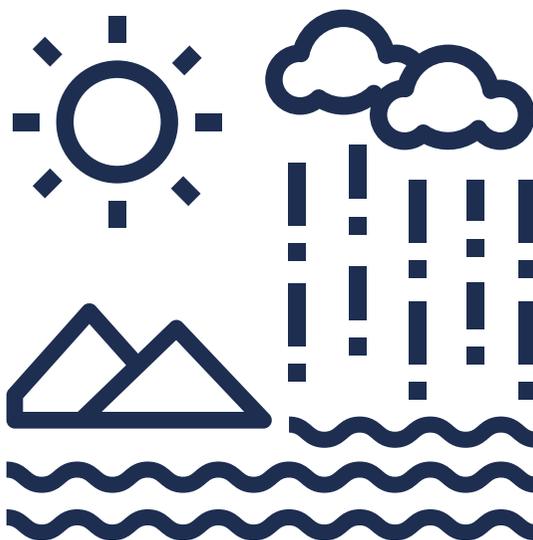


GUÍA METODOLÓGICA EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RIESGO CLIMÁTICO

Alex Manuel Avilés Añazco
Stalin Daniel Jiménez Yucta
Blanca Alegría Rojas Escandón
Freddy Rolando Torres Mora



GUÍA METODOLÓGICA

EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RIESGO CLIMÁTICO

Alex Manuel Avilés Añezco
Stalin Daniel Jiménez Yucta
Blanca Alegría Rojas Escandón
Freddy Rolando Torres Mora

Guía metodológica.
Evaluación y análisis de riesgo climático.

©Universidad de Cuenca
Facultad de Ciencias Químicas
Carrera de Ingeniería Ambiental

Alex Manuel Avilés Añazco
Stalin Daniel Jiménez Yucta
Blanca Alegría Rojas Escandón
Freddy Rolando Torres Mora

Autores

María Augusta Hermida Palacios
Rectora de la Universidad de Cuenca

Centro Editorial UCuenca Press

Director: Daniel López Zamora. **Coordinadora Editorial:** Ángeles Martínez Donoso.
Diseñador: Geovanny Gavilanes Pando. **Corrección de estilo:** Mihaela Ionela Badin.

Ciudadela Universitaria
Doce de Abril y Agustín Cueva
(+ 593 7) 405 1000
Casilla postal 01.01.168
www.ucuenca.edu.ec

Primera edición. Formato digital

Todos los derechos reservados
ISBN Digital: 978-9978-14-558-6

Para la composición tipográfica de este manuscrito se usó Alegreya sans.

El presente documento ha sido evaluado por dos pares externos bajo el sistema doble ciego.

Julio, 2024

Cuenca - Ecuador

Esta guía fue un producto del proyecto “Adaptación a los impactos del cambio climático en los recursos hídricos en los Andes (AICCA), caso de estudio en la subcuenca del río Machángara” en el marco del convenio interinstitucional entre la Universidad de Cuenca, el Consorcio para el Desarrollo Sostenible De la Ecorregion Andina y la Empresa Electro Generadora del Austro Elecaastro S.A., bajo la supervisión del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE).

Índice

1. Presentación	11
2. Introducción	12
2.1. Conceptos relacionados al riesgo climático y vulnerabilidad.....	12
2.2. La vulnerabilidad al cambio climático.....	12
2.3. Análisis de riesgo	13
3. Objetivo	16
4. Metodología	17
4.1. Esquematización general de la metodología	17
4.1.1. Unidad de análisis	17
4.2. Amenazas climáticas	18
4.3. Enfoques y áreas de evaluación de riesgo climático	19
4.4. Identificación de indicadores para los factores de riesgo	21
4.5. Proceso de estandarización	22
4.5.1. Método de la escala de likert	23
4.5.2. Método basado en el principio de pareto.....	24
4.5.3. Método de correlación de valores	25
4.5.4. Método de estandarización por quintiles	25
4.5.5. Método de estandarización de mínimos y máximos.....	25
5. Aplicación de la metodología al caso de estudio	27
5.1. Unidad y subunidad de análisis	27
5.2. Amenazas climáticas directas e indirectas	29
5.2.1. Evaluación de las amenazas climáticas directas	29
5.2.2. Evaluación de las amenazas climáticas indirectas	40
5.3. Evaluación del riesgo	67
5.3.1. Identificación de áreas de análisis	67
5.3.2. Enfoque de gobernanza	69
5.3.3. Enfoque socio-económico.....	76
5.3.4. Enfoque ambiental	100

Índice de tablas

Tabla 1. Enfoques y áreas de análisis	19
Tabla 2. Límites de riesgo	22
Tabla 3. Rango de valores de riesgo	22
Tabla 4. Escala de Likert	24
Tabla 5. Principio de Pareto (Modificado).....	24
Tabla 6. Índices climáticos - CLIMDEX.....	37
Tabla 7. Índices CLIMDEX para estimar amenazas climáticas directas	40
Tabla 8. Área aportante a cada subunidad de evaluación	46
Tabla 9. Índice de amenaza hidrológica para el sistema de hidroeléctricas - Saucay	47
Tabla 10. Índice de amenaza hidrológica para el sistema de hidroeléctricas - Saymirín.....	47
Tabla 11. Índice de amenaza hidrológica para el sistema de riego – Machángara y Sistemas de potabilización – Planta de potabilización Tixán	48
Tabla 12. Índice de amenaza hidrológica para el sistema de riego – Checa-Sidcay-Ricaurte.....	48
Tabla 13. Índice de amenaza hidrológica para el sistema de riego – Sociedad Ricaurte	49
Tabla 14. Índice de amenaza hidrológica para el sistema de hidroeléctricas – Saucay	50
Tabla 15. Índice de amenaza hidrológica para el sistema de hidroeléctricas - Saymirín.....	50
Tabla 16. Índice de amenaza hidrológica para el sistema de riego - Machángara	51
Tabla 17. Índice de amenaza hidrológica para el sistema de riego – Checa-Sidcay-Ricaurte	51
Tabla 18. Índice de amenaza hidrológica para el sistema de riego – Sociedad Ricaurte	52
Tabla 19. Estandarización del valor AD	53
Tabla 20. Estandarización de los valores de cobertura vegetal, pendiente y textura de suelo.....	54
Tabla 21. Índice de amenaza de deslizamientos y erosión para la subcuenca del Machángara.....	58
Tabla 22. Estandarización del valor AI	59
Tabla 23. Estandarización de los valores de cobertura vegetal.....	60
Tabla 24. Índice de amenaza de incendios para la subcuenca del río Machángara	63

Tabla 25. Índice de amenaza de crecidas para la subcuenca del río Machángara	65
Tabla 26. Hidrograma de prueba	65
Tabla 27. Valores de caudal máximo y estimación cuantitativa de la amenaza a inundaciones en la parte baja de la subcuenca del Machángara	67
Tabla 28. Amenazas directas e indirectas relacionadas con el área de análisis.....	68
Tabla 29. Estimación del valor de la multiamenaza para el escenario RCP 4.5.....	70
Tabla 30. Estimación del valor de la multiamenaza para el escenario RCP 8.5.....	70
Tabla 31. Valor y calificación de riesgo para el componente gobernanza	73
Tabla 32. Evaluación de riesgo para gobernanza.....	74
Tabla 33. Amenaza de sequía hidrológica	77
Tabla 34. Estimación de cuán satisfactoria es la producción energética, vinculada a la cantidad de agua para generar energía	79
Tabla 35. Valor y calificación de riesgo para el componente socioeconómico bajo sensibilidad de pérdida económica en Saucay	80
Tabla 36. Evaluación de riesgo.....	81
Tabla 37. Amenaza de sequía hidrológica	83
Tabla 38. Valor y calificación de riesgo para el componente socioeconómico bajo el aspecto de población categorizada por capacidad económica.....	86
Tabla 39. Valor y calificación de riesgo para el componente socioeconómico bajo el aspecto de población categorizada por vulnerabilidad (según INEC).....	87
Tabla 40. Evaluación de riesgo del sistema de agua potable de Tixán	88
Tabla 41. Amenaza de sequía hidrológica	91
Tabla 42. Valor y calificación de riesgo para el componente socioeconómico bajo el aspecto de tipo de cultivo.....	95
Tabla 43. Valor y calificación de riesgo para el componente socioeconómico bajo el aspecto de pérdidas económicas por producción de cultivo	96
Tabla 44. Evaluación de riesgo del Sistema de Riego y Drenaje Sociedad-Ricaurte.....	97
Tabla 45. Amenaza de deslizamientos y erosión.....	102
Tabla 46. Obtención de los valores de densidad de infraestructura	103
Tabla 47. Estimación del indicador de sensibilidad de la infraestructura dentro de la subcuenca.....	104

Tabla 48. Valor y calificación de riesgo para el componente ambiental bajo el aspecto infraestructural ante la amenaza de deslizamientos.....	107
Tabla 49. Evaluación de riesgo de la infraestructura del sistema hídrico multipropósito con respecto a los deslizamientos y erosión	108
Tabla 50. Amenaza de inundaciones	111
Tabla 51. Valor y calificación de riesgo para el componente ambiental bajo el aspecto infraestructural ante la amenaza de inundaciones.....	116
Tabla 52. Evaluación de riesgo de la infraestructura del sistema hídrico multipropósito con respecto a las inundaciones.....	117

Índice de figuras

Figura 1. Conceptualización del riesgo de acuerdo al IPCC.....	14
Figura 2. Esquematación de amenaza para un sistema hídrico	20
Figura 3. Esquema del Sistema Hídrico Multipropósito Machángara	28
Figura 4. Áreas aportantes y subunidades de evaluación del Sistema Hídrico Multipropósito del Machángara.....	29
Figura 5. Ejemplificación del proceso de downscaling geoestadístico	31
Figura 6. Comparación de sesgo de distribución de datos de temperatura	33
Figura 7. Comparación de sesgos entre cuartiles vs percentiles.....	35
Figura 8. Comparación de resultados entre proceso de corrección cuartiles y percentiles	35
Figura 9. Distribución de la precipitación	36
Figura 10. Distribución de los valores de los índices CDD para el escenario RCP 4.5 y RCP 8.5	39
Figura 11. Áreas de aporte y puntos de interés en la subcuenca del río Machángara	41
Figura 12. Componentes del modelo de operación del sistema hídrico multipropósito del Machángara.....	44
Figura 13. Amenazas Hidrológicas para el Sistema Hídrico Multipropósito del Machángara	45
Figura 14. Áreas aportantes a los sistemas componentes del Sistema Hídrico Multipropósito Machángara.....	45
Figura 15. Amenaza de deslizamientos y erosión bajo escenarios RCP 4.5.....	56
Figura 16. Amenaza de deslizamientos y erosión bajo escenarios RCP 8.5	57
Figura 17. Amenaza de incendios forestales bajo el escenario RCP 4.5.....	61
Figura 18. Amenaza de incendios forestales bajo el escenario RCP 8.5	62
Figura 19. Registro de áreas con incendios forestales en comparación a la estimación de amenaza de incendios	64
Figura 20. Manchas de inundación del modelo hidráulico	66
Figura 21. Mapeo de la infraestructura evaluada sobre la amenaza de deslizamiento y erosión	101
Figura 22. Obtención del valor de densidad de infraestructura para la subcuenca del Machángara y para la ciudad de Cuenca.....	103
Figura 23. Evaluación de cobertura de uso de suelo en potencial zona de inundación	113

1. Presentación

Los recursos hídricos son imprescindibles para el desarrollo de las poblaciones alrededor del mundo. Sin embargo, debido a factores antropogénicos, se han generado impactos negativos y una mayor presión sobre ellos. Uno de los factores que ha generado mayor preocupación en años recientes es el cambio climático, sus posibles influencias en el incremento de eventos extremos, el aumento de la vulnerabilidad de la población y sus impactos en los ecosistemas y en el ser humano.

Los planes de vulnerabilidad y gestión de riesgo climático dentro del manejo integral de las cuencas hidrográficas permiten diseñar e implementar estrategias efectivas de adaptación ante el cambio climático y sus consecuencias negativas a largo plazo, las cuales podrían alterar el régimen hidrológico. En relación con lo expuesto, se estima que el cambio climático provocará con mayor frecuencia eventos extremos de sequías o inundaciones que, a su vez, provocarían la erosión de suelos y la disminución de la disponibilidad de agua en las cuencas (IPCC, 2014a; Vera & Albarracín, 2017).

En este contexto, la presente guía pretende describir paso a paso la metodología para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo climático, con énfasis en las actividades de aprovechamiento del recurso hídrico. Se aplica la metodología desarrollada por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, conocido por sus siglas en inglés IPCC, presentada en el quinto informe (AR5) (IPCC, 2014b).

En la guía se expone el método para la evaluación del riesgo, tomando como ejemplo el caso de estudio del Sistema Hídrico Multipropósito de la subcuenca del río Machángara. Se parte de la descripción de los conceptos relacionados con la evaluación del riesgo, los enfoques y subunidades de evaluación, así como los criterios para identificar las principales amenazas, sus respectivos indicadores e índices, y el procesamiento de dicha información.

2. Introducción

2.1 Conceptos relacionados al riesgo climático y vulnerabilidad

Con el objetivo de comprender la metodología y lo que conlleva la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo climático, es necesario describir algunos conceptos que deben ser comprendidos (BID, 2010; IPCC, 2014c).

Riesgo climático: Implica la interacción entre un acontecimiento extremo provocado por las amenazas del cambio climático y la susceptibilidad de los sistemas naturales y humanos que pueden verse afectados.

Amenaza climática o peligro: Probabilidad de que un hecho o acontecimiento afecte a un sistema y lo perjudique. En el contexto climático, se relaciona con los eventos climáticos extremos (fenómenos meteorológicos, hidrológicos y climáticos) que perjudican a los servicios, ecosistemas y la población.

Exposición: Incluye los diversos organismos vivos, los servicios y recursos naturales, las actividades y los entornos naturales o antropogénicos que pueden verse afectados negativamente.

Vulnerabilidad: Propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación.

Sensibilidad: Hace referencia al grado en que un sistema resulta comprometido, ya sea negativa o positivamente, por la amenaza climática.

Capacidad adaptativa: Capacidad de los sistemas, las instituciones, los seres humanos y otros organismos, en diferentes niveles de análisis, para desarrollar estrategias de adaptación y mitigación efectivas que logren la reducción de la vulnerabilidad y la adaptación ante posibles daños.

2.2 La vulnerabilidad al cambio climático

Los expertos del IPCC definen la vulnerabilidad como la predisposición de un sistema a verse perjudicado por los efectos negativos relacionados con el cambio climático. Los sistemas pueden considerarse más o menos vulnerables con base en el grado de exposición a las amenazas climáticas, su sensibilidad o susceptibilidad frente a esta exposición y la capacidad de

respuesta y adaptación; es decir, si tienen el potencial para ajustarse a los efectos negativos sin verse totalmente afectados por los cambios ambientales extremos (IPCC, 2014a; Lampis, 2013).

Dentro de la región, la vulnerabilidad al cambio climático se relaciona principalmente con las alteraciones en los patrones del clima; estos cambios representan amenazas para los sistemas naturales y las actividades humanas, que pueden tener diferentes grados de afectación según los planes de gestión institucional y los diferentes recursos destinados a estos. Las alteraciones en los patrones del clima podrían causar un mayor número de sequías, inundaciones, variaciones de temperatura, deslizamientos, entre otros, que repercutirán directa o indirectamente en los diferentes sectores sociales y en la disponibilidad y accesibilidad a los recursos naturales (BID, 2010).

Para estimar la vulnerabilidad y los riesgos asociados al cambio climático, es imprescindible definir escenarios futuros que presenten una proyección de las posibles alteraciones climáticas y que puedan ser comparados con el escenario actual o de referencia. En este ámbito, existen diferentes modelos a escala global que deben ser adaptados a una escala regional. Estos escenarios no representan una predicción del clima futuro, sino que son situaciones probables a partir de las cuales se estima la exposición de los sistemas y se basan los criterios de análisis, los cuales pueden ayudar a determinar prioridades para las zonas susceptibles a amenazas climáticas, así como para aquellas que ya enfrentan una alta vulnerabilidad (Birkmann et al., 2022; Lampis, 2013).

2.3 Análisis de riesgo

Siguiendo la metodología del Quinto Informe del IPCC (2014c), se calcula el riesgo climático mediante el producto de la Amenaza por la Exposición y por la Vulnerabilidad, tomando la “Vulnerabilidad” como el cociente entre “Sensibilidad y Capacidad adaptativa”.

La Ecuación 1 presenta la evaluación del riesgo y la determinación de cada uno de sus componentes.

$$R = f(AC, E, V)$$

$$V = f(S, CA) \tag{1}$$

$$R = f(AC, E, S, CA)$$

Donde:

R: Riesgo

AC: Amenaza climática.

E: Exposición

V: Vulnerabilidad

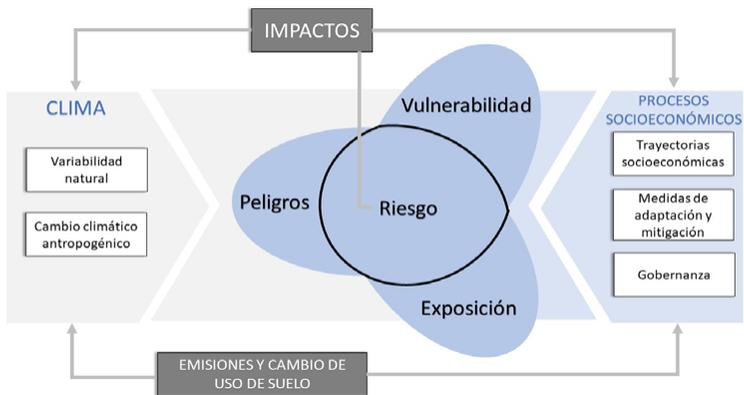
S: Sensibilidad

CA: Capacidad adaptativa

La vulnerabilidad se evalúa considerando el riesgo que el cambio climático representa para los entornos naturales y humanos, así como la capacidad de gestión para reducir estos impactos a través de medidas de adaptación y mitigación. En la Figura 1 se presenta el enfoque de vulnerabilidad y riesgo del IPCC.

Figura 1

Conceptualización del riesgo de acuerdo con IPCC.



Para realizar un análisis de riesgo de forma integral se recomienda valorarlo mediante tres enfoques: ambiental, socioeconómico y de gobernanza. Para cada uno, se evalúa el riesgo climático con base en las amenazas que se

consideren presentes frente al cambio climático. En el quinto informe del IPCC (IPCC, 2014a), los enfoques se detallan como:

Enfoque ambiental: En el marco de la dimensión ambiental, se analiza la vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos ante las amenazas climáticas.

Enfoque socioeconómico: Se evalúan los aspectos socioeconómicos de la población afectada por las amenazas climáticas y sus implicaciones para el desarrollo, así como las respuestas de adaptación.

Enfoque de gobernanza: Hace referencia al grado de cohesión institucional en un ámbito de estudio, centrado en los mecanismos y las medidas que dirigen coordinadamente los actores internos y externos del territorio hacia la prevención, mitigación o adaptación de los factores de riesgo asociados al cambio climático.

A su vez, para todas las amenazas identificadas dentro de cada enfoque, se establecen índices de exposición, indicadores de sensibilidad e indicadores de capacidad adaptativa. Previamente a lo señalado, es imprescindible establecer la unidad de análisis que, en este caso, constituye el entorno físico objeto del estudio, sobre el cual se estiman los posibles riesgos a los que está expuesto.

El riesgo se estima para un sistema en un periodo de tiempo específico; es decir, se establece un escenario actual y escenarios futuros que muestren las amenazas climáticas. El IPCC plantea cuatro trayectorias futuras en donde se estiman varios niveles de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, conocidas como trayectorias representativas de concentración o RCP, por sus siglas en inglés. Según el quinto informe del IPCC, se plantean cuatro trayectorias RCP. En el primer escenario, RCP2.6, debido a sus estrategias de mitigación, se plantea un bajo forzamiento radiativo de 2.6 W/m^2 hasta el año 2100; en los siguientes dos escenarios de estabilización, RCP4.5 y RCP6.0, se estima un forzamiento radiativo de 4.5 W/m^2 y 6.0 W/m^2 hasta 2100, respectivamente; y en el cuarto escenario, RCP8.5, se plantea un nivel muy alto de forzamiento radiativo de 8.5 W/m^2 (IPCC, 2014c).

3. Objetivo

La presente guía tiene como objetivo explicar paso a paso una metodología de evaluación del riesgo climático basada en los factores de amenaza, exposición y vulnerabilidad (sensibilidad y capacidad adaptativa) bajo los enfoques ambiental, socioeconómico y de gobernanza, aplicada principalmente en sistemas de recursos hídricos. Cabe recalcar que la guía metodológica se ejemplifica principalmente en el Sistema Hídrico Multipropósito de la subcuenca del río Machángara,

sin embargo, la metodología presentada puede adaptarse a cualquier sistema de recursos hídricos, ya que se puede aplicar en diferentes niveles de detalle y especificidad. No obstante, esto dependerá de la disponibilidad de información y de las condiciones propias de la zona de estudio.

4. Metodología

4.1 Esquematización general de la metodología

El método de evaluación de riesgo del IPCC, según el quinto informe (AR5), fue modificado ligeramente para incluir los criterios y análisis orientados a los procesos dentro de una cuenca hidrográfica en el contexto de evaluación de riesgos para un sistema hídrico multipropósito. La Ecuación 2 presenta la fórmula para la evaluación del riesgo.

$$R = A \times E \times V$$
$$V = \frac{S}{CA} \quad (2)$$
$$R = \frac{A \times E \times S}{CA}$$

Donde:

R: Riesgo

A: Amenaza

E: Exposición

V: Vulnerabilidad

S: Sensibilidad

CA: Capacidad adaptativa

4.1.1 Unidad de análisis

Es el sistema sujeto a evaluación, sobre el cual se establecerán criterios para identificar las amenazas, la exposición y la vulnerabilidad, y así determinar el riesgo frente al cambio climático. Puede considerarse como unidad de análisis un espacio físico, una actividad, un recurso natural u otros. Además, una unidad de análisis puede estar compuesta por subunidades de análisis, como en el caso de estudio. En este sentido, se definió el sistema hídrico multipropósito del río Machángara como unidad de análisis, que está

conformado por componentes o subunidades, como sistemas de agua potable, sistemas hidroeléctricos, de riego, entre otros.

