ecosur, Riobamba, quienes conocían el alcance del proyecto. Seguidamente, con los

cambios percibidos por los actores, se creó un mapa de cambios sociales y económicos, que fueron valorados cuantitativa y cualitativamente, a través de indicadores. Se determinó la duración de los cambios desde la implementación del sistema, en el año 2013 hasta la actualidad. Para el cálculo del SROI se consideró los Inputs (inversiones), Outputs (resultados) y Outcomes (cambios). Se fijaron proxies financieros para valorar los cambios en términos monetarios. Se asignaron valores de: peso muerto (sin sistema), atribución (cuanto fue causado por la contribución de otras personas u organizaciones), decrecimiento (probabilidad que el outcome sea menor o igual con el tiempo), y el Impacto (outcome - peso muerto- atribución).

Finalmente, se proyectaron los valores de reducción del impacto para 5 años futuros y se calculó el Valor Actual Total (VAT), Valor Actual Neto (VAN) y Retorno Social \$ por \$ (SROI), mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{VAT} = \Sigma \text{valores actuales de cada año} \quad (2)$$

$$\text{VAN} = \text{valor actual total} - \Sigma \text{valores de inputs} \quad (3)$$

$$\text{SROI} = \text{valor actual total} / \Sigma \text{valores de inputs} \quad (4)$$

3. Resultados

3.1 Impacto Ambiental

La tabla 4 y figura 4, presentan los niveles del impacto resultantes de la aplicación de la Matriz de Momento, superiores a +60 e inferiores a -60, para las fases de construcción y operación.

Tabla 4: Matriz de Momento Fase de Construcción y Operación.

			Construcción	Operación
FACTOR FÍSICO	Suelo	1 Erosionabilidad	-66.4	-34.5
		2 Compactación	-95.6	-3
		3 Estabilidad	-28.8	-2.5
		4 Alteración de características	-40	-31
		5 Alteración de propiedades	-59.4	-14.1
	6 Aumento de productividad en las áreas de regadío	91.9	98	
	7 Cambio de uso	-97.9	-85.5	
	Agua	8 Variación de caudal	-3.8	-35
		9 Alteración de agua superficiales	-7.8	-38.5
		10 Alteración de agua subterránea	-7.8	-7.6
		11 Modificación del ciclo hidrológico	-9	-6.5
Aire	12 Emisión de material particulado	-89.5	-2	
	13 Incremento en niveles de ruido y vibraciones	-95.7	-1.5	
	14 Remoción de cobertura vegetal	-98.4	-1.5	
FACTOR BIOLÓGICO	Flora	15 Disminución de la diversidad y abundancia	-19.2	-1.5
		16 Disminución de la calidad visual	-82.2	-42.5
	Paisaje	17 Modificación de la calidad de fondo escénico	-97.2	-45.5
		18 Aumento de la fragilidad paisajística	-33.8	-3.5
FACTOR SOCIO ECONÓMICO	Económico	19 Mejora en la economía	54.6	98
		20 Aumento en la generación de empleo	18.1	84.5
	Social	21 Incremento de negocios comunales	14.1	64
OTROS	Social	22 Mejora de la seguridad alimentaria	18.1	94.5
		23 Alteración de hábitats	-11	-2
	Ecosistemas	24 Aumento de la vulnerabilidad del ecosistema	-9	-2
		25 Pérdida de biodiversidad	-19.4	-1.5

*Marcados en rojo los impactos negativos significativos y en verde los impactos positivos significativos