4.2 Amenazas climáticas

Las amenazas climáticas se han dividido en directas e indirectas. Las primeras dependen netamente de los factores climáticos, y las segundas provienen de la interacción entre los factores climáticos y los factores del entorno de la cuenca hidrográfica (pendiente, vegetación, tipo de suelo, uso del suelo, estado de conservación, capacidad de regulación hídrica, entre otros).

Es importante resaltar la percepción de los actores dentro de cada cuenca (población, instituciones, organizaciones y usuarios del agua) y el criterio de expertos en cada enfoque de evaluación (ambiental, socioeconómico y de gobernanza) para definir las amenazas y sus impactos. De esta manera, se han identificado varias amenazas climáticas directas, como la sequía meteorológica, heladas, lluvias intensas y olas de calor o altas temperaturas; y varias amenazas climáticas derivadas o indirectas, como la sequía hidrológica, erosión, deslizamientos, inundaciones, incendios forestales, entre otras.

La recopilación de la percepción de los actores se realizó mediante entrevistas, encuestas y talleres dentro de la zona de estudio. Estos datos, junto con la información meteorológica (precipitación, temperatura media, temperatura mínima y temperatura máxima), sirvieron para calcular y analizar cuatro índices climáticos determinados por el proyecto de extremos climáticos Climdex (The Climdex Project, 2012).

Los índices empleados del Climdex fueron: CDD (días secos consecutivos) para evaluar las sequías meteorológicas; R99PTOT (días extremadamente lluviosos) para evaluar las precipitaciones intensas; TX90p (días cálidos) para evaluar las temperaturas altas; y FD (días al año con temperatura por debajo de 0°C) para evaluar las heladas.

Así, se pudo identificar y evaluar las amenazas climáticas de sequía meteorológica, heladas, lluvias intensas y olas de calor. Estas amenazas sirvieron como base para identificar y evaluar las amenazas derivadas o indirectas. La identificación de las amenazas dependerá de las condiciones propias de la zona de estudio y de la información disponible. En este

apartado, se resalta la importancia de la identificación de las amenazas, y en el siguiente se aplicará la metodología en el caso de estudio.

4.3 Enfoques y áreas de evaluación de riesgo climático

Las áreas y enfoques de evaluación de riesgo climático se desarrollan a partir de las unidades de análisis, que en el caso de estudio es el sistema hídrico multipropósito y sus componentes.

Los enfoques para la evaluación del riesgo fueron: ambiental, socioeconómico y de gobernanza, los cuales brindaron los elementos necesarios para hacer un análisis integral de riesgo y permitieron una correcta identificación de las medidas de adaptación.

Una vez establecidas las amenazas climáticas, se identificaron las principales áreas de análisis afectadas por estas amenazas, definidas según los problemas o necesidades del territorio para cada enfoque de evaluación de riesgo climático. En la Tabla 1 se describen los enfoques y sus respectivas áreas de análisis.

Tabla 1

Enfoques y áreas de análisis.

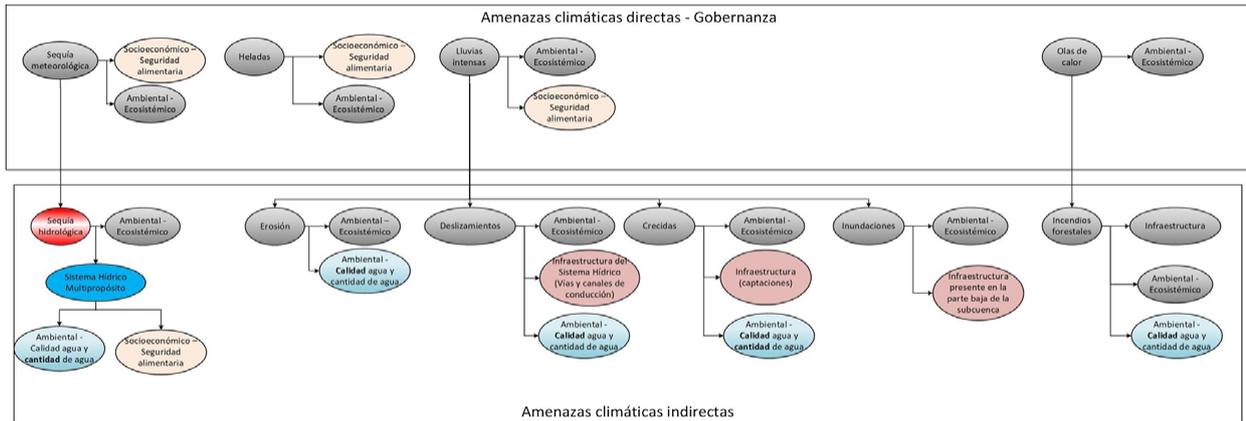
Enfoque	Definición del enfoque	Identificación de áreas de análisis
Ambiental	Analiza la vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos ante las amenazas climáticas	Evaluación de los servicios hidrológicos (cantidad y calidad de agua) y servicios de los recursos naturales en la cuenca hidrográfica. Se incluye un análisis del impacto de las amenazas climáticas sobre los ecosistemas y su correcto funcionamiento
Socioeconómico	Analiza los aspectos socioeconómicos de la población y sus implicaciones para el desarrollo, así como las respuestas de adaptación de la población.	Evaluación de los aspectos productivos de la población, con enfoque en la seguridad sanitaria, alimentaria y energética.
Gobernanza	Se centra en el grado de cohesión institucional para la toma de decisiones en la prevención, mitigación y adaptación.	Capacidades de los pobladores y las instituciones para tomar decisiones, con el fin de lograr una correcta gestión de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos.

Las amenazas climáticas directas e indirectas deben ser evaluadas dentro de cada área de análisis, por consiguiente, por cada unidad de análisis. La Figura 2 muestra un esquema de las relaciones entre las amenazas, el enfoque y el área de análisis.

Cabe resaltar la importancia de recopilar información adecuada para llevar a cabo los análisis correspondientes, y la trascendencia de que existan estudios especializados para cada área de análisis.

Figura 2

Esquematación de amenaza para un sistema hídrico.



4.4 Identificación de indicadores para los factores de riesgo

Una vez identificadas las áreas de análisis y caracterizadas las amenazas, es necesario identificar y valorar los indicadores para los otros factores de riesgo (exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa).

Los indicadores se construyen a partir de datos o información del entorno (mapas, censos, bases de datos, etc.) que se relacionan con cada factor de riesgo: datos cuantitativos obtenidos como resultado de diferentes procedimientos de cálculo, donde en ocasiones el criterio de los expertos de cada enfoque juega un papel relevante. En general, para seleccionar un indicador es necesario cuestionar por qué la unidad de análisis es vulnerable a cierto peligro; es así como la metodología emplea preguntas orientativas relacionadas con los enfoques de análisis (ambiental, socioeconómico y de gobernanza), las áreas de análisis y las unidades o subunidades de análisis. A continuación, se presentan estos cuestionamientos.

- Amenaza: ¿Cuál es el indicador que representa la amenaza identificada en relación con la unidad de análisis, según el enfoque y el área de análisis correspondientes?
- Exposición: ¿Qué elemento o producto perteneciente a la unidad de análisis se ve afectado por la amenaza evaluada?
- Sensibilidad: ¿Qué grado de sensibilidad muestra el elemento expuesto en referencia a la unidad de análisis, considerando el enfoque de análisis aplicado?
- Capacidad adaptativa: ¿En qué medida está preparada la unidad de análisis o el elemento expuesto para prevenir, adaptarse o reaccionar ante la amenaza identificada?

Los indicadores deben reflejar los posibles cambios en el sistema como consecuencia de la variabilidad y el cambio climático. Este proceso se fundamenta en el conocimiento del sistema, sus procesos y las relaciones con las variables climáticas. A través de operaciones matemáticas simples, los datos crudos pueden convertirse en indicadores, es decir, valores estandarizados que, al relacionarse entre sí, sirvan para calcular el riesgo. Estas operaciones matemáticas pueden incluir sumas, restas, multiplicaciones y divisiones simples, cuyo propósito es cuantificar el valor cuantitativo de un indicador con respecto a valores máximos, mínimos o a un umbral específico. Es importante no confundir estas operaciones con el proceso de estandarización de indicadores que se describe a continuación.

4.5 Proceso de estandarización

La estandarización convierte números en valores jerarquizados que indican la criticidad de cada factor con respecto al riesgo. Para el proceso de estandarización de los valores de riesgo, se categorizaron todos los resultados posibles de la combinación de los factores con valores del 1 al 5. De esta forma, se obtiene el valor máximo de riesgo cuando los factores de amenaza, exposición y sensibilidad son los más altos (valor de 5), y el factor de capacidad adaptativa es el mínimo (valor de 1). Por otro lado, el valor mínimo de riesgo se obtiene cuando los factores de amenaza, exposición y sensibilidad son los más bajos (valor de 1), y el factor de capacidad adaptativa es el máximo (valor de 5). Aplicando la Ecuación 2 y realizando el proceso de estandarización de los valores de riesgo, se obtuvieron los valores presentes en las Tablas 2 y 3, donde el rango de variación del riesgo podría estar desde 0.2 hasta 125, tomando los valores extremos para cada componente del riesgo (amenaza, exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa). Además, para estandarizar todos los posibles valores de riesgo, se realizará una categorización de sus valores a través de una distribución en quintiles.

Tabla 2

Límites de riesgo.

Límites	Riesgo	Amenaza	Exposición	Sensibilidad	Capacidad Adaptativa
Máximo	5	5	5	5	1
Mínimo	0.2	1	1	1	5

Tabla 3

Rango de valores de riesgo.

Rango del valor de riesgo	Descripción	Valor estandarizado
$\geq 0.2 - \leq 2.5$	Muy bajo	1
$> 2.5 - \leq 5$	Bajo	2
$> 5 - \leq 10$	Medio	3

>10 - ≤18.75	Alto	4
>18.75 - ≤125	Muy alto	5

Esta forma de estandarización se utilizó en el caso de los valores de riesgo; sin embargo, existen varias metodologías adicionales, como el principio de Pareto, la escala de Likert, el método de correlación de valores, los límites determinados por quintiles y el método de estandarización de mínimos y máximos. Mediante la estandarización, los diferentes indicadores tendrán asignado un valor en una escala común que va de 1 a 5.

Es importante destacar que estas metodologías de estandarización pueden modificar su descripción según la conveniencia del análisis. Por ejemplo, para un indicador, el valor del 100% puede indicar la mejor o la peor situación al momento de estandarizar. Por ejemplo, un 100% de áreas protegidas podría tener un valor estandarizado de 5, mientras que un 100% de personas vulnerables podría tener un valor estandarizado de 1.

4.5.1 Método de la escala de Likert

Este método de estandarización se basa en la escala de Likert, cuyos conceptos establecen una división en rangos iguales, idealmente, para el proceso de estandarización. La escala de Likert es ampliamente utilizada para realizar mediciones y evaluar el grado de conformidad o satisfacción de una persona, empleando al menos cinco categorías de respuesta (Morales et al., 2003).

En el desarrollo del caso de estudio, esta metodología se aplica a indicadores que se expresan en porcentajes. El objetivo es agrupar numéricamente los datos dentro de una misma escala para facilitar su análisis.

El rango de análisis (0% a 100%) se divide en porcentajes iguales, cada uno representando un nivel del indicador, como el porcentaje de áreas protegidas o de personas con acceso a servicios básicos. A cada rango se le asigna un valor cualitativo, de muy bajo a muy alto, y un valor cuantitativo, típicamente de 1 a 5 cuando se divide en cinco partes. La asignación de estos valores depende de las características específicas de cada indicador. La escala de Likert, dividida en cinco partes, se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4*Escala de Likert.*

Rangos en porcentaje	Descripción	Valor estandarizado
$\geq 0\% - \leq 20\%$	Muy bajo	1
$> 20\% - \leq 40\%$	Bajo	2
$> 40\% - \leq 60\%$	Medio	3
$> 60\% - \leq 80\%$	Alto	4
$> 80\% - \leq 100\%$	Muy alto	5

4.5.2 Método basado en el principio de Pareto

Este método de estandarización se basa en el principio de Pareto, conocido como la regla del 20-80, que sugiere que generalmente un pequeño número de causas (20%) produce la mayoría de los problemas (80%). Es una herramienta de diagnóstico que facilita la toma de decisiones basada en prioridades, especialmente útil al estandarizar valores obtenidos de una relación que puede exceder el 100% o la unidad.

La metodología es similar a la escala de Likert, con la diferencia de que los rangos porcentuales van desde 0% hasta 20%, tanto en la escala positiva como en la negativa, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5*Principio de Pareto (Modificado).*

Rangos en porcentaje	Descripción	Valor estandarizado
$< -20\%$	Muy Alto	5
$\geq -20\% - < 0\%$	Alto	4
0	Medio	3
$> 0\% - \leq 20\%$	Bajo	2
$> 20\%$	Muy Bajo	1

4.5.3 Método de relación de valores y categorías

Para indicadores basados en índices o que utilizan valores cualitativos, se emplea una metodología que relaciona estos valores estandarizados, que van de 1 a 5, con las categorías de cada nivel. Por ejemplo, un indicador evaluado originalmente en tres rangos —malo, medio y bueno— se estandarizará asignando los valores 1, 3 y 5, respectivamente, relacionados con las categorías de muy bajo, medio y muy alto.

4.5.4 Método de estandarización por quintiles

Para los indicadores cuyos valores cuantitativos están determinados por un conjunto de posibles valores, se puede implementar un método de estandarización basado en la división en quintiles. Esto implica dividir la información en cinco partes iguales, agrupándolas en valores de 20%, 40%, 60%, 80% y 100% del total de la población, respectivamente. Por ejemplo, el primer quintil (Q₁) representa el 20% más bajo de los valores, y así sucesivamente para los demás quintiles. Para determinar estos quintiles, la información se ordena de menor a mayor y se calcula la posición que ocupa cada quintil utilizando la Ecuación 3 (Guarín, 2002):

$$X = \frac{N \times Q_i}{5} \quad (3)$$

Donde:

N: Número total de muestras.

Q_i: Quintil de interés

Según esta metodología, a los valores de los indicadores que se encuentran en el primer quintil se les asigna el valor más bajo (1), mientras que al quinto quintil se le asigna el valor más alto (5).

4.5.5 Método de estandarización de mínimos y máximos

Esta metodología se basa en la utilización de los valores máximos y mínimos de los indicadores, considerando su rango absoluto. Se aplica específicamente a indicadores con valores cuantitativos, utilizando la Ecuación 4 (Actis di Pasquale & Balsa, 2017):

$$I = \frac{(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} \quad (4)$$

Donde:

I : Índice

X : Valor del indicador

X_{min} : Valor mínimo posible

X_{max} : Valor máximo posible

Es importante destacar que este método de estandarización evalúa el indicador en una escala de 0 a 1, donde 0 representa la peor situación y 1 la mejor. En casos donde existe una relación inversa entre el indicador y la escala de evaluación, se ajusta la fórmula cambiando el numerador a la resta del valor máximo posible menos el valor del indicador, manteniendo el denominador igual. Dado que esta escala de evaluación difiere de la escala estándar de 1 a 5, se aplica luego el método de estandarización basado en la escala de Likert al resultado obtenido.

5. Aplicación de la metodología al caso de estudio

5.1 Unidad y subunidad de análisis

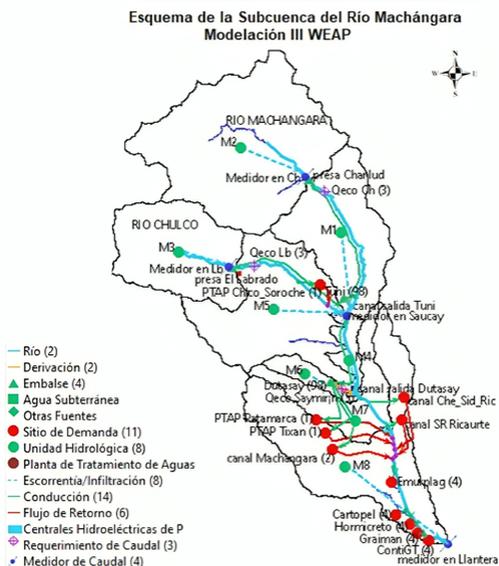
La subcuenca del río Machángara fue evaluada como caso de estudio, utilizando como unidad de análisis el Sistema Hídrico Multipropósito que proporciona agua para diversos usos. Este sistema incluye componentes como el suministro de agua potable, riego agrícola, generación de hidroelectricidad y otros usos. La zona de influencia considerada fue la cuenca hidrográfica del río Machángara.

Los extremos climáticos y las actividades humanas dentro de la subcuenca afectan los extremos hidrológicos, lo que a su vez genera amenazas que impactan negativamente en la disponibilidad de agua. Estas amenazas incumben tanto en las demandas ambientales como en las demandas consuntivas (agua potable y riego) y no consuntivas (hidroelectricidad) de agua en la región.

Para identificar y observar cada una de estas subunidades de análisis o componentes del sistema hídrico multipropósito, se desarrolló un esquema detallado, representado en la Figura 3.

Figura 3

Esquema del Sistema Hídrico Multipropósito Machángara.

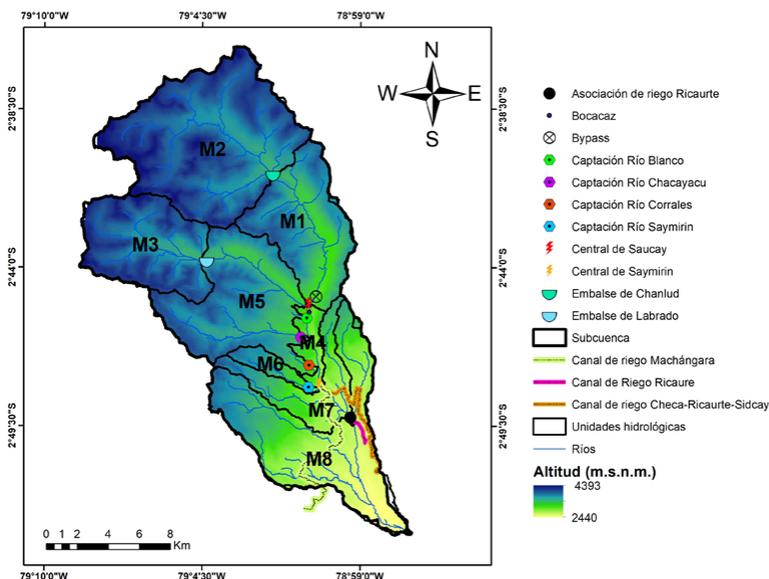


Para una evaluación integral del sistema hídrico, se definieron los enfoques de evaluación (ambiental, socioeconómico y gobernanza). Las subunidades de análisis corresponden a cada uno de los sistemas que componen el Sistema Hídrico Multipropósito Machángara: las centrales hidroeléctricas (Saucay y Saymirín), sistemas de riego (Juntas de Riego y Drenaje Machángara; Checa-Sidcay-Ricaurte y Sociedad Ricaurte), sistemas de potabilización (Tixán, Patamarca y Chulco), e industrias. Cada subunidad posee un área de drenaje natural, que contribuye con el agua según la respuesta hidrológica de la subcuenca.

La Figura 4 muestra cada componente del Sistema Hídrico Multipropósito Machángara (subunidades de análisis), a partir de los cuales se estimarán los aportes hidrológicos.

Figura 4

Áreas aportantes y subunidades de evaluación del Sistema Hídrico Multipropósito del Machángara.



5.2 Amenazas climáticas directas e indirectas

Es importante mencionar que para el caso de estudio se realiza el análisis de amenazas que enfrenta el Sistema Hídrico Multipropósito de la subcuenca del río Machángara, considerando tanto el sistema hídrico como el entorno físico que conforma la subcuenca. Las amenazas climáticas directas dependen únicamente de las variables climáticas, mientras que las amenazas climáticas indirectas están condicionadas por el entorno y las características específicas de la subcuenca.

5.2.1 Evaluación de las amenazas climáticas directas

Las amenazas directas se evalúan utilizando los escenarios climáticos RCP4.5 y RCP8.5, que reflejan los cambios futuros en las emisiones de gases de efecto invernadero y, por ende, en las variables climáticas como la precipitación,

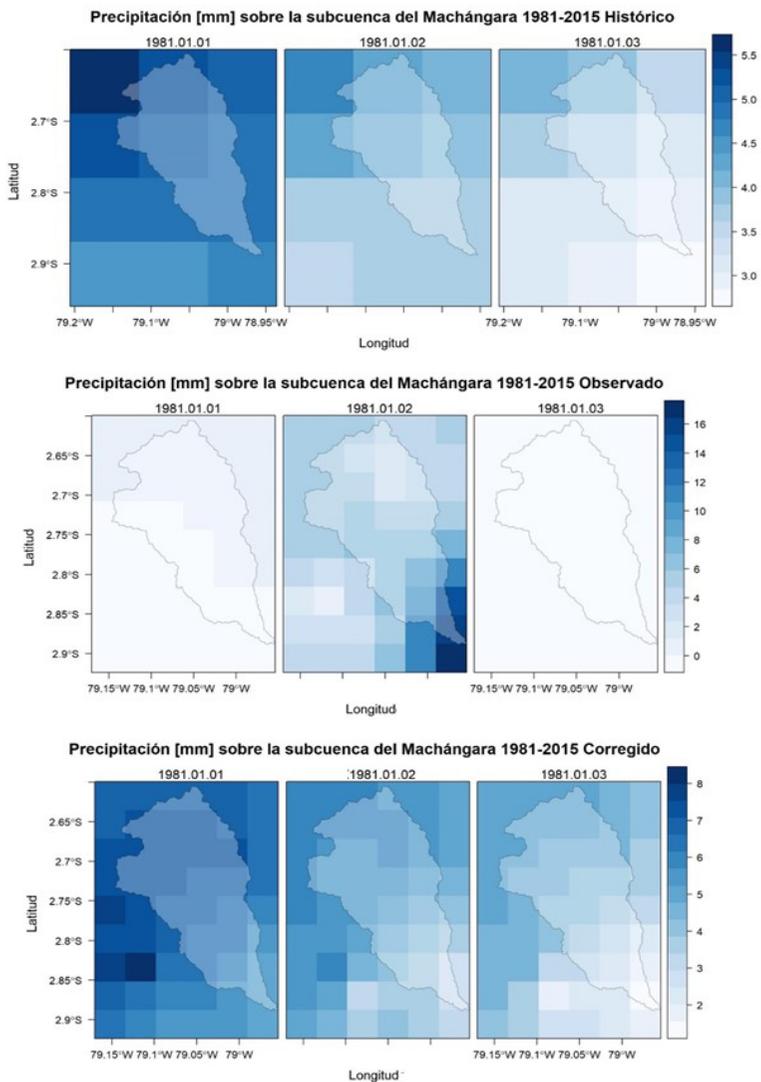
temperatura media, máxima y mínima. Estas proyecciones se basan en el modelo climático regional (RCM) ENSAMBLE, desarrollado por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica como parte de la Tercera Comunicación Nacional sobre cambio climático de Ecuador (MAE, 2017). Para mejorar la precisión en las proyecciones climáticas específicas para la zona de evaluación, se aplicó un método de reducción de escala, reduciendo el tamaño del píxel de 10 km × 10 km a 4 km × 4 km, lo cual aumentó la resolución espacial del modelo regional.

En caso de no contar con suficientes datos para realizar el proceso de *downscaling*, se sugiere utilizar directamente las salidas del modelo climático regional. Sin embargo, debido a la cantidad considerable de datos involucrados, se recomienda recortar la información utilizada para la zona de estudio con el fin de optimizar el procesamiento computacional.

El método de *downscaling* empleado para la subcuenca del Machángara es el *downscaling* geoestadístico, que consiste en corregir el sesgo de los intervalos regulares de distribución de las salidas de los modelos climáticos globales o regionales. Este método utiliza datos observados de estaciones meteorológicas como referencia y es crucial para la modelación hidrológica precisa de la subcuenca y sus microcuencas. La corrección del sesgo se ilustra en la Figura 5, donde se comparan los datos observados de las estaciones meteorológicas con las salidas históricas del modelo climático regional, ajustadas mediante factores de corrección.

Figura 5

Ejemplificación del proceso de downscaling geoestadístico.



5.2.1.1 Downscaling geoestadístico mediante corrección de sesgo de intervalos regulares de distribución

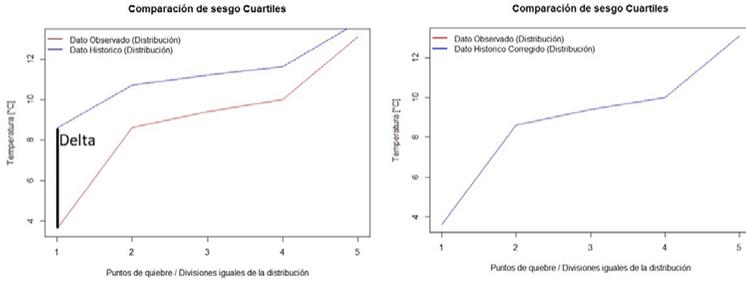
Este proceso se fundamenta en la metodología empleada en trabajos previos realizados por Fang et al. (2015), Gudmundsson et al. (2012), Heo et al. (2019), Luo et al. (2018), y Switanek et al. (2017).

La metodología se centra en corregir los sesgos de los escenarios de los modelos climáticos globales o regionales utilizando como referencia los datos observados de la zona de estudio. Para una mejor comprensión, se denominarán “datos observados” a los registros de las estaciones climáticas o meteorológicas, considerados como los valores reales o verdaderos. Por otro lado, los “datos históricos” corresponden al mismo periodo que los datos observados, pero obtenidos del modelo climático global o regional. Los “datos futuros crudos” se refieren a los obtenidos directamente del modelo climático global o regional para periodos futuros, mientras que los “datos futuros corregidos” son aquellos obtenidos después del proceso de corrección de sesgos de intervalos regulares de distribución.

La corrección del sesgo implica determinar el delta o la variación entre los intervalos regulares de distribución de los datos observados y los datos históricos. En primer lugar, se definen los intervalos de distribución a utilizar, como cuartiles, deciles, percentiles u otros que dividan la distribución de datos en partes iguales. Por ejemplo, al emplear cuartiles, se obtienen cinco puntos de ruptura que dividen la distribución en cuatro partes iguales, y este delta (o factor de corrección) se determina en estos puntos. Para ilustrar este proceso, se calculará el delta de los cuartiles para la variable de temperatura (Figura 6): una vez aplicado este delta a la serie distribuida que se desea corregir, adoptará una distribución similar a la serie considerada como real o verdadera.

Figura 6

Comparación de sesgo de distribución de datos de temperatura.



Este factor de corrección o delta se obtiene mediante la Ecuación 5.

$$\Delta_n = \frac{A_n}{B_n} \quad (5)$$

Donde:

Δ_n : Es el valor de delta correspondiente al punto de quiebre n.

A_n : Es el valor real o dato observado en el punto de quiebre n.

B_n : Es el valor a corregir, dato histórico o dato futuro en el punto de quiebre n.

n: Corresponde al número de quiebre del que se obtiene el delta o factor de corrección.

Como se observa en la Ecuación 5, se calcularán una serie de deltas igual al número de puntos de quiebre, los cuales están determinados por los intervalos de distribución utilizados. Una vez obtenido este valor, se procede con la corrección de los valores históricos o futuros mediante la aplicación de la Ecuación 6:

$$C_n = \Delta_n \times B_n \quad (6)$$

Donde:

C_n : Es el valor corregido, ya sea dato histórico o dato futuro en el punto de quiebre n .

Δ_n : Es el valor de delta correspondiente al punto de quiebre n .

B_n : Es el valor a corregir, dato histórico o dato futuro en el punto de quiebre n .

n : Corresponde al número de quiebre del que se obtiene el delta o factor de corrección.

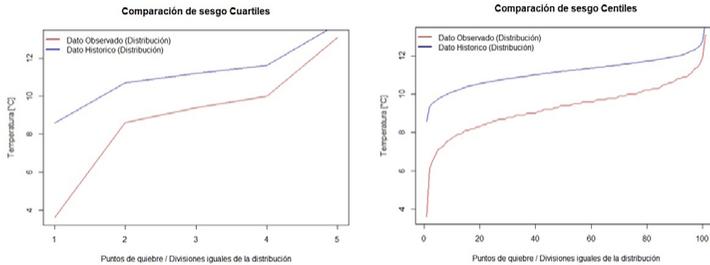
Estos datos deben corregirse en intervalos para obtener series corregidas en lugar de solo puntos corregidos. Por lo tanto, las correcciones se aplican dentro de los rangos establecidos por cada uno de los puntos de quiebre en las divisiones equitativas de la distribución. Es crucial seleccionar el número de divisiones de la distribución (cuartiles, quintiles, percentiles, etc.), ya que esto afecta significativamente:

1. El tiempo requerido para procesar los datos.
2. La precisión de los resultados de los datos corregidos, según los criterios del evaluador.

Para ilustrar esto, se presentan en la Figura 7 y Figura 8 las posibles diferencias entre seleccionar un método de corrección basado en cuartiles y percentiles. Basándonos en la experiencia previa del equipo consultor, se recomienda utilizar una distribución basada en percentiles, ya que se ha observado que proporciona una mejor relación entre el costo computacional y los resultados obtenidos.

Figura 7

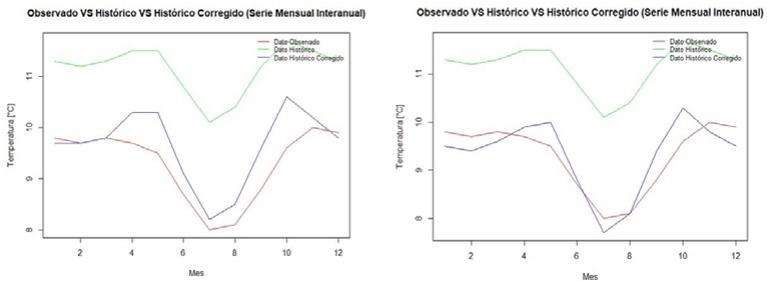
Comparación de sesgos entre cuartiles vs percentiles.



En la Figura 7, se observa en rojo la distribución de los datos observados, y en azul la distribución de los datos históricos de la variable de temperatura, mostrándose a la izquierda mediante cuartiles y a la derecha mediante percentiles.

Figura 8

Comparación de resultados entre proceso de corrección cuartiles y percentiles.



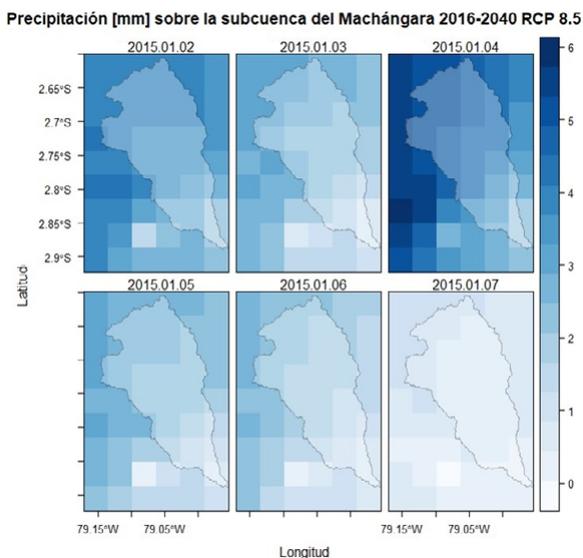
Estos ejemplos evidencian la corrección de los datos históricos; sin embargo, el principio es el mismo al momento de obtener los datos futuros corregidos de los modelos climáticos globales o regionales.

Para repartir espacialmente esta corrección, la metodología se implementa píxel a píxel, en vez de realizarlo en cada uno de los puntos correspondientes a las estaciones meteorológicas. Para esto es necesario dimensionar nuevamente los raster de los modelos climáticos para que coincidan con el tamaño y ubicación del píxel del modelo climático, obtenido por los datos observados en las estaciones meteorológicas. Como segundo paso se extraen los datos de cada píxel en formato secuencial, es decir, se toma a cada centroide de píxel como si fuera la estación de monitoreo meteorológico. A continuación, se emplea la metodología descrita anteriormente y se determina a los percentiles como intervalo de distribución. Como resultado de esto obtenemos los modelos con un downscaling geoestadístico en formato raster con un tamaño de píxel de 4 km y con series de tiempo observadas, históricas, futuras en escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

A manera de ejemplo, se muestra el mapa resultante para el escenario RCP8.5 (Figura 9). Cada mapa contiene 54 píxeles con los datos de precipitación diarios dentro del periodo de análisis.

Figura 9

Distribución de la precipitación.



Cuando se han obtenido las series de tiempo corregidas de las variables climáticas, se determinan las amenazas mediante los índices climáticos propuestos por CLIMDEX. Estos índices se utilizan para la evaluación y el análisis de las tendencias climáticas y los eventos climáticos extremos. Para esto, se emplea la paquetería “RCLIMDEX” en el software RStudio, donde se estiman un total de 24 índices que utilizan datos diarios de precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima. Estos índices se relacionan con el comportamiento de la precipitación, así como con las temperaturas mínimas y máximas durante el día y la noche. La Tabla 6 presenta los índices utilizados.

Tabla 6

Índices climáticos – CLIMDEX.

Variable	Índice	Definición	Unidad
Precipitación	CDD	Días secos consecutivos	días
	CWD	Días de lluvia consecutivos	días
	PRCPTOT	Precipitación total anual en días húmedos	mm
	R10mm	Número de días de fuertes precipitaciones	días
	R20mm	Número de días de precipitación muy fuerte	días
	R95PTOT	Días muy húmedos	mm
	R99PTOT	Días extremadamente húmedos	mm
	SDII	Índice de intensidad de día simple	mm/día
	RX1day	Cantidad máxima de precipitación en 1 día	mm
	RX5day	Cantidad máxima de precipitación de 5 días	mm

Variable	Índice	Definición	Unidad
Temperatura	TN10p	Noches frías	%
	TN90p	Noches cálidas	%
	TNn	Temperatura mínima más baja	°C
	TNx	Temperatura mínima más alta	°C
	CSDI	Índice de duración de la ola de frío	días
	FD	Días de helada	días
	DTR	Rango temperatura diaria	°C
	TX10p	Días fríos	%
	TX90p	Días cálidos	%
	TXn	Temperatura máxima más baja	°C
	TXx	Temperatura máxima más alta	°C
	WSDI	Índice de duración de la ola de calor	días
	SU	Días de verano	días

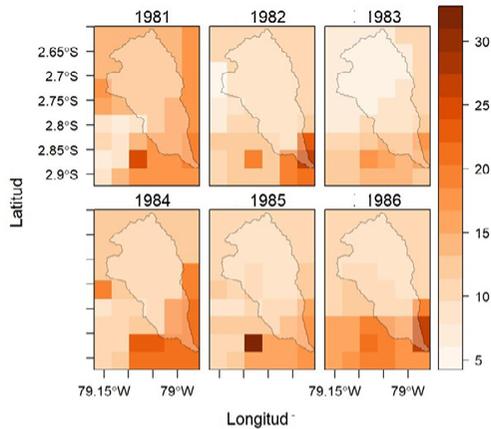
Los valores de los índices climáticos se asignan al píxel donde se extrajo la información de las variables climáticas, lo que permite obtener la distribución espacial de los índices de amenazas. Un ejemplo de un mapa resultante se muestra en la Figura 10.

Los índices de CLIMDEX se calculan a escala anual y para facilitar la interpretación de resultados, el periodo de evaluación se dividió en ventanas temporales quinquenales, sumando así los valores de cada índice durante períodos de 5 años. Los índices utilizados para caracterizar las amenazas climáticas directas (sequías, heladas, lluvias intensas y olas de calor) se presentan en la Tabla 7. Los valores obtenidos para cada índice climático se pueden considerar como indicadores cuantitativos de las amenazas climáticas directas.

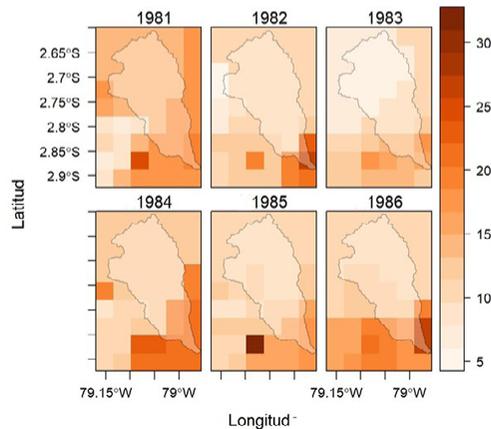
Figura 10

Distribución de los valores de los índices CDD para el escenario RCP 4.5 y RCP 8.5.

Valores del índice CDD escenario RCP 4.5 1981-2040



Valores del índice CDD escenario RCP 8.5 1981-2040



Los valores cuantitativos estandarizados de los índices climáticos representan los factores de amenaza en la evaluación del riesgo. Se utilizó una metodología de estandarización por quintiles, donde los valores que caen en el rango del primer quintil obtuvieron el valor más bajo (1), mientras que el quinto quintil obtuvo el valor más alto (5).

Tabla 7

Índices CLIMDEX para estimar amenazas climáticas directas.

Amenaza	Índice	Descripción	Formulación
<i>Precipitaciones intensas</i>	R95P (Días muy lluviosos)	Sea RR_{wj} la cantidad diaria de precipitación de un día húmedo (con precipitación mayor e igual a 1mm) en el año j; sea RR_{wn95} el percentil 95 de precipitación en los días húmedos de todo el periodo de estudio, y sea W el número de días húmedos en el periodo.	$RR_{wj} > RR_{wj95}$ <p>Donde</p> $R95_{PJ} = \sum_{W=1}^W RR_{Wj}$
<i>Sequías meteorológicas</i>	CDD (Días secos consecutivos)	Sea RR_{ij} la cantidad diaria de precipitación en el día i del año j	El índice consiste en la mayor cantidad de días consecutivos, donde: $RR_{ij} < 1mm$
<i>Heladas</i>	FD (Días al año con temperatura por debajo de 0°C)	Sea Tn_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j	Cuenta el número de días cuando: $Tn_{ij} < 0^{\circ}C$
<i>Altas temperaturas</i>	TX90P (Días muy calurosos)	Sea Tx_{ij} la temperatura diaria máxima en el día i del año j, y sea Tx_{in90} el día calendario del percentil 90 centrado en una ventana de 5-días.	$Tx_{ij} > Tx_{in90}$

5.2.2 Evaluación de las amenazas climáticas indirectas

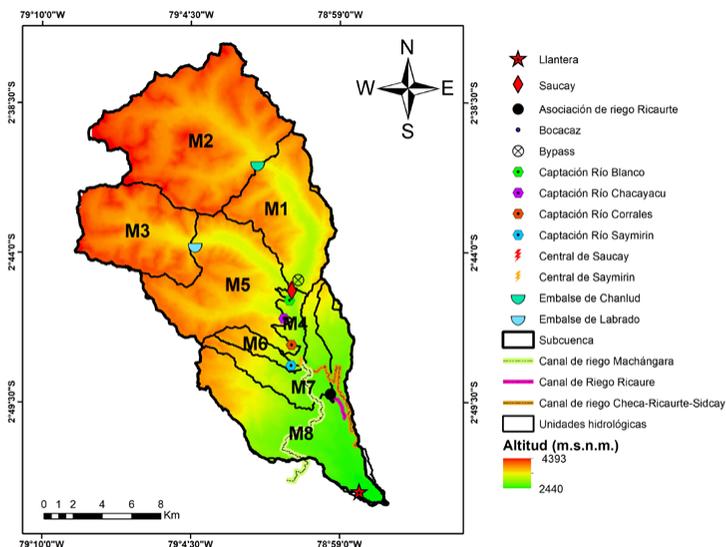
Como paso previo a la evaluación de las amenazas climáticas indirectas, se lleva a cabo una modelación hidrológica con el objetivo de simular los caudales de la subcuenca para cada subunidad de evaluación. Este proceso se realiza tanto para el periodo actual como para escenarios futuros, dado que no se dispone de un registro de caudales en cada punto de interés.

Se establecieron dos metodologías de simulación: una natural, a través de la modelación hidrológica de la subcuenca, y otra considerando las infraestructuras hidráulicas que regulan el flujo de agua, mediante el sistema de operación del Complejo Hidroeléctrico Machángara. Es

importante mencionar que las subunidades de evaluación corresponden a las áreas que contribuyen hacia los puntos de interés. En total se identificaron 8 microcuencas: los embalses de Chanlud y El Labrado, las centrales hidroeléctricas de generación Saucay y Saymirín, los puntos de captación de los canales de riego Machángara, Checa-Sidcay-Ricaurte y Sociedad Ricaurte, y la estación Machángara-Llantera en la desembocadura de la subcuenca (Figura 11).

Figura 11

Áreas de aporte y puntos de interés en la subcuenca del río Machángara.



5.2.2.1 Modelación hidrológica de la Subcuenca del río Machángara

Para la modelación hidrológica se utilizó el software HEC-HMS en su versión 4.1, el cual consta de tres componentes principales. Se empleó un método de modelación híbrida que integra variables meteorológicas como precipitación y temperatura (variables de entrada), las características específicas de la subcuenca hidrográfica, el uso del suelo y otros parámetros relevantes. A través de este proceso, se generaron los caudales naturales simulados a escala diaria para cada microcuenca contribuyente.

El proceso de modelación se divide en dos fases: una etapa de calibración, donde se ajustan los parámetros del modelo para representar adecuadamente los procesos de precipitación, evaporación, infiltración y escurrimiento; y una etapa de validación, donde se verifica la capacidad de estos parámetros para reproducir los caudales observados en cualquier periodo de modelación.

5.2.2.2 Modelo de operación del río Machángara

En la subcuenca del río Machángara se encuentran estructuras que regulan y desvían el flujo natural del agua, lo cual afecta su balance hídrico. Por esta razón, se desarrolló un modelo de operación que considera el comportamiento y los procesos operativos de represas, tanques y canales dentro del sistema hídrico multipropósito en la cuenca hidrográfica.

El modelo de operación consta de una fase de calibración que incluye el periodo con datos observados y una fase de validación que incorpora un periodo de prueba utilizando datos no utilizados en la calibración inicial. Las variables de entrada incluyen el caudal natural simulado para cada microcuenca mediante el modelo hidrológico y los caudales de salida estimados para cada componente del sistema (subunidad de análisis). Estos datos se introducen secuencialmente para cada unidad de análisis, donde el caudal estimado en un componente sirve como entrada para el siguiente componente del sistema hídrico aguas abajo.

Los parámetros del modelo incluyen el volumen inicial de reservorios, depósitos y canales, adaptados a las características específicas de cada componente del sistema hídrico como reservorios, depósitos, canales y aliviaderos, entre otros. El modelo requiere principalmente capacidades iniciales, máximas y mínimas de la infraestructura, así como el caudal ecológico despachado para los ríos y el caudal asignado para las demandas consuntivas y no consuntivas.

Como variables de salida, se estiman los caudales simulados de despacho para cada componente del sistema hídrico y el caudal simulado que retorna al río, compuesto por un caudal ecológico y un caudal de desborde de tanques y represas. Tanto los caudales de entrada como los de salida están limitados por la infraestructura y las capacidades máximas de los canales de transporte. Las estructuras dentro del esquema de operación se detallan en la Figura 12.

Una vez calibrado y validado el modelo de operación, se procedió a evaluar las amenazas hidrológicas, especialmente la sequía hidrológica, en el Sistema Hídrico Multipropósito del río Machángara.