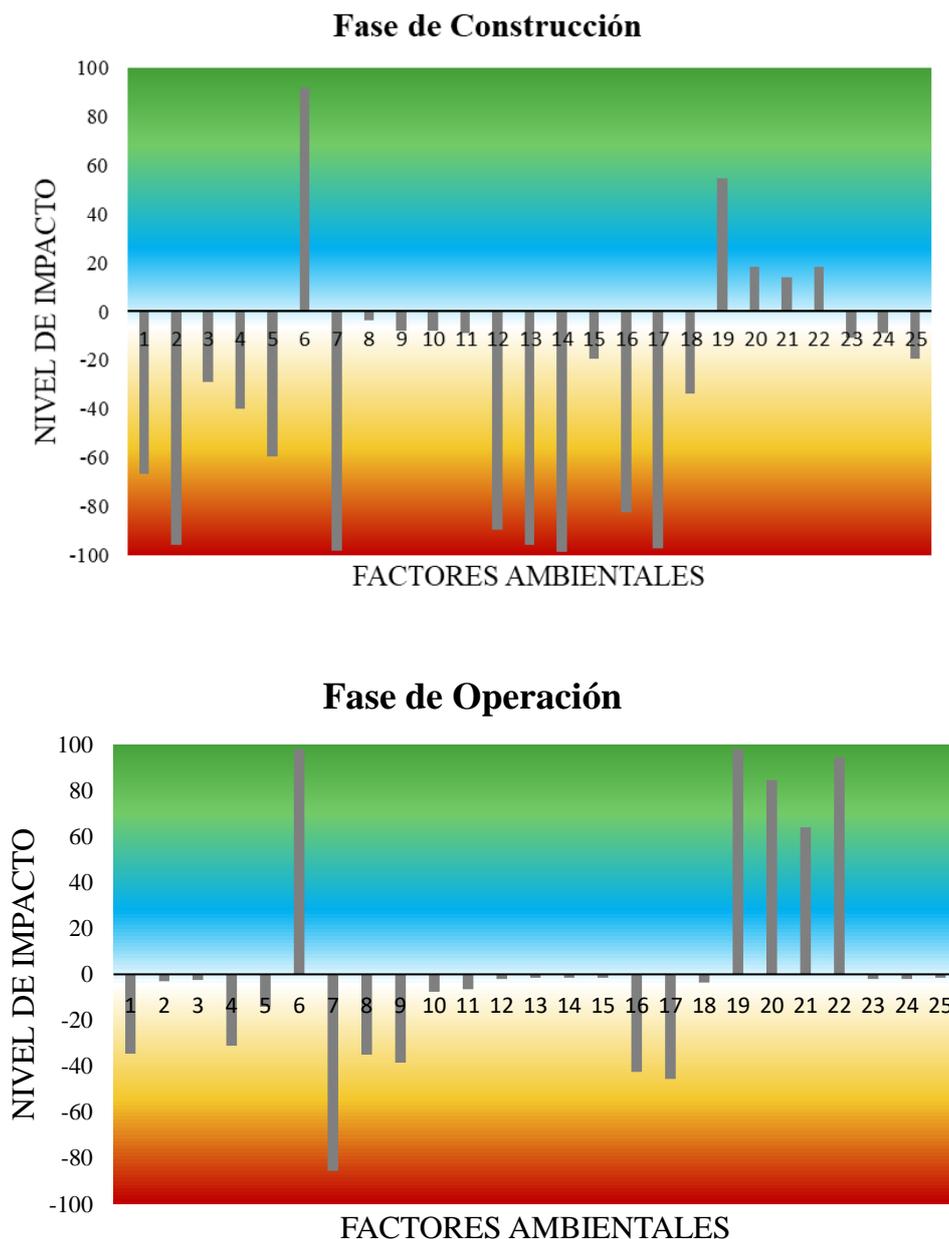


Figura 4: Valoración del impacto en las fases de construcción y operación.

Se puede observar que los mayores impactos negativos de la implementación del sistema Yanarumi, ocurrió en la fase de construcción, siendo el factor suelo, aire, flora y paisaje los más afectados. Por otro lado, los mayores impactos positivos se observaron en la etapa de operación del sistema, en el factor económico-social, por el incremento en la productividad del suelo, que mejora la seguridad alimentaria y economía de la población, que se sirve del sistema.

3.2. Impacto Social

El retorno social de la inversión mostró una relación 4:1, lo que significa que por cada USD 1.00 invertido se genera en valor social USD 4.26, observable en el aumento del recurso hídrico disponible para el regadío de parcelas agrícolas, ahorro de costes por compra de agua de tanqueros, aporte a la seguridad alimentaria local, generación de ingresos por desarrollo y diversificación de la agricultura. Debido a que los productos cosechados son comprados en el sitio de origen, la reducción

del costo del transporte fue visiblemente notable, al igual que el tiempo empleado para esta actividad.

Tabla 5: Retorno Social de la Inversión (USD).