5.2.2.3 Sequía hidrológica

De las cuatro amenazas climáticas directas evaluadas (sequías, precipitaciones intensas, heladas y olas de calor), la que más afecta al Sistema Hídrico Multipropósito Machángara es la sequía meteorológica, la cual impacta en los procesos hidrológicos de la cuenca. Por lo tanto, se consideró necesario evaluar la sequía hidrológica como una amenaza indirecta para el sistema, dado que la escasez de recursos hídricos podría generar problemas en cada uno de los componentes o subunidades de evaluación. Con este objetivo, se llevó a cabo una evaluación de las zonas o áreas contribuyentes a cada componente del sistema hídrico (ver Figura 13, Figura 14 y Tabla 8) para identificar las amenazas hidrológicas.

Es importante mencionar que en este estudio no se incluyó la evaluación de la industria debido a la falta de información necesaria para realizar un análisis de riesgo adecuado. Sin embargo, esta información podría integrarse en análisis futuros de sistemas hídricos que la contemplen. El mismo enfoque se aplicó al Sistema de Potabilización Patamarca.

Figura 13

Amenazas Hidrológicas para el Sistema Hídrico Multipropósito del Machángara.

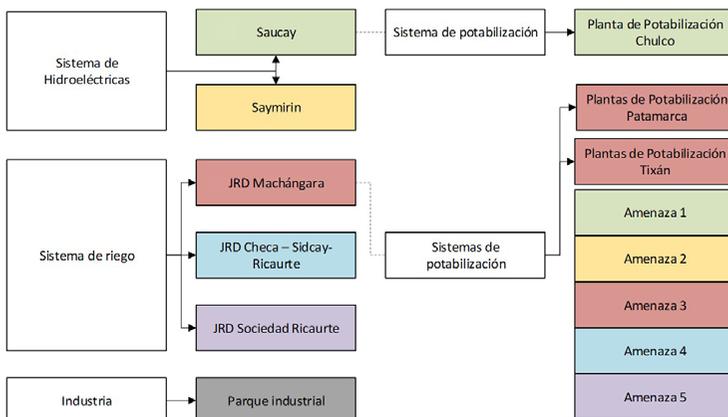


Figura 14

Áreas aportantes a los sistemas componentes del Sistema Hídrico Multipropósito Machángara.

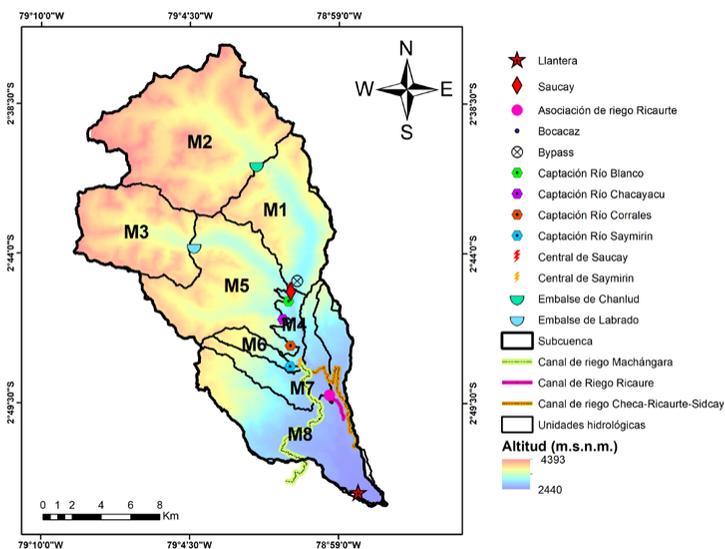


Tabla 8*Área aportante a cada subunidad de evaluación.*

Subunidad de evaluación	Área aportante
Sistema de hidroeléctricas - Saucay	M2 + M3
Sistema de hidroeléctricas - Saymirín	M2 + M3 + M5 + M6
Sistema de riego – JRD Machángara	M2 + M3 + M5 + M6 (Amenaza de sequía está en directa relación con el caudal turbinado)
Sistemas de potabilización – Planta de potabilización Tixán	
Sistema de riego – JRD Checa-Sidcay-Ricaurte	M2 + M3 + M5 + M6 (Amenaza de sequía está en directa relación con el caudal turbinado) + M1 + M4
Sistema de riego – JRD Asociación Ricaurte	M2 + M3 + M5 + M6 (Amenaza de sequía está en directa relación con el caudal turbinado) + M1 + M4 + M7

Para estimar las amenazas hidrológicas, se utilizaron los caudales derivados de los modelos hidrológicos y del sistema operativo del sistema hídrico para cada componente o subunidad de evaluación. Se aplicó el índice FL1 a las series temporales obtenidas durante el periodo 2001-2040, dividido en el periodo base 2001-2015 y el periodo futuro 2016-2040, bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Este índice FL1 cuenta los eventos de flujo que caen por debajo del percentil 25 y se ha validado como un indicador adecuado para evaluar sequías hidrológicas (Ochoa-Tocachi y Buytaert, 2014).

Una vez calculado el índice FL1 para cada serie temporal, se procedió a sumar los valores acumulados a lo largo de periodos quinquenales, para posteriormente estandarizar estos resultados mediante intervalos regulares de distribución.

La evaluación de la sequía hidrológica se llevó a cabo tanto para la modelación hidrológica natural de la subcuenca (utilizada en el enfoque ambiental de evaluación de riesgos) como para la modelación hidrológica que incluye el sistema de operación (utilizada en los enfoques socioeconómicos y de gobernanza).

5.2.2.4 Amenazas de sequía hidrológica natural

El valor de las amenazas de sequía hidrológica, teniendo en cuenta únicamente los aportes naturales de las microcuencas para cada subunidad de evaluación, se presenta en las Tablas del 9 al 13.

Tabla 9

Índice de amenaza hidrológica para el sistema de hidroeléctricas - Saucay.

Ventana Temporal	Índice de amenaza estandarizado RCP 4.5	Índice de amenaza estandarizado RCP 8.5
2011-2015	1	1
2016-2020	2	1
2021-2025	5	5
2026-2030	3	5
2031-2035	4	4
2036-2040	3	2

Tabla 10

Índice de amenaza hidrológica para el sistema de hidroeléctricas - Saymirín.

Ventana Temporal	Índice de amenaza estandarizado RCP 4.5	Índice de amenaza estandarizado RCP 8.5
2011-2015	1	1
2016-2020	2	1
2021-2025	5	4
2026-2030	4	5
2031-2035	2	5
2036-2040	3	3

Tabla 11

Índice de amenaza hidrológica para el sistema de riego – Machángara y Sistemas de potabilización – Planta de potabilización Tixán.

Ventana Temporal	Índice de amenaza estandarizado RCP 4.5	Índice de amenaza estandarizado RCP 8.5
2011-2015	1	1
2016-2020	2	1
2021-2025	5	4
2026-2030	4	5
2031-2035	2	5
2036-2040	3	3

Tabla 12

Índice de amenaza hidrológica para el sistema de riego – Checa-Sidcay-Ricaurte.

Ventana Temporal	Índice de amenaza estandarizado RCP 4.5	Índice de amenaza estandarizado RCP 8.5
2011-2015	1	1
2016-2020	1	1
2021-2025	4	4
2026-2030	5	5
2031-2035	1	1
2036-2040	2	2

Tabla 13*Índice de amenaza hidrológica para el sistema de riego – Sociedad Ricaurte.*

Ventana Temporal	Índice de amenaza estandarizado RCP 4.5	Índice de amenaza estandarizado RCP 8.5
2011-2015	1	1
2016-2020	1	1
2021-2025	1	1
2026-2030	1	1
2031-2035	1	1
2036-2040	5	5

Cabe resaltar que esta estimación de sequía natural difiere de la estimación que incluye la operación de los embalses. La primera considera únicamente el aporte natural de las zonas de drenaje o áreas aportantes a cada una de las subunidades de evaluación. En contraste, la segunda incluye el modelo de estimación de la operación del Sistema Hídrico Multipropósito Machángara. Este modelo abarca la operación de los embalses y tanques, los cuales, en un sistema regulado como la subcuenca del Machángara, condicionan significativamente el flujo del recurso hídrico en cada uno de los usos dados.

Por este motivo, desde el enfoque ambiental y en el área de análisis de cantidad de agua, se prefieren las estimaciones de sequía que emplean los caudales naturales de las áreas aportantes. En este contexto, el análisis de riesgo ambiental se centra en la capacidad de regulación hidrológica natural de la subcuenca, sin considerar la operación del sistema hídrico multipropósito. En cambio, para la evaluación de la sequía desde el enfoque socioeconómico y en el área de análisis de soberanía alimentaria, es crucial determinar la cantidad de agua que efectivamente llega a cada una de las subunidades de evaluación. Esto se debe a que dicha cantidad está fuertemente condicionada por la gestión y operación del sistema hídrico en la cuenca.

5.2.2.5 Amenazas de sequía hidrológica considerando la operación del sistema hídrico multipropósito

Al emplear el indicador FL1 en las series estimadas del modelo hidrológico introducido (el modelo de estimación de operación del sistema hídrico para

el periodo 2001-2040 bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5), se obtienen los siguientes valores de amenaza estandarizada de sequía hidrológica (Tablas 14 - 18):

Tabla 14

Índice de amenaza hidrológica para el sistema de hidroeléctricas - Saucay.

Ventana temporal	Índice de amenaza estandarizado RCP 4.5	Índice de amenaza estandarizado RCP 8.5
2011-2015	1	1
2016-2020	3	2
2021-2025	5	5
2026-2030	4	5
2031-2035	3	4
2036-2040	4	3

Tabla 15

Índice de amenaza hidrológica para el sistema de hidroeléctricas - Saymirín.

Ventana temporal	Índice de amenaza estandarizado RCP 4.5	Índice de amenaza estandarizado RCP 8.5
2011-2015	1	1
2016-2020	3	3
2021-2025	4	5
2026-2030	4	5
2031-2035	3	4
2036-2040	4	3

Tabla 16

Índice de amenaza hidrológica para el sistema de riego - Machángara.

Ventana temporal	Índice de amenaza estandarizado RCP 4.5	Índice de amenaza estandarizado RCP 8.5
2011-2015	1	1
2016-2020	3	3
2021-2025	4	4
2026-2030	4	5
2031-2035	3	4
2036-2040	3	3

Tabla 17

Índice de amenaza hidrológica para el sistema de riego – Checa-Sidcay-Ricaurte.

Ventana temporal	Índice de amenaza estandarizado RCP 4.5	Índice de amenaza estandarizado RCP 8.5
2011-2015	1	1
2016-2020	3	3
2021-2025	3	3
2026-2030	5	5
2031-2035	3	4
2036-2040	3	5

Tabla 18*Índice de amenaza hidrológica para el sistema de riego—Sociedad Ricaurte.*

Ventana temporal	Índice de amenaza estandarizado RCP	Índice de amenaza estandarizado RCP
	4.5	8.5
2011-2015	1	1
2016-2020	1	1
2021-2025	1	1
2026-2030	1	1
2031-2035	1	1
2036-2040	1	1

5.2.2.6 Erosión y deslizamientos

Al tratarse de una amenaza geoespacial, se empleó una metodología basada en un análisis preliminar que considera las características geoespaciales de la subcuenca y la amenaza climática de lluvias intensas como factor desencadenante. Este enfoque es similar al utilizado por Mora-Vahrson y ha sido empleado en estudios similares dentro de la subcuenca (Jiménez, 2018).

Para abordar esta amenaza indirecta, es necesario llevar a cabo estudios específicos que incluyan la identificación de zonas vulnerables debido a la presencia de asentamientos humanos o su importancia ecológica, ya que la pérdida de estas áreas podría resultar en efectos secundarios como la fragmentación del hábitat. Sin embargo, debido a la disponibilidad limitada de información y con el objetivo de evaluar esta amenaza en el caso de estudio, se realizó una aproximación preliminar.

La metodología aplicada establece cuatro factores de análisis para estimar los deslizamientos y la erosión dentro de la subcuenca del Machángara: la pendiente, expresada en grados de elevación obtenidos de un modelo de elevación digital (DEM); la cobertura vegetal de la subcuenca correspondiente al año 2019 (información obtenida del IERSE, Universidad del Azuay); la textura del suelo obtenida del Sistema Nacional de Información (SNI); y la amenaza de precipitaciones o lluvias intensas, obtenida del análisis de

amenazas climáticas directas R99P para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 a escala quinquenal. De esta manera, la amenaza de deslizamientos y erosión se expresa mediante la Ecuación 7.

$$AD = FP \times FT \times FCB \times FLLI \quad (7)$$

Donde:

AD: Valor de la amenaza de deslizamientos y erosión

FP: Factor de la pendiente estandarizada.

FT: Factor de textura de suelo estandarizado

FCB: Factor de cobertura vegetal.

FLLI: Factor de lluvias intensas

Para la interpretación del valor de AD, se estandariza el resultado obtenido mediante la Tabla 19.

Tabla 19

Estandarización del valor AD.

Rango del valor de amenaza AD	Descripción	Valor estandarizado
$\geq 1 - \leq 18$	Muy bajo	1
$> 18 - \leq 36$	Bajo	2
$> 36 - \leq 64$	Medio	3
$> 64 - \leq 120$	Alto	4
$> 120 - \leq 625$	Muy alto	5

Para obtener los factores FCB, FP y FT, se clasifican los valores en cada uno de los archivos del sistema de información geográfica (SIG), mediante las valoraciones que se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20*Estandarización de los valores de cobertura vegetal, pendiente y textura de suelo.*

FCB		FP		FT	
Cobertura Vegetal	Valor	Pendiente	Valor	Textura suelo	Valor
Bosque	1	0-18	1	Arenas, limos, arcillas y conglomerados	5
Cuerpos de agua	1	18-36	2	Tobas y aglomerados (dacíticos, riolíticos y andesíticos) caolinizados, con bajo porcentaje de lava	3
Erial	4	36-54	3	Depósitos superficiales indiferenciados	3
Páramo	2	54-72	4	Till, tillita. Depósitos pobremente clasificados con ausencia de estratificación y ordenamiento interno, con fragmentos de tamaño bloque empastados en matriz de grano fino	4
Tierras agropecuarias	3	72-90	5	Mezcla heterogénea de materiales finos y fragmentos angulares rocosos, con ausencia de estratificación y estructuras de ordenamiento interno	4
Vegetación arbustiva y herbácea	3			Otros	NA
Zona antrópica	1			Limos, arcillas, arenas, gravas y bloques en proporciones variables	5
				Bloques y gravas en matriz de grano fino, con ocasionales niveles de arenas	5
				No aplica	NA

Tobas andesíticas verdes muy meteorizadas y lavas andesíticas a andesito-basálticas	4
Limos, arcillas, arenas, gravas y bloques	5
Conglomerado, limo arenoso, arcilla limosa	5
Limos y arcillas (predominantes en la zona distal) y arenas, gravas y bloques (predominantes en la zona apical), en proporciones variables y con acusados	5
Conglomerados andesíticos gruesos y brechosos, con intercalaciones de areniscas y limolitas tobáceas; escasamente litificados y consolidados	3
Alternancia de arcillas rojas con areniscas y conglomerados	3
Limolitas, lutitas y areniscas de grano fino interestratificadas; lutitas con vetas de carbón; areniscas de grano grueso y conglomeráticas	2
Mezcla heterogénea de materiales finos y fragmentos angulares rocosos de muy diverso tamaño	5

Para el factor de lluvias intensas, se utiliza el mapa de valores estandarizados de amenaza de precipitación o lluvias intensas en una escala del 1 al 5, por lo que no es necesario realizar ningún tipo de estandarización adicional. Una vez completado este análisis, se obtienen los resultados de la amenaza por deslizamientos y erosión para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 (Figuras 15 y 16).

Figura 15

Amenaza de deslizamientos y erosión bajo escenarios RCP 4.5.

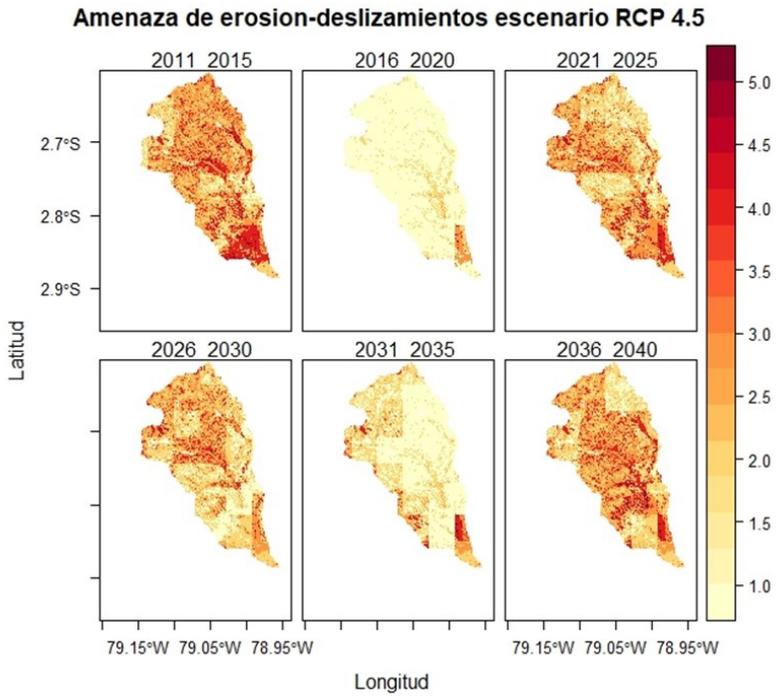
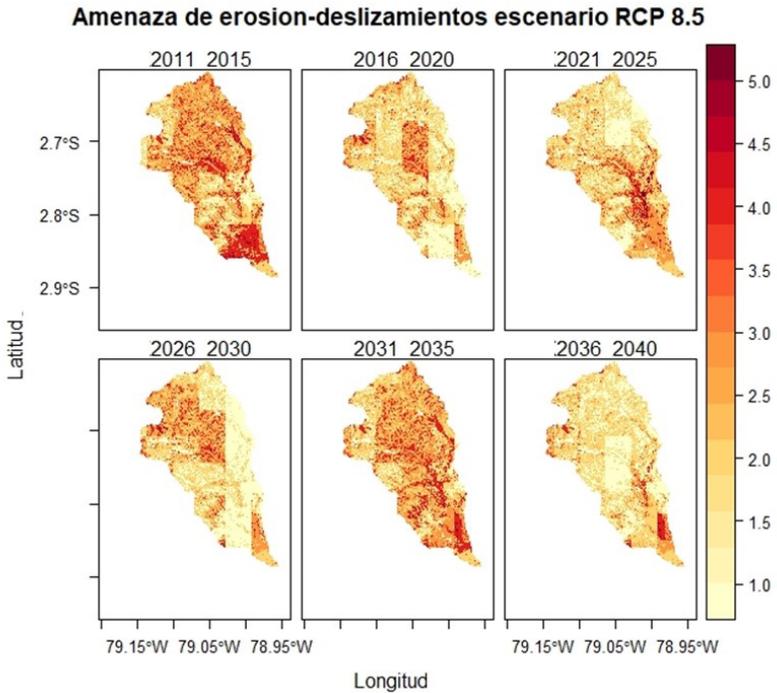


Figura 16

Amenaza de deslizamientos y erosión bajo escenarios RCP 8.5.



Si se obtiene el valor promedio de esta amenaza en la subcuenca del río Machángara, se lograrán los valores que se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21

Índice de amenaza de deslizamientos y erosión para la subcuenca del Machángara.

Ventana temporal	Índice de amenaza estandarizado RCP 4.5	Índice de amenaza estandarizado RCP 8.5
2011-2015	3	3
2016-2020	1	2
2021-2025	2	2
2026-2030	2	2
2031-2035	2	3
2036-2040	3	2

5.2.2.7 Incendios forestales

Dado que esta amenaza es de tipo geoespacial, se empleó una metodología basada en un análisis preliminar, considerando las características geoespaciales de la subcuenca y la amenaza climática de temperaturas altas u olas de calor. Es importante destacar que el análisis realizado se considera preliminar. Se recomienda desarrollar estudios especializados o específicos que incluyan zonas vulnerables, ya sea por la presencia de asentamientos humanos o por su importancia ecológica. Además, se aconseja incorporar factores desencadenantes que consideren las actividades antrópicas, dado que los incendios forestales por causas naturales no son comunes en esta subcuenca.

Para la estimación de incendios, se establecieron tres factores de análisis que condicionan la amenaza: la cobertura vegetal de la subcuenca (información del año 2019 obtenida del IERSE, Universidad del Azuay), la amenaza de temperaturas altas u olas de calor, y la amenaza de sequía meteorológica. Estas dos últimas fueron obtenidas en el apartado de amenazas climáticas directas para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, a escala quinquenal.

De esta manera, la amenaza de incendios queda expresada mediante la Ecuación 8:

$$AI = FCB \times FTA \times FSM \quad (8)$$

Dónde:

AI: Valor de la amenaza de incendios

FCB: Factor de cobertura vegetal.

FTA: Factor de altas temperaturas

FSM: Factor de sequía meteorológica

Para la interpretación del valor de AI, se estandariza el resultado obtenido mediante la Tabla 22.

Tabla 22

Estandarización del valor AI.

Rango del valor de amenaza AI	Descripción	Valor estandarizado
$\geq 1 - \leq 8$	Muy bajo	1
$> 8 - \leq 15$	Bajo	2
$> 15 - \leq 24$	Medio	3
$> 24 - \leq 45$	Alto	4
$> 45 - \leq 125$	Muy alto	5

Para obtener los factores FCB se clasifican los valores del archivo del SIG mediante las valoraciones presentadas en la Tabla 23.

Tabla 23

Estandarización de los valores de cobertura vegetal.

FCB	
Cobertura Vegetal	Valor
Bosque	4
Cuerpos de agua	1
Erial	1
Paramo	3
Tierras agropecuarias	5
Vegetación arbustiva y herbácea	4
Zona antrópica	1

Para el factor de temperaturas altas, se emplea el mapa de valores ya estandarizados de amenaza de temperaturas altas en escala del 1 al 5, por lo que no es necesario realizar ningún tipo de estandarización adicional. Lo mismo ocurre con el factor de sequía meteorológica.

Una vez realizado este análisis, se obtienen las amenazas de incendios a nivel espacial y temporal para los escenarios futuros RCP4.5 (Figura 17) y RCP8.5 (Figura 18).

Figura 17

Amenaza de incendios forestales bajo el escenario RCP 4.5.

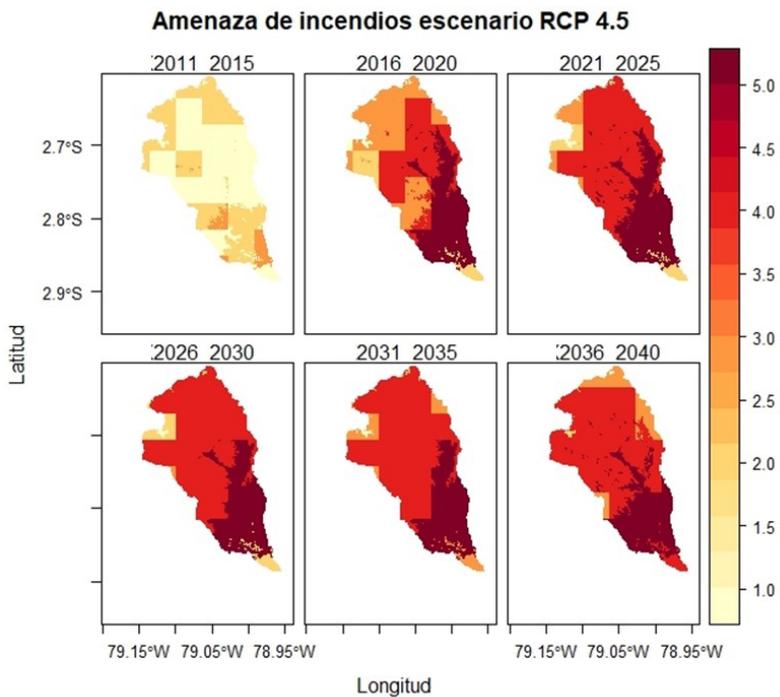
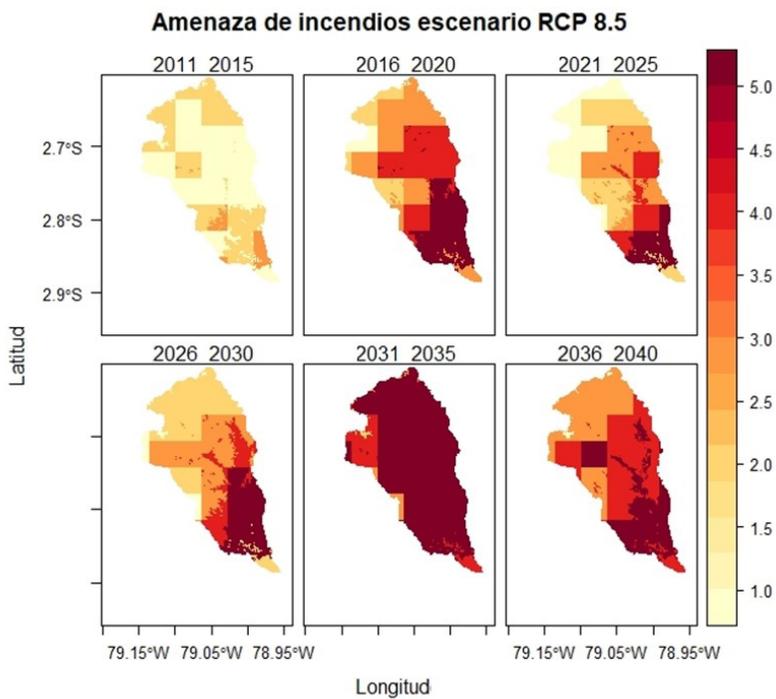


Figura 18

Amenaza de incendios forestales bajo el escenario RCP 8.5.



Si se obtiene el valor promedio de esta amenaza a la subcuenca del río Machángara, se alcanzan los valores que se presentan en la Tabla 24:

Tabla 24

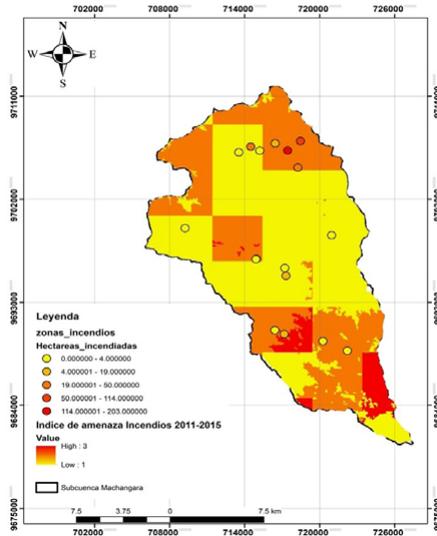
Índice de amenaza de incendios para la subcuenca del río Machángara.

Ventana Temporal	Índice de amenaza estandarizado RCP 4.5	Índice de amenaza estandarizado RCP 8.5
2011-2015	1	1
2016-2020	4	4
2021-2025	4	3
2026-2030	4	3
2031-2035	4	5
2036-2040	4	4

Al comparar el índice de amenazas de incendio con el registro de incendios acontecidos en la subcuenca, existe una mediana coincidencia. Por esta razón es probable que algunos episodios de incendios puedan deberse a factores antrópicos (inducidos por el ser humano). En la Figura 19 se observa que las áreas incendiadas no solo responden a las condiciones del entorno, ya que en zonas con una amenaza de incendios muy baja (valor 1) ya se han presentado quemas.

Figura 19

Registro de áreas con incendios forestales en comparación a la estimación de amenaza de incendios.



5.2.2.8 Crecidas o Avenidas.

Debido a que el sistema hídrico multipropósito se divide en subunidades de evaluación y estas no cuentan con un registro de datos observados, se optó por realizar un análisis global de la subcuenca en el punto de aforo en su desembocadura, es decir, en la estación de medición de caudales Llantera.

Para llevar a cabo este análisis, se empleó un concepto similar al utilizado para el indicador de sequías hidrológicas (índice FL1); sin embargo, en este caso se tomaron los valores por encima del percentil 75, lo cual permite evaluar las crecidas a nivel general dentro de la subcuenca. Se utilizaron las series de tiempo (2001-2040) obtenidas del modelo de operación del sistema hídrico en el punto final de la subcuenca, bajo los escenarios RCP8.5 y RCP4.5. Los valores estandarizados de las crecidas se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25

Índice de amenaza de crecidas para la subcuenca del río Machángara.

Ventana Temporal	Índice de amenaza estandarizado RCP 4.5	Índice de amenaza estandarizado RCP 8.5
2011-2015	3	3
2016-2020	3	1
2021-2025	4	5
2026-2030	3	4
2031-2035	5	5
2036-2040	5	3

5.2.2.9 Inundaciones

Debido a que las inundaciones suelen ocurrir con mayor frecuencia en la parte baja de la subcuenca, se examinaron los datos observados en la estación de monitoreo de Llantera para determinar el caudal más alto registrado, que fue de 70.31 m³/s el 21 de junio de 2016. El objetivo era evaluar las áreas inundables que podrían resultar de caudales elevados en la parte baja de la subcuenca mediante un modelo hidráulico. Sin embargo, debido a la falta de suficientes parámetros o datos, se realizó una breve evaluación utilizando el software de modelación hidráulica IBER. A continuación, se presenta el hidrograma ingresado (Tabla 26):

Tabla 26

Hidrograma de prueba.

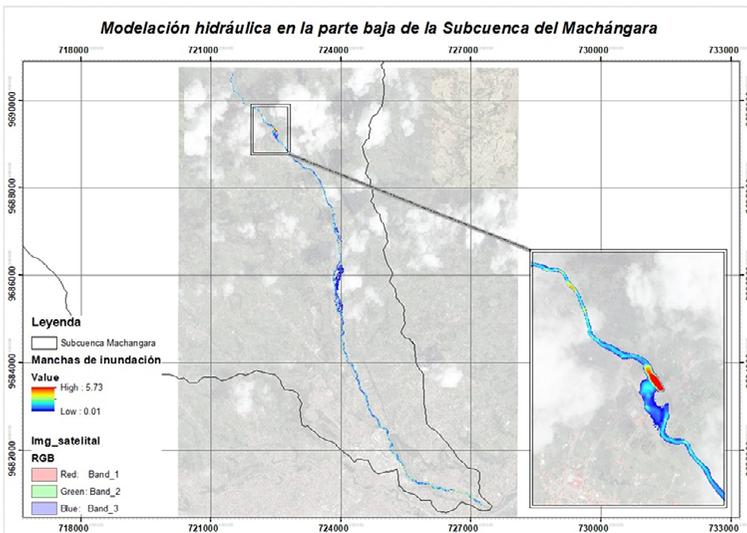
Segundos	Caudal [m³/s]
0	0
900	17.5775
1800	35.155
2700	52.7325
3600	70.31
4500	52.7325

5400	35.155
6300	17.5775
7200	0

Utilizando valores constantes de coeficientes de rugosidad y el Modelo Digital del Terreno (DEM) empleado en la modelación hidrológica, junto con una imagen satelital obtenida desde SASPlanet, se realizó una simulación hidráulica iniciando desde un punto cercano a la Planta de Hidroenergía Saymirín. El resultado de esta simulación se muestra en el siguiente mapa de inundaciones (Figura 20):

Figura 20

Manchas de inundación del modelo hidráulico.



El DEM utilizado en la modelación contiene la presencia de puentes, los cuales interfieren en la representación precisa del río y, por lo tanto, en

los resultados de las áreas inundadas. Para realizar una aproximación metodológica, se utilizaron únicamente los caudales registrados en el punto de monitoreo de la Llantera bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 para estimar esta amenaza. A partir de estas dos series se obtuvo el valor máximo quinquenal y se procedió a estandarizarlo. Para ello, se utilizaron los quintiles de ambas series combinadas como rangos de estandarización de los valores máximos de caudal obtenidos previamente. Los resultados de este proceso se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27

Valores de caudal máximo y estimación cuantitativa de la amenaza a inundaciones en la parte baja de la subcuenca del Machángara.

Ventana Temporal	Valor máximo de caudal escenario RCP 4.5	Valor máximo de caudal escenario RCP 8.5	Amenaza a inundaciones escenario RCP 4.5	Amenaza a inundaciones escenario RCP 8.5
2011-2015	59.55162	59.55162	3	3
2016-2020	49.59314	55.48514	2	2
2021-2025	89.48011	83.18514	5	5
2026-2030	74.39314	56.38514	4	2
2031-2035	63.99314	101.3851	4	5
2036-2040	67.49314	61.98514	4	3

5.3 Evaluación del riesgo

5.3.1 Identificación de áreas de análisis

Para cada enfoque de evaluación (ambiental, socioeconómico y de gobernanza) se establecen áreas de análisis según la amenaza climática directa e indirecta. Es por esto que, a pesar de existir varias áreas de análisis, las seleccionadas para esta guía son las que están más relacionadas con el sistema de recursos hídricos y las condiciones naturales y antrópicas en la cuenca hidrográfica. En la Tabla 28 se detallan las amenazas climáticas directas e indirectas y su área de análisis según cada enfoque de evaluación.

Tabla 28*Amenazas directas e indirectas relacionadas con el área de análisis.*

Enfoque	Área de análisis	Amenaza	
		Directa	Indirecta
Gobernanza	Capacidad de gestión y Estructura organizacional	Sequía meteorológica	
		Heladas	
		Lluvias intensas	
		Olas de calor	
Socioeconómico	Seguridad alimentaria	Sequía meteorológica	Sequía hidrológica
		Heladas	
		Lluvias intensas	
Ambiental	Cantidad y calidad de agua		Sequía hidrológica, Erosión deslizamientos
			Incendios forestales
	Afectación de la Infraestructura		Deslizamientos Inundaciones

Dentro del área de “Análisis en el enfoque ambiental” se seleccionaron estas amenazas debido a que influyen en la capacidad de regulación de la subcuenca y, por ende, pueden afectar tanto la cantidad como la calidad del recurso hídrico. En lo que respecta a infraestructura, los deslizamientos e inundaciones pueden dañar tanto la infraestructura del sistema de recursos hídricos como la infraestructura antrópica en la parte baja de la cuenca.

Desde el enfoque socioeconómico, se analiza la seguridad alimentaria, ya que las parcelas productivas están expuestas a diversas amenazas. Desde el enfoque de gobernanza, se incluyen todas las amenazas climáticas directas, ya que la estructura organizacional de la cuenca debe estar preparada para gestionar el riesgo de manera adecuada.

A continuación, se detallan las metodologías y criterios para la selección de los indicadores de cada enfoque de evaluación del Sistema Hídrico Multipropósito Machángara.

5.3.2 Enfoque de gobernanza

El término “gobernanza” se refiere a la capacidad de una organización de actores dentro de una cuenca para asumir con eficiencia y eficacia las acciones pertinentes a corto, mediano y largo plazo, que beneficien a la población y a los ecosistemas. Esto se traduce en la capacidad de todas las instancias de gobierno, instituciones y organizaciones (incluyendo aquellas de la sociedad civil) para cumplir sus objetivos y acciones en la gestión del territorio.

El enfoque de gobernanza, dentro del marco de la “evaluación de riesgo climático del sistema hídrico multipropósito”, busca hacer frente a las múltiples amenazas climáticas que se presentan en la subcuenca del río Machángara. Con esta finalidad, se deben identificar a los actores clave que cumplen un rol en la conservación de la subcuenca y en la gestión y uso del Sistema Hídrico Multipropósito Machángara y otros servicios ecosistémicos. Estos se enumeran a continuación:

1. Comité de Conservación de la Cuenca del río Machángara (CCCRM);
2. Juntas de agua usuarias del Sistema Hídrico Multipropósito de la subcuenca del río Machángara;
3. Población usuaria del agua del Sistema Hídrico Multipropósito de la subcuenca del río Machángara.

Para el enfoque de gobernanza, cada uno de estos actores se convierte en una subunidad de análisis, considerando el caso de la subcuenca del río Machángara. No obstante, para aplicar la metodología al caso de estudio, se seleccionó al Comité de Conservación de la Cuenca del río Machángara como subunidad de análisis. Con el objetivo de identificar los indicadores, se respondieron las siguientes preguntas:

- Amenaza: ¿Cuál es el indicador que representa la amenaza identificada, respecto a la unidad de análisis y según el enfoque de análisis?

El enfoque de gobernanza evalúa las amenazas mediante un concepto de múltiples amenazas al sistema hídrico multipropósito. Por ello, para la evaluación del factor de amenazas, se obtiene el promedio de las amenazas climáticas en toda la subcuenca bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, tal como se resume en las Tablas 29 y 30.

Tabla 29

Estimación del valor de la multiamenaza para el escenario RCP 4.5.

Amenaza	Índice	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040
Sequías	CDD45_mean	1	4	4	5	3	3
Heladas	FD45_mean	3	3	3	3	3	3
Lluvias intensas	R99P45_mean	4	1	4	3	2	4
Temperaturas altas	TX90P45_mean	2	2	3	2	3	4
	Promedio	2	2	4	3	3	4

Tabla 30

Estimación del valor de la multiamenaza para el escenario RCP 8.5.

Amenaza	Índice	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040
Sequías	CDD45_mean	1	3	3	4	4	3
Heladas	FD45_mean	3	3	3	3	3	3
Lluvias intensas	R99P45_mean	4	3	3	3	4	2
Temperaturas altas	TX90P45_mean	2	3	2	2	4	5
	Promedio	2	3	3	3	4	3

- Exposición: ¿Cuál es el elemento/producto afectado que pertenece a la unidad de análisis que se ve afectado por la multiamenaza evaluada?

Para evaluar la exposición, se analiza la gestión del Sistema Hídrico Multipropósito Machángara y de toda la subcuenca. Se evalúa el porcentaje de actores que integran el Comité de Conservación del Machángara. Con el fin de obtener el valor del indicador, se emplea la Ecuación 9.

$$PAC = 1 - \frac{\text{Número de actores del Comité de Conservación de la subcuenca Machángara}}{\text{Número de actores estratégicos de la subcuenca}} \times 100 \quad (9)$$

Nótese que el valor de 1 es un artificio matemático que nos permite cuantificar el valor de la exposición según una escala de menor a mayor; es decir, a mayor presencia o representatividad de actores dentro del comité de la subcuenca, menor es su grado de exposición. Para estandarizar este valor, se emplea el método de estandarización con la escala de Likert, donde PAC es el porcentaje de actores que integran el Comité, que constituye el elemento expuesto.

Para obtener la estimación del indicador de exposición de la gestión del sistema hídrico multipropósito, se analizaron el número de miembros del Comité de Conservación en relación con el número de actores estratégicos identificados en la subcuenca (incluidos los actores de la subcuenca alta del Machángara, que pertenecen a la provincia del río Cañar). A partir de este análisis, se obtuvo un valor de 4, considerado "alto".

- Sensibilidad: ¿Cuán sensible es el elemento expuesto con referencia a la unidad de análisis, considerando el enfoque de análisis?

Para la sensibilidad, se ha identificado la eficacia de la gestión del Comité de Conservación de la cuenca del río Machángara; es decir, si la gestión es más eficaz, menor será la sensibilidad. El cálculo de este indicador se obtiene al aplicar la Ecuación 10.

$$PIPP = 1 - \frac{\text{Número de proyectos implementados}}{\text{Número total de proyectos planificados por el CCCRM}} \times 100 \quad (10)$$

Donde PIPP es el porcentaje de implementación de proyectos planificados, que es el elemento de sensibilidad. Nótese que el valor de 1 es un artificio matemático que nos permite cuantificar el valor de la sensibilidad según una escala de menor a mayor; es decir, a mayor número de proyectos planificados e implementados, menor es su grado de sensibilidad. Para estandarizar este valor, se emplea el método de estandarización con la escala de Likert.

- Capacidad adaptativa: ¿Cuán preparada está la unidad de análisis/ elemento expuesto para prevenir, adaptarse o reaccionar ante la amenaza?

Para este factor de riesgo se han identificado tres indicadores de capacidad adaptativa:

1. *Desempeño institucional*: Evaluado desde el punto de vista de la planificación y presupuesto. El indicador ha sido valorado mediante la Ecuación 11:

$$PEPP = \frac{\text{Presupuesto ejecutado en proyectos planificados}}{\text{Presupuesto planificado}} \times 100 \quad (11)$$

Donde PEPP es el porcentaje de eficiencia de la planificación presupuestaria. El indicador plantea que es mayor la capacidad adaptativa cuando se ejecuta de manera eficiente el presupuesto planificado; para estandarizar este valor se emplea el método de estandarización con la escala de Likert.

2. *Capacidad de la organización del Comité de la subcuenca, mide el porcentaje de la participación técnica*: Se valora este indicador mediante la Ecuación 12:

$$\% = \frac{\text{Número de técnicos de la organización que prestan asistencia técnica en la subcuenca}}{\text{Total de delegados técnicos de las instituciones de la organización}} \times 100 \quad (12)$$

El indicador plantea que es mayor la capacidad adaptativa, cuando el total de los delegados técnicos de las instituciones de la organización prestan asistencia técnica en la subcuenca; para la estandarización de este valor se emplea el método de estandarización con la escala de Likert.

3. *Estrategias de conservación*: Es decir a mayor número de estrategias de conservación implementadas, mayor nivel de conservación de los recursos hídricos de la subcuenca hidrográfica (por la tanto, una mayor capacidad adaptativa). El Ratio de Estrategias de Conservación de la Cuenca (RECC) se evalúa mediante la Ecuación 13:

$$RECC = \frac{\text{Número de estrategias de conservación y protección implementadas}}{\text{Total de estrategias planificadas}} \times 100 \quad (13)$$

Para la estandarización de este valor se emplea el método de estandarización con la escala de Likert.

Esta evaluación se resume en las Tablas 31 y 32. Los valores de riesgo se estandarizaron para obtener una calificación de 1 a 5.

Tabla 31*Valor y calificación de riesgo para el componente gobernanza.*

		RCP4.5						RCP8.5					
		2011	2016	2021	2026	2031	2034	2011	2016	2021	2026	2031	2034
		-2015	-2020	-2025	-2030	-2035	-2040	-2015	-2020	-2025	-2030	-2035	-2040
Capacidad adaptativa	Amenaza	2	2	4	3	3	4	2	3	3	3	4	3
Porcentaje de eficiencia en la planificación presupuestaria	Valor de riesgo	2	2	3	3	2	3	2	2	2	2	3	2
	Calificación de riesgo	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1
Porcentaje de participación técnica	Valor de riesgo	4	4	8	6	6	8	4	6	6	6	8	6
	Calificación de riesgo	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3
Ratio de estrategias de conservación y protección de recursos hídricos implementados	Valor de riesgo	2	2	4	3	3	4	2	3	3	3	4	3
	Calificación de riesgo	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2

Tabla 32*Evaluación de riesgo para gobernanza.*

Comité de Conservación de la Cuenca del Río Machángara - Multiamenaza						
Amenaza						
Indicador						Índice
Amenaza a evaluar	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	
Multiamenaza	Con el enfoque de gobernanza se busca hacer frente a todas las amenazas que se preseten y puedan presentarse dentro de la subcuenca del Machángara.	Valor promedio de las amenazas estandarizadas	Promedio de los índices de amenazas climáticas (heladas, temperaturas altas, lluvias intensas, sequías)	Ver tabla de amenazas	NA	Ver tabla de amenazas
Exposición						
Indicador						Índice
Elemento expuesto	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	
Gestión del Sistema Hídrico Multipropósito Machángara	Hay menos exposición si existe representatividad de más instituciones estratégicas en el Comité.	Porcentaje de actores que integran el Comité	Ecuación 9	75	4	4
Sensibilidad						

Indicador						Índice
Sensibilidad	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	
Eficacia en la gestión del Comité de Conservación de la subcuenca del río Machángara	En el enfoque de gobernanza se evalúa el nivel de gestión del Comité de Conservación de la subcuenca del río Machángara (desempeño organizacional). Si hay más proyectos ejecutados es menos sensible.	Porcentaje de implementación de los proyectos planificados en el POA	Ecuación 10	0	1	1
Capacidad adaptativa						
Indicador						Índice
Capacidad adaptativa	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	
Crecimiento organizacional	Desempeño institucional, evaluado desde el punto de vista de la planificación y presupuesto.	Porcentaje de eficiencia en la planificación presupuestaria	Ecuación 11	90	5	5
	Capacidad de la organización de la cuenca	Porcentaje de participación técnica	Ecuación 12	30	2	2
	A mayor número de estrategias de conservación implementadas, mayor nivel de conservación de los recursos hídricos de la cuenca hidrográfica	Ratio de estrategias de conservación y protección de recursos hídricos implementadas	Ecuación 13	75	4	4

5.3.3 Enfoque socio-económico

Dentro del enfoque socioeconómico se evalúan la seguridad y soberanía alimentaria como principales áreas de análisis, ya que estas son consideradas un derecho y pilar fundamental de los pueblos y las naciones. La seguridad alimentaria se refiere, por un lado, a la cantidad de alimentos a los cuales la población puede acceder sin dificultad y, por otro lado, a su producción mediante técnicas amigables con el medio ambiente. La existencia de soberanía alimentaria implica la capacidad de abastecer de alimentos a toda la población a partir de una producción local y nacional, respetando la diversidad productiva y cultural.