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Valor Actual	121815.81	96705.81	86885.05	80266.28	74611.14
VAT					460284.08
VAN					352195.16
SROI \$ por \$					4.26

4. Discusión

La siembra de agua pluvial permite no solo atenuar los efectos del cambio climático, pero también reducir la desigualdad en la distribución del recurso hídrico, y prevenir mayor presión sobre reservas de agua superficiales y subterráneas.

Impacto en el recurso suelo

En el recurso suelo el impacto fue negativo sobre diferentes variables como cambio de uso con -97.9; compactación -95.6 y erosionabilidad con -66.4, esto se dio en la etapa de construcción del sistema Yanarumi, debido a la apertura de vía vehicular, para el transporte de materiales, que contribuyó a la erosión del suelo por el retiro de la cobertura vegetal se acentúa el desprendimiento de suelo por acción de las gotas de lluvia lo que aumenta el desgaste provocado por la disminuida cohesión del suelo de páramo. Con respecto a la compactación del suelo, fue consecuencia del transporte de maquinaria que se utilizó para la excavación del reservorio, además del tránsito de vehículos locales, deterioran los agregados estructurales, provocando que se disminuya la porosidad del suelo. El cambio en el uso es el resultado de la vegetación que fue removida en el área del paso vehicular.

El agua recolectada aumenta la disponibilidad del recurso para el riego de cultivos, lo que resulta en incremento en la productividad causando un impacto positivo de +91.9. En cuanto a la fase de operación del sistema de recolección de agua pluvial el aumento de productividad en las áreas de regadío fue positivo con 98.0, ya que el principal problema se limitaba a la cantidad disponible del recurso agua que no permitía tener una variedad de productos; con el incremento de agua se ha logrado manejar de una mejor manera el estrés hídrico de los suelos en la localidad y actualmente, se diversificado algunos cultivos, como es el caso de la frutilla, que antes del 2013, no era factible su siembra. El cambio de uso tuvo un impacto significativamente negativo de -85.5, debido a que al incrementar la cantidad de agua para regadío se expandió las áreas de uso agrícola, así como también se amplió las actividades ganaderas a pequeña escala.

Impacto en el recurso aire:

Para el recurso aire el impacto fue significativamente negativo en todas sus variables, la emisión de material particulado con -89.5 y el incremento de ruido con -95.7, a consecuencia de la apertura de vías, remoción del suelo, cortes y terraplenes. Debido a que se necesitó la operación de maquinaria pesada para la construcción del paso vehicular y el sistema de captación, lo que incrementó los niveles sonoros y vibraciones en el área, durante la construcción del sistema. Además, se emitió a la atmósfera, gases de escape de los motores de combustión interna, de la maquinaria, y sobre la vegetación se depositó material particulado, generado por el tránsito vehicular afectando de forma directa y de forma indirecta al recurso acuático superficial, con sólidos en suspensión.

Impacto en el recurso flora:

La remoción de la cobertura vegetal del suelo, en toda la extensión del paso vehicular, generó un impacto negativo significativo de -98.4, en la etapa de construcción, un suelo desnudo es muy susceptible a la erosión, por acción hídrica o eólica. La capa vegetal no será posible recuperar debido a que el paso vehicular se realizó para uso de manera permanente. En el área de construcción del sistema, la cobertura vegetal fue removida mientras se realizó el corte y remoción del suelo, pero al no poseer materiales impermeabilizantes en su superficie se ha restituido esta capa en esta área.

Impacto en el recurso paisaje:

Este factor ambiental tuvo en sus dos variables, un impacto significativamente negativo, disminuyendo su calidad visual con -82.2 y en la modificación de la calidad del fondo escénico con -97.2; debido principalmente a la apertura del paso vehicular permanente. En el área del reservorio, el impacto visual es menor, debido a que esta actividad fue a corto plazo y la cubierta del sistema se restituyó a la vegetación original.