En la subcuenca del río Machángara, la soberanía alimentaria se enfoca en favorecer el mantenimiento de las prácticas de producción agrícola y cubrir con ellas la demanda de la población. El primer paso es abastecer de productos a las familias y a los mercados de las comunidades, parroquias, cantones y la provincia.

Además de esto, el enfoque socioeconómico evalúa las actividades socioeconómicas dentro del sistema hídrico multipropósito, que no son necesariamente sobre agroproducción, tales como la generación de energía, la potabilización de agua, entre otras, cuyo deterioro o colapso puede perjudicar a la sociedad que se beneficia de estos servicios.

Como se describió en la vinculación de los aspectos de evaluación con las amenazas directas e indirectas, se identificó, mediante el enfoque socioeconómico, la evaluación de las subunidades frente a sequías hidrológicas, principalmente. Para continuar con la ejemplificación del análisis de riesgo, se toma la sequía hidrológica como amenaza, y a los sistemas de hidrogenación, de riego y de agua potable, como subunidades de análisis.

5.3.3.1 Sequía hidrológica – Sistema de Hidrogenación – Planta Saucay

Aquí, la producción energética es el elemento expuesto. Al responder las preguntas para la identificación de los indicadores se obtiene:

- Amenaza: ¿Cuál es el indicador que representa a la amenaza identificada, respecto a la unidad de análisis y según el enfoque de análisis?

Para esto, emplearemos la media del valor del Índice estandarizado de sequía hidrológica sobre el elemento expuesto, que en este caso es la producción energética en la planta de Sauca. Esto se resume en la Tabla 33.

Tabla 33

Amenaza de sequía hidrológica.

Índice de amenazas de sequía hidrológica RCP 4.5						Índice de amenazas de sequía hidrológica RCP 8.5					
2011- 2015	2016- 2020	2021- 2025	2026- 2030	2031- 2035	2036- 2040	2011- 2015	2016- 2020	2021- 2025	2026- 2030	2031- 2035	2036- 2040
1	3	5	4	3	4	1	2	5	5	4	3

- Exposición: ¿Cuál es el elemento/producto afectado que pertenece a la unidad de análisis que se ve afectado por la amenaza evaluada?

Se identifica a la producción energética como el principal elemento afectado, dado que, al ser una planta de generación hidroeléctrica, sus procesos se ven perjudicados por el incremento o disminución de agua disponible. El indicador seleccionado se obtiene mediante la Ecuación 14.

$$PE = \left(\frac{\text{Generación de la planta } \left[\frac{m^3}{W} \right]}{\text{Sumatoria de la generación de las plantas dentro de la subcuenca } \left[\frac{m^3}{W} \right]} \right) * 100 \quad (14)$$

Donde “PE” representa la proporción del volumen de agua utilizado para la generación de energía en la planta en relación con el volumen total de agua utilizado para la generación de energía en todas las plantas de la subcuenca.

Al realizar este cálculo, se obtiene un valor de 69.0. Para estandarizar este valor, se emplea el método de estandarización en la escala de Likert, resultando en un valor de 4.

Entendido. Aquí está la corrección del texto:

- Sensibilidad: ¿Qué tan sensible es el elemento expuesto con respecto a la unidad de análisis, considerando el enfoque de análisis?

Se identificaron las pérdidas económicas como el elemento más sensible si los costos de mantenimiento y operación de la planta superan las ganancias. Para este caso, se toma como indicador la relación costo-beneficio de la producción energética, aplicando la Ecuación 15.

$$I = \left(1 - \frac{\text{Ingreso de producción energética}}{\text{Coste de producción}}\right) * 100 \quad (15)$$

El indicador establece la relación que tienen los ingresos con los costos, es decir, por cada dólar incurrido en los costos de operación y mantenimiento, cuantos dólares en ingresos se obtiene. De acuerdo a los ingresos y el costo de producción de la planta de Sauca y se obtiene un valor de 56.46 que representa un valor “alto”.

- Capacidad adaptativa: ¿Cuán preparada está la unidad de análisis/ elemento expuesto para prevenir, adaptarse o reaccionar ante la amenaza?

Dentro de este factor de riesgo se han identificado tres indicadores de capacidad adaptativa:

1. Reservas de agua: Como consecuencia de la disminución o incremento de la cantidad de agua disponible, la generación eléctrica de la planta puede verse afectada. En este contexto, se toma como indicador la cantidad de agua reservada destinada a la generación de hidroelectricidad y se aplica la Ecuación 16:

$$I = \frac{\text{Cantidad de agua para hidrogenación}}{\text{Cantidad de agua de diseño}} \quad (16)$$

Hay que considerar que, para asegurar la cantidad de agua necesaria para satisfacer completamente la generación hidroeléctrica, sería necesario expandir la capacidad de almacenamiento para cubrir los caudales de diseño de las centrales hidroeléctricas. Este análisis se realizó en la Tabla 34 para el caso de estudio del Sistema Multipropósito de la subcuenca del río Machángara. En el caso de la central de Sauca y, se obtuvo un índice de 62 y un valor estandarizado de 4, considerado “alto”.

Tabla 34

Estimación de cuán satisfactoria es la producción energética, vinculada a la cantidad de agua para generar energía.

Central	Caudal promedio de generación 2016-2018 [m3/s]	Caudal de diseño [m3/s]	Porcentaje de déficit de suministro de agua para hidrogenación	Porcentaje de suministro de agua para hidrogenación
Saucay	4.19	6.76	38%	62%

2. *Mantenimiento de la maquinaria*: Un mal mantenimiento de los equipos (que no se realiza o que se hace con menor frecuencia de la requerida) afecta su rendimiento, lo cual disminuye su capacidad operativa. Por ello se aplica la Ecuación 17.

$$I = \left(1 - \frac{|(\text{Presupuesto ejecutado} - \text{presupuesto planificado})|}{\text{presupuesto planificado}} \right) * 100 \quad (17)$$

A pesar de que se plantea la ecuación, a este índice se le dio el valor estandarizado de 4 o “alto”, debido a que no se cuenta con datos necesarios para realizar el cálculo de la fórmula. Se considera que cuando la empresa no da mantenimiento a su maquinaria, esta puede sufrir daños graves, lo que implicaría pérdidas económicas y de funcionamiento.

3. *Maquinaria asegurada*: Se toma el valor del seguro que se paga por las maquinarias y se expresa mediante la Ecuación 18:

$$I = \left(\frac{\text{Monto real asegurado}}{\text{Monto total del seguro de todas las maquinarias}} \right) * 100 \quad (18)$$

Se establece un valor de 3, ya que se usó un valor medio y no se cuenta con información de que sea asignado a la maquinaria.

Esta evaluación se resume en las Tablas 35 y 36 para la Central de Saucay.

Tabla 35

Valor y calificación de riesgo para el componente socioeconómico bajo sensibilidad de pérdida económica en Saucay.

Pérdida económica por generación de energía													
		Escenario RCP 4.5						Escenario RCP 8.5					
		2011	2016	2121	2026	2031	2036	2011	2016	2021	2026	2031	2036
		2015	2020	2025	2030	2035	2040	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Cantidad de agua reservada (Generación de hidroelectricidad)	Valor de riesgo	5	15	25	20	15	20	5	10	25	25	20	15
	Calificación de riesgo	2	4	5	5	4	5	2	3	5	5	5	4
Mantenimiento de las maquinarias	Valor de riesgo	5	15	25	20	15	20	5	10	25	25	20	15
	Calificación de riesgo	2	4	5	5	4	5	2	3	5	5	5	4
Seguro de la maquinaria	Valor de riesgo	6.67	20.00	33.33	26.67	20.00	26.67	6.67	13.33	33.33	33.33	26.67	20.00
	Calificación de riesgo	3	5	5	5	5	5	3	4	5	5	5	5

Tabla 36*Evaluación de riesgo.*

Sistema de generación hidroeléctrica - Planta de generación hidroeléctrica Saucay - Sequía hidrológica						
Amenaza						
Indicador						
Amenaza a Evaluar	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	Índice
Sequía hidrológica	Esta es la principal amenaza que afecta al sistema hídrico multipropósito del Machángara	Índice estandarizado de sequía	NA	NA	NA	Ver Tabla 37
Exposición						
Indicador						
Elemento expuesto	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	Índice
Producción Energética	La planta utiliza el agua disponible para la generación de energía eléctrica, misma que puede disminuir o incrementar por la cantidad de agua disponible.	Producción energética	PE = Generación de la planta [m ³ /W]/ Suma de generación de las plantas dentro de la subcuenca (con respecto al caudal) [m ³ /W]] ×100	69.00	4	4
Sensibilidad						

Indicador							Índice
Sensibilidad del elemento expuesto	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado		
Pérdida económica por generación de energía	Impacto económico a la empresa por el coste de producción de energía	Relación beneficio / costo de producción	$1 - (\text{Ingreso de producción energética} / \text{Coste de producción energética}) \times 100$	56.45	5	5	
Capacidad Adaptativa							
Indicador							Índice
Grado de CA del elemento expuesto	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado		
Reservas de agua	La planta utiliza el agua disponible para la generación de energía eléctrica, misma que puede disminuir o incrementar por la cantidad de agua disponible	Cantidad de agua reservada (Generación de hidroelectricidad)	$I = (\text{Caudal de generación actual}) / (\text{Caudal de diseño})$	62.00	4	4	
Mantenimiento de la Maquinaria	Mantenimiento de la planta de energía, para que las mismas operen adecuadamente * mala planificación de mantenimiento	Mantenimiento de las maquinarias	$(1 - ((\text{ABS (Presupuesto ejecutado} - \text{Presupuesto Planificado)}) / \text{Presupuesto planificado})) \times 100$	4.00	4	4	
Maquinaria asegurada	El costo del seguro de las maquinarias	Seguro de las maquinarias	$(\text{Monto real asegurado} / \text{Monto total del seguro de todas las maquinarias}) \times 100$	3.00	3	3	

5.3.3.2 Sequía hidrológica – Sistema de Potabilización – Planta Tixán

Aquí, el elemento expuesto son los usuarios de agua potable. Al responder las preguntas para la identificación de los indicadores, se obtiene:

- Amenaza: ¿Cuál es el indicador que representa a la amenaza identificada, respecto a la unidad de análisis y según el enfoque de análisis?

Para esto, emplearemos la media del valor del Índice estandarizado de sequía sobre el elemento expuesto, que en este caso son los beneficiarios o usuarios del agua potable proveniente de la Planta de Tixán. Esto se resume en la Tabla 37:

Tabla 37

Amenaza de sequía hidrológica.

Índice de amenazas de sequía hidrológica RCP 4.5						Índice de amenazas de sequía hidrológica RCP 8.5					
2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040
1	3	4	4	3	3	1	3	4	5	4	3

- Exposición: ¿Cuál es el elemento o producto afectado que pertenece a la unidad de análisis y se ve afectado por la amenaza evaluada?

Se identifica a los usuarios o beneficiarios del agua potable como el principal elemento afectado, ya que un desabastecimiento de agua de consumo genera un impacto directo en el comportamiento socioeconómico de la población. El indicador seleccionado muestra el porcentaje de población que consume agua de la parroquia y se aplica mediante la Ecuación 19.

$$I = \left(\frac{\text{Población con servicio de agua potable}}{\text{Total de población dentro del área de cobertura por parroquia}} \right) * 100 \quad (19)$$

Del indicador se obtiene un valor de 91.53 y para la estandarización se emplea el método de Likert, resultando en un valor 5.

- Sensibilidad: ¿Cuán sensible es el elemento expuesto con referencia a la unidad de análisis, considerando el enfoque de análisis?

Dentro del enfoque de análisis se examina el porcentaje de la población económicamente más sensible. Así, se identificaron dos elementos como los más sensibles, y los indicadores son los siguientes:

1. *Categorización de los usuarios por capacidad económica*: Aquella parte de la población más sensible por su situación económica (su acceso a los servicios básicos se ve limitado). En este contexto, se selecciona como indicador el porcentaje de la población más vulnerable por su capacidad económica, a través de la Ecuación 20.

$$I = \left(\frac{\text{Total de la población clasificada como vulnerable económicamente}}{\text{Total de la población dentro de la parroquia servida}} \right) * 100 \quad (20)$$

Se conoce como población económicamente vulnerable a aquella que no tiene una fuente de ingresos y al total de la población dentro de la parroquia servida por el sistema de agua potable de Tixán. El resultado del indicador da un valor de 48.32 y un valor estandarizado de 3.

2. *Población categorizada por vulnerabilidad (según el Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC)*: Se selecciona como indicador la porción de la población más vulnerable según la clasificación del INEC (Ecuación 21).

$$I = \left(\frac{\text{Total de la población clasificada como vulnerable (INEC)}}{\text{Total de la población dentro de la parroquias servida}} \right) * 100 \quad (21)$$

El INEC establece que la población más vulnerable está conformada por jóvenes que no están en edad de trabajar (0 a 20 años) y los mayores de edad (60 años en adelante); debido a sus condiciones, no pueden cubrir los costos que implica contar con este servicio, exponiéndolos a condiciones desfavorables. El resultado del indicador es de 45.21 con un valor estandarizado de 3.

Capacidad adaptativa: ¿Cuán preparado está la unidad de análisis/elemento expuesto para prevenir, adaptarse o reaccionar ante la amenaza?

Dentro de este factor de riesgo se han identificado 4 indicadores de capacidad adaptativa:

1. *Nivel de consciencia de los usuarios*: Se establece el grado de eficiencia del consumo de agua potable por parte de los pobladores. En este contexto, se toma como indicador el consumo de agua por habitante (déficit o superávit), en comparación con el consumo de agua recomendado por la OMS, y se aplica la Ecuación 22.

$$I = \left(1 - \frac{[(\text{Consumo de agua por usuario}) - (\text{Consumo de agua recomendado por la OMS}) (\text{litros})]}{(\text{Consumo de agua recomendado por la OMS}) [\text{litros}]} \right) * 100 \quad (22)$$

Según datos de consumo de agua por día de la población es de 160 litros (Ortiz et al., 2018), mientras que lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud, OMS, el consumo de agua por persona debe ser de 100 litros; se obtiene como resultado del indicador 40 y un valor estandarizado de 2.

2. *Reservas de agua potable*: Las reservas de agua dentro de la planta sirven como medida de prevención ante las sequías, ya que permiten que la planta siga operando sin desabastecer a la población. Por ello se aplica la Ecuación 23:

$$I = \left(\frac{\text{Agua almacenada}}{\text{Agua demandada}} \right) * 100 \quad (23)$$

Se obtuvo un valor del indicador de 3 y un valor estandarizado de 3 debido a que el proyecto cubre aproximadamente a la mitad de la demanda, y que es necesario tener una cantidad de agua reservado por las sequías que se presenten, de tal manera que la población cuente con agua potable.

3. *Acceso a otras fuentes de agua (sistema interconectado)*: Se analiza el porcentaje de la población que tiene acceso a otras fuentes de agua; se incluye a la población que por su categorización o economía no puede pagar el servicio y busca otras fuentes para proveerse del recurso. El indicador se lo obtiene mediante la Ecuación 24:

$$I = \left(\frac{\text{Población con acceso a otras fuentes de agua potable}}{\text{Total de la población dentro de la parroquia servida}} \right) * 100 \quad (24)$$

El resultado del indicador da un valor de 8.47 y un valor estandarizado de 1 o bajo.

4. *Volumen de potabilización de la planta*: Se evalúa si la capacidad de potabilización satisface la demanda de la población beneficiaria, y se emplea como indicador al porcentaje de satisfacción de la demanda de agua potable (Ecuación 25).

$$I = \left(\frac{\text{Volumen actual de potabilización}}{\text{Volumen de potabilización necesario para la demanda}} \right) * 100 \quad (25)$$

El indicador resulta en un valor de 4 y un valor estandarizado de 4 o alto.

Esta evaluación se resume en las Tablas 38-40. Al emplear la fórmula para calcular riesgo, obtenemos valores que al estandarizarlos obtenemos la calificación del riesgo.

Tabla 38

Valor y calificación de riesgo para el componente socioeconómico bajo el aspecto de población categorizada por capacidad económica.

		Escenario RCP4.5						Escenario RCP8.5					
		2011	2016	2021	2026	2031	2036	2011	2016	2021	2026	2031	2036
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2015	2020	2025	2030	2035	2040	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Deficiencia de consumo de agua por habitante (déficit o superávit), versus consumo de agua recomendado por OMS	Valor de riesgo	8	23	30	30	23	23	8	23	30	38	30	23
	Calificación de riesgo	3	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5
Reservas de agua de planta de potabilización	Valor de riesgo	5	15	20	20	15	15	5	15	20	25	20	15
	Calificación de riesgo	2	4	5	5	4	4	2	4	5	5	5	4
Porcentaje de la población que tiene otras fuentes de agua	Valor de riesgo	15	45	60	60	45	45	15	45	60	75	60	45
	Calificación de riesgo	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5
Porcentaje de satisfacción de la demanda de agua potable	Valor de riesgo	4	11	15	15	11	11	4	11	15	19	15	11
	Calificación de riesgo	2	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4

Tabla 39

Valor y calificación de riesgo para el componente socioeconómico bajo el aspecto de población categorizada por vulnerabilidad (según INEC).

		Escenario RCP4.5						Escenario RCP8.5					
		2011	2016	2021	2026	2031	2036	2011	2016	2021	2026	2031	2036
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2015	2020	2025	2030	2035	2040	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Deficiencia de consumo de agua por habitante (déficit o superávit), versus consumo de agua recomendado por OMS	Valor de riesgo	8	23	30	30	23	23	8	23	30	38	30	23
	Calificación de riesgo	3	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5
Reservas de agua de planta de potabilización	Valor de riesgo	8	23	30	30	23	23	8	23	30	38	30	23
	Calificación de riesgo	3	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5
Porcentaje de la población que tiene otras fuentes de agua	Valor de riesgo	15	45	60	60	45	45	15	45	60	75	60	45
	Calificación de riesgo	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5
Porcentaje de satisfacción de la demanda de agua potable	Valor de riesgo	4	11	15	15	11	11	4	11	15	19	15	11
	Calificación de riesgo	2	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4

Tabla 40*Evaluación de riesgo del sistema de agua potable de Tixán.*

Sistema de potabilización - Planta Tixán - Sequía hidrológica						
Amenaza						
Indicador						
Amenaza a evaluar	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	Índice
Sequía hidrológica	Esta es la principal amenaza que afecta al Sistema Hídrico Multipropósito Machángara	Índice estandarizado de sequía	NA	NA	NA	Ver tabla
Exposición						
Indicador						
Elemento expuesto	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	Índice
Los beneficiarios o usuarios del agua potable	Es el elemento expuesto al cambio climático: que disminuya la disponibilidad de agua impacta directamente en su comportamiento socioeconómico.	Porcentaje de población que consume agua de la parroquia	$(\text{Población con servicio de agua potable} / \text{Total de población que está en el área de cobertura por parroquia}) \times 100$	91.53	5	5
Sensibilidad						

Indicador							
Sensibilidad del elemento expuesto	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	Índice	
Población categorizada por capacidad económica	La población sensible por su capacidad económica, pues no puede acceder a los servicios.	Porcentaje de la población más vulnerable por capacidad económica	(Total de la población clasificada como vulnerable económicamente/ Total de la población dentro de la parroquia servida) ×100	48.32	3	3	
Población categorizada por vulnerabilidad según INEC	La población es más sensible si se encuentra clasificada como vulnerable, según el INEC (2010).	Porcentaje de la población más vulnerable (considerando categorización según INEC)	(Total de la población clasificada como vulnerable (INEC)/ Total de la población dentro de la parroquia servida) ×100	45.21	3	3	
Capacidad adaptativa							

Indicador							
Grado de CA del elemento expuesto	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	Índice	
Nivel de consciencia de los usuarios	Grado de eficiencia del uso del recurso hídrico potable	Deficiencia de consumo de agua por habitante (déficit o superávit), versus consumo de agua recomendado por la OMS	$1 - \frac{ABS(\text{Consumo de agua [litros] por habitante o usuario del agua potable} - \text{Consumo de agua recomendado por la OMS [litros]})}{\text{Consumo de agua recomendado por la OMS [litros]}} \times 100$	80.00	2	2	
Reservas de agua potable	Las reservas de la planta se presentan como una medida de prevención frente a las sequías.	Reservas de agua de planta de potabilización	$\frac{\text{Agua almacenada}}{\text{Agua demandada}} \times 100$	3.00	3	3	
Acceso a otras fuentes de agua (sistema interconectado)	La población con acceso a otras fuentes de agua tiene una mayor capacidad adaptativa frente a la suspensión de agua de la planta.	Porcentaje de la población que tiene otras fuentes de energía	$\frac{\text{Población con acceso a otras fuentes de agua potable}}{\text{Total de la población dentro de la parroquia servida}} \times 100$	8.47	1	1	
Volumen de potabilización de la planta	Se evalúa si la capacidad de potabilización de la planta es suficiente para satisfacer las necesidades de la población beneficiaria.	Porcentaje de satisfacción de la demanda de agua potable	$\frac{\text{Volumen actual de potabilización}}{\text{Volumen de potabilización necesario para la demanda}} \times 100$	4.00	4	4	

5.3.3.3 Sequía hidrológica – Sistema de Riego – Sociedad Ricaurte

La parcela agropecuaria es el elemento expuesto aquí. Al responder las preguntas para la identificación de los indicadores, se obtiene:

- Amenaza: ¿Cuál es el indicador que representa a la amenaza identificada, respecto a la unidad de análisis y según el enfoque de análisis?

Para esto, emplearemos la media del valor del índice estandarizado de sequía sobre el elemento expuesto, que en este caso son las parcelas agropecuarias dentro del Sistema de Riego y Drenaje Sociedad Ricaurte. Esto se detalla en la Tabla 41:

Tabla 41

Amenaza de sequía hidrológica.

Índice de amenazas de sequía hidrológica RCP4.5						Índice de amenazas de sequía hidrológica RCP8.5					
2011	2016	2021	2026	2031	2036	2011	2016	2021	2026	2031	2036
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	2020	2025	2030	2035	2040	2015	2020	2025	2030	2035	2040
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

- Exposición: ¿Cuál es el elemento/producto afectado que pertenece a la unidad de análisis que se ve afectado por la amenaza evaluada?

Se identifica a la parcela agropecuaria como el principal elemento expuesto. La parcela es una fuente de empleo e ingresos cuando los productos son comercializados, y además es un generador de alimentos para las familias. Si disminuye la cantidad de agua para riego en las parcelas, la producción puede verse afectada, lo cual a su vez disminuye su rendimiento. Desde esta perspectiva, el indicador seleccionado muestra el porcentaje de área regada del sistema de riego y se aplica la Ecuación 26.

$$PE = \left(\frac{\text{Área regada del sistema de riego y drenaje Sociedad Ricaurte}}{\text{Área total regada del sistema hídrico multipropósito del Machángara}} \right) * 100 \quad (26)$$

El indicador da un valor de 25.35 y para la estandarización un valor 2 o bajo.

- Sensibilidad: ¿Cuán sensible es el elemento expuesto con referencia a la unidad de análisis, considerando el enfoque de análisis?

Como elementos más sensibles se identificaron dos, cuyos indicadores se muestran a continuación:

1. *Tipo de cultivo*: Que se encuentra dentro de la parcela y se siembra por los agricultores. Para este caso se toma como indicador el promedio ponderado porcentual de cultivos por parcela y se aplica la Ecuación 27.

$$I = \text{Promedio ponderado porcentual de la sensibilidad de los cultivos con respecto a su área de las parcelas} \quad (27)$$

Para llevar a cabo este procedimiento se realizó una ponderación de los cultivos, según su resistencia con relación a la escasez de agua durante su desarrollo. Así, se planteó una ponderación que va del 1 al 5: el cultivo con mayor valor es más sensible, y el de menor valor es menos sensible a la sequía.

Con base en las observaciones de campo y en lo que se puede advertir en la documentación disponible que consta en los planes de ordenamiento territorial, se concluye que:

- Las hortalizas son más sensibles a la disminución de agua, con un valor de 5 y un porcentaje de participación en las parcelas de 50%.
- La papa es sensible a la disminución de agua: tiene un valor de 4 y un porcentaje de participación en las parcelas de 15%.
- El pasto es sensible a la disminución de agua, con un valor de 3 y un porcentaje de participación en las parcelas de 10%.
- El maíz es sensible a la disminución de agua, con un valor de 2 y un porcentaje de participación en las parcelas de 25%.

Con base en lo anterior, el indicador tiene un valor de 3,9 y un estandarizado de 4 o “alto”.

2. *Pérdida económica por producción del cultivo*: El cambio climático puede provocar daños en los cultivos, lo que conduce a una pérdida de la inversión por parte de los productores, afecta el trabajo realizado en la parcela y puede generar escasez de alimentos. Por lo tanto, como indicador se determina la relación beneficio/costo de producción, expresada mediante la Ecuación 28.

$$I = \left(1 - \frac{\text{Ingreso de producción parcela}}{\text{Coste de producción parcela}} \right) * 100 \quad (28)$$

El indicador resulta en un valor de 88.52 señalando que el costo de producción es mayor a los beneficios económicos percibidos y un valor estandarizado de 4.

Capacidad adaptativa: ¿Cuán preparado está la unidad de análisis/elemento expuesto para prevenir, adaptarse o reaccionar ante la amenaza?

Dentro de este factor de riesgo se han se han identificado cinco indicadores de capacidad adaptativa:

1. *Parcelas con riego tecnificado*: Los sistemas tecnificados de riego mantienen o incrementan la producción mientras optimizan el uso de agua para los regadíos. En este contexto, se toma como indicador el porcentaje de terrenos que cuentan con estos sistemas, y se aplica la Ecuación 29.

$$I = \left(\frac{\text{Número de parcelas con riego tecnificado}}{\text{Número total de terrenos}} \right) * 100 \quad (29)$$

El indicador resulta en un valor de 37.5 y un valor estandarizado de 2 o bajo.

2. *Usuarios comprometidos*: Se refiere a los usuarios que están al día con los pagos del servicio de riego. Este ingreso permite a la junta mejorar el sistema de riego para obtener mayores beneficios para los usuarios. Por lo tanto, como indicador se establece el porcentaje de parcelas cuyos propietarios pagan el servicio de mantenimiento (Ecuación 30).

$$I = \left(\frac{\text{Número de usuarios que pagan el servicio}}{\text{Número total de usuarios que utilizan el sistema}} \right) * 100 \quad (30)$$

Mediante entrevistas al administrador del sistema, se estima que el 60% de los beneficiarios pagan a tiempo, dando un valor estandarizado de 3.

3. *Cosecha de lluvia*: La recolección de agua lluvia por parte de los pobladores para diferentes actividades; se utiliza como indicador el porcentaje de parcelas con cosecha de agua y se emplea la Ecuación 31.

$$I = \left(\frac{\text{Número de parcelas que poseen cosecha de agua}}{\text{Número total de parcelas}} \right) * 100 \quad (31)$$

La cantidad de personas que realizan cosecha de lluvia es de 0, resultando en un valor estandarizado de 1.

4. *Reservorios de agua lluvia*: Cantidad de agua necesaria que podría ser reservada y empleada para el regadío cuando el recurso hídrico escasea por efectos del clima. Como indicador se emplea el porcentaje de recurso hídrico reservado, mediante la Ecuación 32.

$$I = \left(\frac{\text{Número de parcelas que poseen reservorios de agua}}{\text{Número total de parcelas}} \right) * 100 \quad (32)$$

5. *Especies con menor requerimiento hídrico*: Se necesitan estudios que identifiquen a las especies que durante su desarrollo requieran pocas cantidades de agua; que sean viables de sembrar, y que representen beneficios para la población. Se emplea como indicador al requerimiento hídrico, mediante la siguiente fórmula:

$$I = \left(1 - \frac{[(\text{requerimiento hídrico de la parcela actual}) - (\text{Mínimo requerimiento hídrico posible})] [\text{litros}]}{(\text{Mínimo requerimiento hídrico posible}) [\text{litros}]} \right) * 100 \quad (33)$$

Mediante percepción del equipo técnico se estableció un valor de 2 o bajo. Se requieren más estudios en este ámbito. Esta evaluación se resume en las Tablas 42-44.

Tabla 42

Valor y calificación de riesgo para el componente socioeconómico bajo el aspecto de tipo de cultivo.

		Tipos de cultivo											
		Escenario RCP4.5						Escenario RCP8.5					
		2011	2016	2021	2026	2031	2036	2016	2021	2026	2031	2036	
		2015	2020	2025	2030	2035	2040	2020	2025	2030	2035	2040	
Porcentaje de terrenos tecnificados	Valor de riesgo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	Calificación de riesgo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Porcentaje de parcelas cuyos propietarios pagan el servicio de mantenimiento	Valor de riesgo	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	
	Calificación de riesgo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Porcentaje de parcelas con cosecha de agua	Valor de riesgo	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
	Calificación de riesgo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Cantidad de recurso hídrico reservado (riego)	Valor de riesgo	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
	Calificación de riesgo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Requerimiento hídrico	Valor de riesgo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	Calificación de riesgo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

Tabla 43

Valor y calificación de riesgo para el componente socioeconómico bajo el aspecto de pérdidas económicas por producción de cultivo.

		Escenario RCP4.5						Escenario RCP8.5					
		2011	2016	2021	2026	2031	2036	2016	2021	2026	2031	2036	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		2015	2020	2025	2030	2035	2040	2020	2025	2030	2035	2040	
Porcentaje de terrenos tecnificados	Valor de riesgo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	Calificación de riesgo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Porcentaje de parcelas cuyos propietarios pagan el servicio de mantenimiento	Valor de riesgo	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67	
	Calificación de riesgo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Porcentaje de parcelas con cosecha de agua	Valor de riesgo	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
	Calificación de riesgo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Cantidad de recurso hídrico reservado (riego)	Valor de riesgo	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
	Calificación de riesgo	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Requerimiento hídrico	Valor de riesgo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	Calificación de riesgo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

Tabla 44*Evaluación de riesgo del Sistema de Riego y Drenaje Sociedad-Ricaurte*

Sistema de riego - Sistema de Riego y Drenaje Sociedad Ricaurte - Sequías						
Amenaza						
Indicador						
Amenaza a evaluar	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	Índice
Sequía hidrológica	Esta es la principal amenaza que afecta al Sistema Hídrico Multipropósito Machángara	Índice estandarizado de sequía	NA	NA	NA	NA
Exposición						
Indicador						
Elemento expuesto	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	Índice
Parcela agropecuaria	Es el elemento expuesto al cambio climático, cuya pérdida productiva impacta directamente en el comportamiento socioeconómico de la población.	Porcentaje de área regada del sistema de riego	(Área regada del Sistema de Riego y Drenaje Sociedad Ricaurte/Área total regada del Sistema Hídrico Multipropósito Machángara) × 100	25.35	2	2

Sensibilidad						
Indicador						Índice
Sensibilidad del elemento expuesto	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	
Tipos de cultivo	Establecer un orden de resistencia de los cultivos presentes en la parcela frente a la sequía.	Promedio ponderado porcentual de cultivos por parcela	Promedio ponderado porcentual de cultivos con respecto al área de las parcelas agropecuarias	3.9	4	4
Pérdida económica por producción del cultivo	Impacto económico a los productores por la pérdida del cultivo (maíz, principalmente)	Relación beneficio/ Costo de producción	$1 - (\text{Ingreso de producción parcela} / \text{Costo de producción parcela}) \times 100$	88.52	4	4
Capacidad adaptativa						
Indicador						Índice
Grado de CA del elemento expuesto	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	
Parcelas con riego tecnificado	Los terrenos para cultivo utilizan riego tecnificado, lo cual mejora la gestión del recurso hídrico por ser más eficiente.	Porcentaje de terrenos tecnificados	$(\text{Número de terrenos con riego tecnificado} / \text{Número total de terrenos}) \times 100$	37.5	2	2

Usuarios comprometidos	Los usuarios que pagan el costo de operación y mantenimiento tienen un mejor acceso al servicio que brinda la junta, y entrarían en futuros proyectos.	Porcentaje de parcelas cuyos propietarios pagan el servicio de mantenimiento	(Número de parcelas que pagan el servicio/ Número total de parcelas que utilizan el sistema) × 100	60	3	3
Cosecha de lluvia	Las parcelas que posean un sistema de cosecha de agua estarían mejor preparadas frente a la sequía.	Porcentaje de parcelas con cosecha de agua	(Número de parcelas que poseen cosecha de agua/ Número total de parcelas) × 100	0	1	1
Reservorios de agua lluvia	Que las parcelas tengan reservorios de agua que solvente las necesidades de riego en casos de sequía genera una mejor capacidad adaptativa.	Porcentaje de parcelas con reservorios de agua	(Número de parcelas que poseen reservorios de agua /Total parcelas) × 100	7.55	1	1
Especies con menor requerimiento hídrico	Las especies cultivadas actualmente podrían reemplazarse por especies que requieran menor cantidad de agua para su desarrollo.	Mínimo requerimiento hídrico	1 - (ABS (Requerimiento hídrico de la parcela actual - Mínimo requerimiento hídrico posible) /Mínimo requerimiento hídrico posible)) × 100	2	2	2

5.3.4 Enfoque ambiental

Dentro del enfoque ambiental se evalúan dos aspectos principales. El primero se relaciona con la cantidad y calidad del agua, así como su degradación debido a las amenazas climáticas directas e indirectas. El segundo aspecto aborda la infraestructura funcional y operativa del sistema hídrico del Machángara, y cómo estas amenazas pueden afectarla. Es importante señalar que este enfoque no evalúa directamente al ecosistema en su conjunto, sino el servicio ecosistémico de producción de agua que la subcuenca del Machángara proporciona para las diversas actividades productivas y servicios de los habitantes que viven en la subcuenca y sus alrededores.

En el área de análisis de la cantidad de agua, se evalúa la capacidad de regulación natural de la subcuenca. Este proceso puede verse afectado por sequías, erosión e incendios, que alteran los procesos hidrobiológicos dentro de la misma. La sequía se considera una amenaza prioritaria, ya que una reducción en la cantidad y calidad del agua conlleva a un desabastecimiento del recurso hídrico para los usuarios del sistema. Acceder a agua de alta calidad es fundamental no solo desde un punto de vista sanitario, sino también para la salud de los ecosistemas y para optimizar los procesos productivos en la subcuenca.

En el área de análisis de la infraestructura, se consideran las vías de acceso al sistema hídrico, los canales de conducción, embalses y la infraestructura ubicada en la parte baja de la subcuenca, entre otros elementos. Se evalúa cómo la infraestructura puede verse afectada por la interacción con el medio ambiente y las amenazas climáticas directas e indirectas. Por ejemplo, eventos como deslizamientos e inundaciones pueden causar daños y rupturas en los canales, muros de contención o tanques de almacenamiento de agua, lo que podría llevar al colapso del sistema hídrico y al desabastecimiento de los usuarios del recurso.

Como se mencionó en la vinculación de los aspectos de evaluación con las amenazas directas e indirectas, se identificó el aspecto de la infraestructura frente a amenazas como deslizamientos e inundaciones. A continuación, se ejemplificará su evaluación.

5.3.4.1 Infraestructura del sistema hídrico multipropósito – Deslizamientos

El elemento expuesto que se ha identificado en este caso son las vías de acceso y canales de conducción del sistema hídrico multipropósito. Al responder las preguntas para la identificación de los indicadores se obtiene:

- Amenaza: ¿Cuáles el indicador que representa a la amenaza identificada, respecto a la unidad de análisis y según el enfoque de análisis?

Se emplea la media del valor índice estandarizado de deslizamientos y erosión sobre el elemento expuesto que, en este caso, son las vías y canales de conducción del recurso hídrico, tal como se muestra en la Figura 21 y se resume en la Tabla 45.

Figura 21

Mapeo de la infraestructura evaluada sobre la amenaza de deslizamiento y erosión.

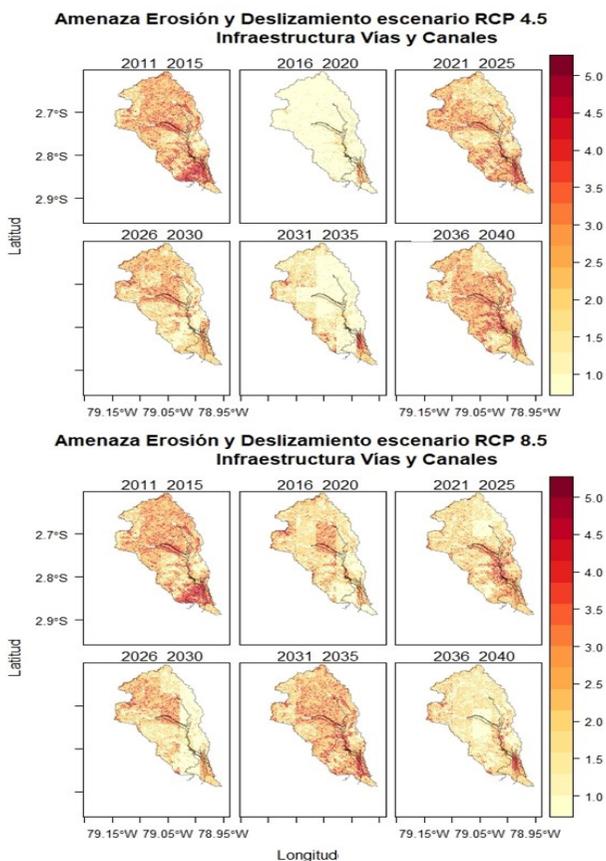


Tabla 45*Amenaza de deslizamientos y erosión.*

Índice de amenazas de deslizamientos y erosión RCP 4.5					Índice de amenazas de deslizamientos y erosión RCP 8.5					
2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040
3	2	3	2	2	3	2	3	2	3	2

- Exposición: ¿Cuál es el elemento/producto afectado que pertenece a la unidad de análisis que se ve afectado por la amenaza evaluada?

Para la exposición se determina a la infraestructura presente dentro de la subcuenca que pertenece al sistema hídrico, principalmente vías de acceso y canales de conducción del sistema. Para obtener el valor del indicador se emplea la Ecuación 34:

$$PDI = \left(\frac{DIS \left[\frac{km}{km^2} \right]}{DIP \left[\frac{km}{km^2} \right]} \right) * 100 \quad (34)$$

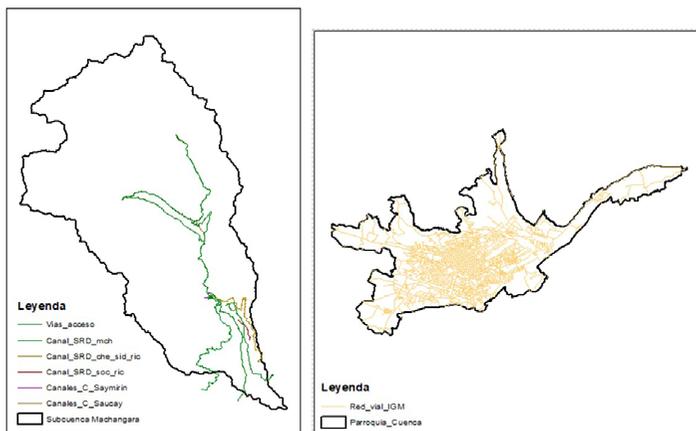
Dónde “PDI” es el Porcentaje de Densidad de Infraestructura, “DIS” es la Densidad Infraestructural para la Subcuenca en km/km² y “DIP” es la Densidad Infraestructural para el cantón Cuenca en km/km².

Nótese que se emplea un valor de exposición máximo. En este caso se utiliza la densidad de infraestructura del cantón Cuenca como estándar de máxima exposición; es decir, que mientras el valor de la densidad de infraestructura de la subcuenca del Machángara se acerca al valor de densidad de infraestructura del cantón Cuenca, mayor será su valor de exposición. Para estandarizar este valor se emplea el método de estandarización con la escala de Likert.

El valor de densidad de infraestructura (Tabla 46 y Figura 22) se obtuvo al dividir la longitud de la infraestructura dentro de la subcuenca, para su área. Mediante este mismo proceso se consiguió el valor de densidad de infraestructura para el cantón Cuenca, ya que este nos servirá para estandarizar el indicador, tal como se muestra a continuación:

Figura 22

Obtención del valor de densidad de infraestructura para la subcuenca del Machángara y para la ciudad de Cuenca.



Como una nota adicional cabe mencionar que la división del cantón Cuenca fue descargada del Instituto Geográfico Militar, cuyo nombre de archivo se denomina “Parroquia Cuenca”, pero en realidad es la división del cantón Cuenca.

Tabla 46

Obtención de los valores de densidad de infraestructura.

	Cantón Cuenca	Subcuenca Machángara
Longitud de la infraestructura [km]	491.05	128.49
Área [km ²]	71.67	325.45
Densidad [km/km ²]	6.85	0.39

- Sensibilidad: ¿Cuán sensible es el elemento expuesto con referencia a la unidad de análisis, considerando el enfoque de análisis?

Para la sensibilidad se ha identificado una categorización de la importancia de la infraestructura; es decir, se le da un peso a la infraestructura según la importancia que tiene para los beneficiarios del recurso o subunidades de evaluación, y luego se obtiene un valor medio de esta categorización. En la Tabla 47 se muestra el valor de sensibilidad asignado a cada una de las clasificaciones de la infraestructura dentro de la subcuenca. Esta asignación se realizó considerando los criterios importantes de la infraestructura para el correcto manejo y operación del sistema hídrico multipropósito.

Tabla 47

Estimación del indicador de sensibilidad de la infraestructura dentro de la subcuenca.

Infraestructura	Longitud	Sensibilidad	L^oS
Vías de acceso	86.75	4	347.01
Canal SRD Machángara	16.40	5	82.00
Canal SRD Checa_Sidcay_Ricaurte	12.82	5	64.13
Canal SRD Sociedad_Ricaurte	2.24	5	11.24
Canales Central_Saymirin	0.44	5	2.23
Canales Central_Saucay	9.82	5	49.10
SUMA	128.49		
Promedio ponderado		4	

- Capacidad adaptativa: ¿Cuán preparado está la unidad de análisis/ elemento expuesto para prevenir, adaptarse o reaccionar ante la amenaza?

Para este factor de riesgo, y siguiendo el cuestionamiento presentado se han identificado tres indicadores de capacidad adaptativa:

1. *Reparación y mantenimiento de la infraestructura del sistema hídrico multipropósito:* Se considera que se tiene mayor capacidad adaptativa cuando, al revisar el historial de la operación y mantenimiento de la subcuenca de los diferentes entes gestores, se ve reflejada la inversión económica en el mantenimiento o la reparación de la infraestructura expuesta. Sin embargo, es claro que, si se tendría más información, se podría elegir otro indicador

como grado de operación y funcionamiento con el que se utilizaría el número de eventos que paralicen el correcto funcionamiento del sistema hídrico. Es así como se valora este indicador mediante la Ecuación 35.

$$GMR = \left(\frac{VMR[\$]}{VMRO[\$]} \right) * 100 \quad (35)$$

Donde “GMR” es el Grado de Mantenimiento y Reparación de la infraestructura, “VMR” es el Valor destinado a Mantenimiento y Reparación en dólares y “VMRO” es el Valor óptimo de Mantenimiento en dólares y Reparación de la infraestructura.