Factor Económico:

El impacto económico fue positivo con +54.6, por la apertura del paso vehicular, que mejora no solo la calidad de vida de la población, pero también de la economía, facilitando la comercialización de productos de cultivo agrícola, reduciendo los costes de producción, transporte, y tiempo de acceso a los mercados locales. La generación de fuentes de empleo es de +84.5, siendo positivo, puesto a que la agricultura tiene un papel crucial en la economía de la parroquia, necesitando contratar mayor mano de obra, resultando en menores índices pobreza de la población. En lo que respecta al componente social, la incidencia del proyecto es positiva pues ha contribuido de manera significativa a mejorar la productividad y por ende la situación económica de la población.

Factor Social:

La evaluación social en la población servida por el sistema Yanarumi, determinó una mejora en la seguridad alimentaria local, con +94.5, debido al incremento en la disponibilidad de agua para riego de parcelas agrícolas en la parroquia, potenciando el desarrollo de la agricultura local. Además, posibilitó la diversificación de productos de cultivo en calidad y cantidad y su comercialización.

Esto se confirma con la aplicación de la metodología SROI, que muestra que el rédito generado por el desarrollo de la actividad agrícola de la población ha mejorado su nivel y calidad de vida. Así también en el tema ambiental se impulsó a proyectos que promueven la preservación del páramo mediante la compra de terrenos, evitando la expansión de la frontera agrícola.

5 Conclusiones

Se ha determinado que la recolecta de agua pluvial mediante la construcción del reservorio Yanarumi, en el páramo de San Carlos, ha generado una afectación en el suelo, aire y paisaje, de carácter negativo en la etapa de construcción, debido a los trabajos de apertura de la vía necesarios para la construcción del sistema. Sin embargo, desde su entrada en operación, se ha observado aumento de productividad e ingresos económicos para los beneficiarios, derivando en un impacto ambiental positivo, en virtud de la disponibilidad de agua para riego, posibilitando la diversificación

de cultivos, y mejoras tanto en la economía de la población como en su seguridad alimentaria y calidad de vida.

Debido a que el sistema de recolección es una excavación que no posee ningún tipo de recubrimiento artificial, excepto la vegetación natural del páramo, los factores ambientales del entorno no han sufrido ningún tipo de afectación significativa de carácter negativo, por lo que se puede considerar como una infraestructura amigable con el ambiente.

Los sistemas ancestrales de siembra de agua, tales como el reservorio de Yanarumi, pueden ser considerados una medida de adaptación al cambio climático en zonas donde los déficits de agua son elevados, y una manera de mantener los valores culturales y sociales de las comunidades andinas del Ecuador.

La sostenibilidad de este tipo de sistemas puede ser posible mediante iniciativas de preservación y conservación del páramo, bajo modalidades de compra. En este caso, la parroquia Valparaíso, adquirió 270 hectáreas para este fin. Por su parte, la Fundación ECOSUR, una organización sin fines de lucro, ha apoyado a la parroquia con la implementación de una estación meteorológica y de comunicación que permita disponer de datos hidrometeorológicos útiles para mejorar la gestión técnica el sistema.

Por otra parte, el impacto social del sistema demostró que la inversión genera retornos sociales y ambientales en una proporción de 4:1, resultando en un ahorro de recursos que antes se destinaban a adquirir agua para riego. Los beneficios económicos se han traducido en una diversificación de los productos agrícolas de la zona, la garantía de la seguridad alimentaria y consecuentemente un incremento en la calidad de vida de la población.

La tasa de retorno social demuestra que este tipo de proyectos son viables técnica, social, económica y ambientalmente, por lo tanto, se sugiere implementar este tipo de sistemas en zonas con similares características, contribuyendo de esta manera a una gestión integrada e integral del recurso hídrico.

Para estudios futuros, se recomienda evaluar la resistividad eléctrica del suelo relacionada a la dinámica de la humedad, y su efecto en los volúmenes de agua subterránea, de manera que se pueda determinar si innovaciones en la ingeniería del sistema como la implementación de tanques de almacenamiento subterráneo permitirían captar mayores volúmenes hídricos.

Conflictos de interés

Las autoras declaran que no existe conflicto de interés con redes, organizaciones y centros de datos a los que se hace referencia en el documento.

Agradecimiento

Las autoras agradecen a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo y la Fundación ECOSUR, por el apoyo brindado. Del mismo modo, a los actores locales de la parroquia Valparaíso, por brindar toda la información necesaria para realizar estudio y en apoyo para la recopilación de datos de campo. Además, estamos agradecidas con dos estimados anónimos revisores cuyo meticuloso trabajo ha ayudado a mejorar la calidad de la presente investigación.

Contribución de los autores

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://casrai.org/credit/>). Los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

	Calahorrano, J.	Pérez, E.	Yuquilema, G.
Conceptualización			
Análisis formal			
Investigación			
Metodología			
Recursos			
Validación			
Redacción - revisión y edición			

Referencias

- Araújo, C. V. M., Moreira-Santos, M., Sousa, J. P., Ochoa-Herrera, V., Encalada, A. C., & Ribeiro, R. (2014). Contaminants as habitat disturbers: PAH-driven drift by Andean paramo stream insects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 108, 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.06.034>
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1-2), 53-72, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>
- Camacho, M. (2014). Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *Revista Anales*, 1(372), 77–92. <https://doi.org/10.29166/anales.v1i372.1241>
- Célleri, R., & Feyen, J. (2009). The hydrology of tropical andean ecosystems: Importance, knowledge status, and perspectives. *Mountain Research and Development*, 29(4), 350–355. <https://doi.org/10.1659/mrd.00007>
- Conesa Fernandez - Vitoria, V., Conesa Ripoll, V., Conesa Ripoll, L. A., & Estevan Bolea, M. T. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (4a. ed.). Madrid: Mundi-Prensa.
- Harden, C. P. (2006). Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes. *Geomorphology*, Volume 79, 249-263. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.021>
- Finer, M., Jenkins, C. N., Pimm, S. L., Keane, B., & Ross, C. (2008). Oil and gas projects in the Western Amazon: Threats to wilderness, biodiversity, and indigenous peoples. *PLoS ONE*, 3(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002932>
- Leopold, L., Clarke, F., Hanshaw, B & Balsley, J. (1971). A procedure for evaluating environmental impact. *GEOLOGICAL SURVEY CIRC 645*. Washington: U.S. Geological Survey, 13pp. <https://doi.org/10.3133/cir645>
- MAE. (2012). Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental. Ministerio Del Ambiente. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVEL_NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Sistema.pdf
- MAE. (2012). *Estudio de potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y*

tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del ecuador (pp. 1–63). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/03/PART11.pdf>

- Mena Vásconez, P., Castillo, A., Flores, S., Hofstede, R., Josse, C., Lasso, S., Medina, B. G., Ochoa, N., & Ortiz, D. (2011). Páramo. www.abayala.org
- Millar, R & Hall, K (2012). Social Return on Investment (SROI) and Performance Measurement. *Public Management Review*, 923-941. <https://doi.org/10.1080/14719037.2012.698857>
- Murtinho, F., Tague, C., de Bievre, B., Eakin, H., & Lopez-Carr, D. (2013). Water Scarcity in the Andes: A Comparison of Local Perceptions and Observed Climate, Land Use and Socioeconomic Changes. *Human Ecology*, 41(5), 667–681. <https://doi.org/10.1007/s10745-013-9590-z>
- Ortiz, M., Navarrete, J., & Suarez, T. (2005). Páramos: Hidrosistemas Sensibles. In *Ecology*.
- Podwojewski, P., Poulénard, J., Zambrana, T., & Hofstede, R. (2006). Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). *Soil use and management*, 45-55.
- Poulénard, J., Podwojewski, P., & Herbillon, A. (2003). Characteristics of non-allophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos. *Geoderma*, 267-281.
- Sánchez, B. E. (2019). Universidad Nacional de Chimborazo. Diseño e Implementación de Sensores para medir temperatura, humedad, caudal de la fuente de agua “Yanarumi” perteneciente al cantón Guano. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/5794/1/UNACH-EC-ING-ELE-TEL-2019-0004.pdf>
- Soriano, L., Ruiz, Ma. E., & Ruiz, E. (2015). Criterios de evaluación de impacto ambiental en el sector minero. *Industrial Data*, vol. 18, núm. 2, pp. 99-112. <https://doi.org/10.15381/idata.v18i2.12102>.
- Viviroli, D., Weingartner, R., Viviroli, D., & Weingartner, R. (2004). The hydrological significance of mountains: from regional to global scale. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(6), 1016–1029.