Debido a que es complicado definir un valor óptimo de inversión en la reparación y mantenimiento de la infraestructura del sistema hídrico, en el caso de este indicador se deja planteada la fórmula para calcularlo; sin embargo, a criterio del equipo técnico, y considerando la información recogida del plan de manejo del Machángara, y los datos económicos de la empresa generadora de electricidad Elecaastro S.A. se decide asignarle un valor de 4 o “alto”.

2. *Estudio de estabilidad en zonas más vulnerables:* Se considera que hay mayor capacidad adaptativa cuando se tiene un estudio específico de la amenaza, el cual permite determinar acciones para proteger la infraestructura frente a la amenaza indirecta. Se valora este indicador mediante la Ecuación 36.

$$PIEE = \left(\frac{IE[km]}{IT[km]} \right) * 100 \quad (36)$$

Donde “PIEE” es el Porcentaje de Infraestructura que presenta Estudios Específicos, “IE” corresponde a la Infraestructura Expuesta que cuenta con estudios específicos en km e “IT” corresponde a la Infraestructura Total expuesta en km.

Ya que no existen estudios de este tipo el valor del indicador es 0 y para la estandarización de este indicador se emplea el método de estandarización de la escala de Likert.

3. *Sistema de alerta temprana:* Quiere decir que se tiene una mejor capacidad adaptativa si se logra un monitoreo óptimo de los factores climáticos detonantes de la amenaza, específicamente mejorando las capacidades de reacción ante este tipo de amenazas. Este indicador se valora mediante la Ecuación 37.

$$PEV = \left(\frac{EV}{ET} \right) * 100 \quad (37)$$

Donde “PEV” es el Porcentaje de Estaciones de monitoreo dentro de la subcuenca Vinculados al sistema de alerta temprana, “EV” corresponde al número de Estaciones Vinculadas al sistema de alerta temprana y “ET” es el número de Estaciones de Monitoreo dentro de la subcuenca.

Al no existir un sistema de alerta temprana y al no haber ningún punto de monitoreo vinculado a este, se le asigna al indicador un valor de 0. Para estandarizar este valor se emplea el método de estandarización de la escala de Likert.

Esta evaluación se resume en las Tablas 48 y 49. Al emplear la fórmula para calcular el riesgo, obtenemos los valores que, una vez estandarizados, arrojan la calificación correspondiente:

Tabla 48

Valor y calificación de riesgo para el componente ambiental bajo el aspecto infraestructural ante la amenaza de deslizamientos.

Infraestructura del sistema hídrico multipropósito - Deslizamientos													
		Escenario RCP 4.5						Escenario RCP 8.5					
		2011	2016	2021	2026	2031	2036	2011	2016	2121	2026	2031	2036
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2015	2020	2025	2030	2035	2040	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Grado de mantenimiento y reparación de la infraestructura	Valor de riesgo	3	2	3	2	2	3	3	2	3	2	3	2
	Calificación de riesgo	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1
Estudios específicos realizados sobre la infraestructura vulnerable frente a la amenaza.	Valor de riesgo	12	8	12	8	8	12	12	8	12	8	12	8
	Calificación de riesgo	4	3	4	3	3	4	4	3	4	3	4	3
Porcentaje de estaciones de monitoreo dentro de la subcuenca Vinculados al sistema de alerta temprana	Valor de riesgo	12	8	12	8	8	12	12	8	12	8	12	8
	Calificación de riesgo	4	3	4	3	3	4	4	3	4	3	4	3

Tabla 49

Evaluación de riesgo de la infraestructura del sistema hídrico multipropósito con respecto a los deslizamientos y erosión.

Infraestructura del sistema hídrico multipropósito - Deslizamientos y erosión						
Amenaza						
Indicador						
Amenaza a Evaluar	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	Índice
Deslizamientos y erosión	Esta amenaza impacta a la infraestructura del sistema hídrico multipropósito, pudiendo ocasionar un colapso del sistema debido a la falta del recurso hídrico.	Índice estandarizado de deslizamientos y erosión	NA	NA	NA	Ver tabla de amenazas
Exposición						
Indicador						
Elemento expuesto	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	Índice
Infraestructura presente dentro de la subcuenca que pertenecen al sistema hídrico	Considerando a infraestructura como vías, canales de conducción hídrica a las plantas generadoras y canales de conducción hídrica de los sistemas de riego principalmente, se establece que a una mayor densidad infraestructural mayor es la exposición de la misma frente a la amenaza	Porcentaje de densidad infraestructural del sistema hídrico multipropósito	$PDI = \left(\frac{DIS [km/km^2]}{DIP [km/km^2]} \right) \times 100$ Donde: PDI es el Porcentaje de densidad infraestructural, DIS es la densidad infraestructural para la subcuenca en km/km ² y DIP es la densidad infraestructural para la parroquia Cuenca en km/km ²	5.76	1	1

Sensibilidad						
Indicador						
Sensibilidad del elemento expuesto	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	Índice
Categorización de la importancia de la infraestructura	Se le da un peso a la importancia de la infraestructura	Ponderación de la importancia de la infraestructura frente a la amenaza.	Ponderación de las diferentes infraestructuras expuestas a la amenaza	4.00	4.00	4.00
Capacidad Adaptativa						
Indicador						
Grado de CA del elemento expuesto	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	Índice
Reparación y mantenimiento de la infraestructura del sistema hídrico multipropósito	Se tiene mayor capacidad adaptativa cuando a revisar la historia de la operación y mantenimiento de la subcuenca de los diferentes entes dentro de la subcuenca se ve reflejado la inversión económica a dar mantenimiento o reparar la infraestructura expuesta.	Grado de mantenimiento y reparación de la infraestructura	$GMR = \frac{(VMR [\$/])}{(VMRO [\$/])} \times 100$ Donde: GMR es el grado de mantenimiento y reparación de la infraestructura, VMR es el valor destinado a mantenimiento y reparación en \$ y VMRO es el valor óptimo de mantenimiento y reparación de la infraestructura	4	4	4

Estudio de estabilidad en zonas más vulnerables	Se tiene mayor capacidad adaptativa cuando se tiene un estudio específico de la amenaza, permitiendo determinar acciones para la protección de la infraestructura frente a la amenaza indirecta	Estudios específicos realizados sobre la infraestructura vulnerable frente a la amenaza.	$PIEE = ((IE [km]) / (IT [km]) \times 100)$ Donde: PIEE es el porcentaje de infraestructura que presenta estudios específicos, IE corresponde a la infraestructura expuesta que cuenta con estudios específicos en km y IT corresponde a la infraestructura total expuesta en km	0	1	1
Sistema de alerta temprana	Se tiene una mejor capacidad adaptativa si se logra un monitoreo óptimo de los factores climáticos detonantes de la amenaza	Porcentaje de estaciones de monitoreo dentro de la subcuenca Vinculados al sistema de alerta temprana	$PEV = ((EV) / (ET) \times 100)$ Donde: PEV es el Porcentaje de estaciones de monitoreo dentro de la subcuenca Vinculados al sistema de alerta temprana, EV corresponde al número de estaciones vinculadas al sistema de alerta temprana y ET es el número de estaciones de monitoreo dentro de la subcuenca	0	1	1

5.3.4.2 Infraestructura del sistema hídrico multipropósito - Inundaciones

En este caso el elemento expuesto es la infraestructura en la parte baja de la subcuenca del Machángara. Al responder las preguntas para identificar a los indicadores obtenemos:

- Amenaza: ¿Cuál es el indicador que representa a la amenaza identificada, respecto a la unidad de análisis y según el enfoque de análisis?

Para esto se obtiene el valor estimado en el apartado de evaluación y se lo aplica directamente, como se resume en la Tabla 50:

Tabla 50

Amenaza de inundaciones.

Índice de amenazas de inundaciones RCP 4.5						Índice de amenazas de inundaciones RCP 8.5				
2011	2016	2021	2026	2031	2036	2016	2021	2026	2031	2036
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	2020	2025	2030	2035	2040	2020	2025	2030	2035	2040
3	2	5	4	4	4	2	5	2	5	3

- Exposición: ¿Cuál es el elemento/producto afectado que pertenece a la unidad de análisis que se ve afectado por la amenaza evaluada?

Para la exposición se determina a la infraestructura ubicada en la parte baja de la subcuenca. Para obtener el valor del indicador se emplea la Ecuación 38.

$$PIE = \left(\frac{AIE [km^2]}{AET [km^2]} \right) * 100 \quad (38)$$

Donde “PIE” es el Porcentaje de Infraestructura Expuesta, “AIE” es el Área de Infraestructura Expuesta en km² y “AET” es el Área Expuesta Total en km².

Con el objetivo de estimar el indicador de exposición a inundaciones en la parte baja de la subcuenca, se empleó un criterio de zona potencial inundable: un *buffer* de 100 m desde el eje del río, el cual corresponde a la

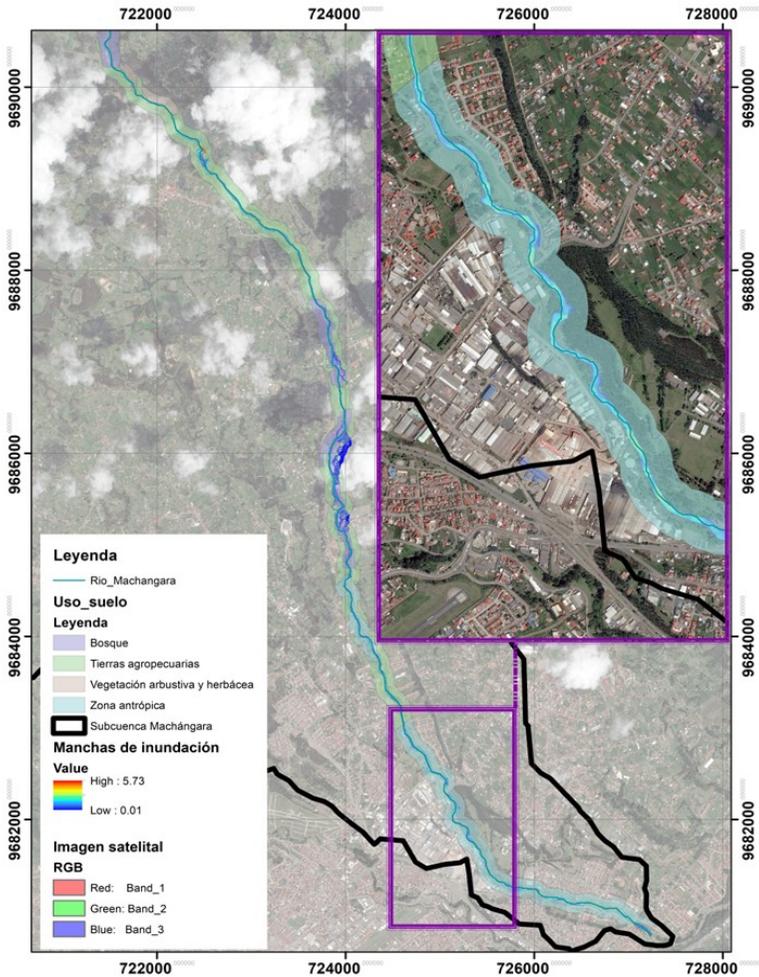
distancia máxima del eje del río y la mancha de inundación más extendida, obtenida en la simulación hidráulica. Una vez obtenida esta área potencial de inundación, se extraen los datos de uso del suelo y se obtiene el porcentaje que corresponde al uso del suelo de zona antrópica. Para estandarizar este valor se emplea el método de estandarización de la escala de Likert.

- Sensibilidad: ¿Cuán sensible es el elemento expuesto con referencia a la unidad de análisis, considerando el enfoque de análisis?

Para la sensibilidad se ha identificado una categorización sobre la importancia de la infraestructura; es decir, se le da un peso a la categorización del área de infraestructura expuesta, como zonas de asentamientos humanos o zonas industriales en su sensibilidad a la amenaza, y luego se obtiene un valor medio de esta categorización. Para estimar el indicador de sensibilidad se evaluó, con la ayuda de una imagen satelital, la composición de la infraestructura dentro de la clasificación de uso de suelo, designada como zona antrópica, a partir de lo cual se puede determinar que dicha infraestructura se compone principalmente de zonas residenciales e industriales. Por esto se le otorga a este indicador un valor de 4 o “alto” (Figura 23).

Figura 23

Evaluación de cobertura de uso de suelo en potencial zona de inundación.



- Capacidad adaptativa: ¿Cuán preparado está la unidad de análisis/ elemento expuesto para prevenir, adaptarse o reaccionar ante la amenaza?

Para este factor de riesgo y siguiendo el cuestionamiento presentado se han identificado dos indicadores de capacidad adaptativa:

1. *Estudios especializados de inundaciones en zonas vulnerables en la parte baja de la subcuenca*: Se tiene mayor capacidad adaptativa cuando hay un estudio específico de la amenaza, el cual permite determinar acciones para la protección de la infraestructura frente a la amenaza indirecta. Se valora a este indicador mediante la Ecuación 39.

$$PIEE=(IE/IT)*100 \quad (39)$$

Donde “PIEE” es el Porcentaje de Infraestructura que presenta Estudios Específicos, “IE” corresponde al número de Infraestructura Expuesta que cuenta con estudios específicos e “IT” corresponde al número de Infraestructura Total expuesta.

Debido a la inexistencia de estudios especializados de inundaciones en zonas vulnerables, este indicador obtiene un valor de 0, y para la estandarización de este indicador se emplea el método de estandarización de la escala de Likert.

2. *Sistema de alerta temprana*: Se tiene una mejor capacidad adaptativa si se logra un monitoreo óptimo de los factores climáticos detonantes de la amenaza, específicamente si se mejoran las capacidades de reacción ante este tipo de amenazas. Este indicador se valora mediante la Ecuación 40.

$$PEV=(EV/ET)*100 \quad (40)$$

Donde “PEV” es el Porcentaje de Estaciones de monitoreo dentro de la subcuenca Vinculados al sistema de alerta temprana, “EV” corresponde al número de Estaciones Vinculadas al sistema de alerta temprana y “ET” es el número de Estaciones de Monitoreo dentro de la subcuenca.

Ya que no existe un sistema de alerta temprana, no hay ningún punto de monitoreo vinculado a este, por lo que el valor del indicador es 0. Para estandarizar este valor se emplea el método de estandarización de la escala de Likert.

Toda esta evaluación se resume en las Tablas 51 y 52:

Tabla 51

Valor y calificación de riesgo para el componente ambiental bajo el aspecto infraestructural ante la amenaza de inundaciones.

		Infraestructura del sistema hídrico multipropósito - Inundaciones											
		Escenario RCP 4.5						Escenario RCP 8.5					
		2011	2016	2121	2026	2031	2036	2016	2121	2026	2031	2036	
		2015	2020	2025	2030	2035	2040	2020	2025	2030	2035	2040	
Estudios específicos realizados sobre la infraestructura vulnerable frente a la amenaza.	Valor de riesgo	24	16	40	32	32	32	16	40	16	40	24	
	Calificación de riesgo	5	4	5	5	5	5	4	5	4	5	5	
Porcentaje de estaciones de monitoreo dentro de la subcuenca vinculados al sistema de alerta temprana	Valor de riesgo	24	16	40	32	32	32	16	40	16	40	24	
	Calificación de riesgo	5	4	5	5	5	5	4	5	4	5	5	

Tabla 52

Evaluación de riesgo de la infraestructura del sistema hídrico multipropósito con respecto a las inundaciones.

Infraestructura del sistema hídrico multipropósito - Inundaciones						
Amenaza						
Indicador						
Amenaza a Evaluar	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	Índice
Inundaciones	Esta amenaza impacta a la infraestructura presente en la parte baja del sistema de recursos hídricos (parte baja de la subcuenca)	Índice estandarizado de inundaciones	NA	NA	NA	Ver tabla de amenazas
Exposición						
Indicador						
Elemento expuesto	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	Índice
Infraestructura ubicada en la parte baja de la subcuenca	A mayor presencia de zonas antrópicas en el área de evaluación mayor será la exposición	Porcentaje de infraestructura expuesta	$\text{PIE} = \frac{(\text{AIE} [\text{km}]^2)}{(\text{AET} [\text{km}]^2)} \times 100$ Donde: PIE es el porcentaje de infraestructura expuesta, AIE es el área de infraestructura expuesta en km^2 y AET es el área expuesta total km^2	35	2	2

Sensibilidad						
Indicador						
Sensibilidad del elemento expuesto	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	Índice
Categorización de la importancia de la infraestructura	Se le da un peso a la categorización de la importancia del área de infraestructura expuesta como zonas de asentamientos humanos zonas industriales en su sensibilidad a la amenaza	Ponderación de las áreas de la infraestructura frente a la amenaza.	Ponderación de la importancia de las áreas de infraestructura frente a la amenaza.	4	4	4

Capacidad Adaptativa						
Indicador						
Grado de CA del elemento expuesto	Detalle	Nombre	Fórmula	Valor	Valor estandarizado	Índice
Estudios especializados de inundaciones en zonas vulnerables en la parte baja de la subcuenca	Se tiene mayor capacidad adaptativa cuando se tiene un estudio específico de la amenaza, permitiendo determinar acciones para la protección de la infraestructura frente a la amenaza indirecta	Estudios específicos realizados sobre la infraestructura vulnerable frente a la amenaza.	$PIEE = \frac{(IE [km])}{(IT [km])} \times 100$ Donde: PIEE es el porcentaje de infraestructura que presenta estudios específicos, IE corresponde al número de infraestructura expuesta que cuenta con estudios específicos y IT corresponde al número de infraestructura total expuesta	0	1	1

Sistema de alerta temprana	Se tiene una mejor capacidad adaptativa si se logra un monitoreo óptimo de los factores climáticos detonantes de la amenaza	Porcentaje de estaciones de monitoreo dentro de la subcuenca vinculados al sistema de alerta temprana	$PEV = \frac{(EV)}{(ET \times 100)}$ Donde: PEV es el Porcentaje de estaciones de monitoreo dentro de la subcuenca Vinculados al sistema de alerta temprana, EV corresponde al número de estaciones vinculadas al sistema de alerta temprana y ET es el número de estaciones de monitoreo dentro de la subcuenca	0	1	1
----------------------------	---	---	--	---	---	---

Bibliografía

- Actis di Pasquale, E., & Balsa, J. (2017). La técnica de escalamiento lineal por intervalos: Una propuesta de estandarización aplicada a la medición de niveles de bienestar social. *Revista de Metodos Cuantitativos Para La Economia y La Empresa*, 23(1), 164–193. <https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.2691>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2010). *Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: Diagnóstico inicial, avances, vacíos y potenciales líneas de acción en Mesoamérica*. Inter-American Development Bank.
- Birkmann, J., Jamshed, A., McMillan, J. M., Feldmeyer, D., Totin, E., Solecki, W., Ibrahim, Z. Z., Roberts, D., Kerr, R. B., Poertner, H. O., Pelling, M., Djalante, R., Garschagen, M., Leal Filho, W., Guha-Sapir, D., & Alegría, A. (2022). Understanding human vulnerability to climate change: A global perspective on index validation for adaptation planning. *Science of the Total Environment*, 803, 150065. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150065>
- Guarín, S. (2002). *Estadística Aplicada*. Universidad Nacional de Colombia. https://reneues.files.wordpress.com/2010/01/libro-estadistica_aplicada-basico-guarin1.pdf
- IPCC. (2014a). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. *Guía Resumida Del Quinto Informe de Evaluación Del IPCC, Grupo de Trabajo II*.
- IPCC. (2014b). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. In *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- IPCC. (2014c). *Climate Change 2014 Synthesis Report Fifth Assessment Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://ar5-syr.ipcc.ch/>
- IPCC. (2014d). IPCC, 2014: Anexo II: Glosario. *Cambio Climático 2014: Informe de Síntesis. Contribución de Los Grupos de Trabajo I, II y III Al Quinto Informe de Evaluación Del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre El Cambio Climático*, 127–141.

- Lampis, A. (2013). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 22(2), 17–33. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v22n2.37017>
- Morales, P., Urosa, B., & Blanco, A. (2003). Construcción de escalas de actitudes tipo Likert. *Madrid: La Muralla*.
- Ortiz, J. M., Molina Castro, E. X., Quesada Molina, J. F., Calle Pesántez, A. E., & Orellana Valdéz, D. A. (2018). Consumo sustentable de agua en viviendas de la ciudad de Cuenca. *Ingenius*, 20, 28–38. <https://doi.org/10.17163/ings.n20.2018.03>
- The Climdex project. (2012). *CLIMDEX-Indices*. <https://www.climdex.org/learn/indices/>
- Vera, J., & Albarracín, A. (2017). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. In *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* (Vol. 27, Issue 2, pp. 109–136). <https://doi.org/10.18359/rcin.2309>



Este libro fue publicado digitalmente en julio de 2024
y pertenece al sello editorial UCuenca Press.

Cuenca - Ecuador

En un contexto global marcado por el cambio climático, que redefine drásticamente los patrones meteorológicos, los recursos hídricos son pilares fundamentales para la supervivencia y el desarrollo. Esta guía presenta un enfoque integral y sistemático para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo climático en sistemas hídricos multipropósito, con especial énfasis en el río Machángara. A través de un análisis detallado de amenazas, exposición y capacidad adaptativa, se busca capacitar a los tomadores de decisiones en la implementación de estrategias efectivas de adaptación y mitigación ante los desafíos contemporáneos de la crisis climática.

La obra de Alex Avilés, Stalin Jiménez, Blanca Rojas y Freddy Torres ofrece un sólido marco teórico, complementado con herramientas prácticas que permiten identificar y evaluar los factores de riesgo de manera precisa. Con un enfoque en la gestión sostenible de cuencas hidrográficas, este texto se convierte en una referencia esencial para académicos, gestores ambientales y profesionales comprometidos con la planificación y gestión de recursos hídricos.

UCUENCA
CIENCIAS QUÍMICAS

ISBN: 978-9978-14-558-6

