Guía metodológica para estudios de riesgo de los ecosistemas acuáticos y terrestres ante los efectos del cambio climático en el sistema TDPS.

Noviembre 2021

Prefacio

Esta guía fue elaborada como parte del proyecto "Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en el Sistema TDPS", liderado por el Ministerio del Ambiente (MINAM) de la Republica del Perú, y el Ministerio de Relaciones Exteriores del Estado Plurinacional de Bolivia, con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), y gestionado a través del Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo (PNUD). El Proyecto GIRH-TDPS surge ante la necesidad de generar una visión compartida e integrada de las acciones prioritarias que deben ejecutarse e incorporar a los actores clave en la gestión del TDPS. El proyecto busca ser un catalizador que contribuya a:

(i) Construir una visión común sobre la base de la GIRH,

(ii) Establecer una planificación común que oriente acciones en los ámbitos binacional, nacional y local, y

(iii) Movilizar e incorporar a los actores clave en la gestión integrada del sistema.

Esta guía forma parte de un grupo de estudios complementarios priorizados por ambos países que constituyen la base de información para el desarrollo del Análisis de Diagnóstico Transfronterizo, herramienta clave para la actualización del Plan Director Binacional del Sistema TDPS, implementado por la Autoridad Binacional Autónoma del Sistema TDPS (ALT).

La "Guía metodológica para estudios de riesgo de los ecosistemas acuáticos y terrestres ante los efectos del cambio climático en el sistema TDPS" ha sido desarrollada como parte de un trabajo técnico conjunto entre el Ministerio del Ambiente de Perú (MINAM) y el Ministerio de Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia (MMAYA) junto a otras instituciones de cada país, y tiene como objetivo proveer lineamientos para el desarrollo de evaluaciones de riesgo en ecosistemas terrestres y acuáticos en el Sistema TDPS basado en un sólido desarrollo conceptual, y la aplicación piloto de la metodología en tres unidades hidrográficas del Sistema TDPS.

Índice de Contenidos

Prefacio 2
Introducción 6
Glosario de Términos 7
Modelo Conceptual de Riesgo 9
Peligro/Amenaza 11
Exposición 12
Vulnerabilidad 12
Metodología de estimación del riesgo 12
Etapa 1. Selección de la unidad de análisis 13
Etapa 2. Selección del sujeto de análisis 14
Etapa 3. Recopilación de información. 17
Etapa 4. Identificación y análisis de peligros/amenazas 21
Cadena de peligros/amenazas 22
Indicadores de peligro/amenaza en el análisis de riesgo 24
Etapa 5. Identificación y análisis de exposición. 27
Etapa 6. Identificación y análisis de vulnerabilidad 28
A. Identificación y análisis de sensibilidad. 28
B. Identificación y análisis de la capacidad adaptativa. 32
Etapa 7. Estimación del riesgo. 36
Etapa 8. Interpretación del riesgo. 43
Recomendaciones 45
Referencias 46

Índice de Figuras

Figura 1 Modelo de riesgo del IPCC. Fuente: Informe IE5 (IPCC, 2014). 10

Figura 2 Modelo conceptual para la elaboración de la guía metodológica de riesgos TDPS. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2020 11

Figura 3 Metodología para la evaluación del riesgo climático. Fuente: CBC-Agua Sustentable, 2021 13

Figura 4 Ubicación Geográfica del Sistema Hídrico TDPS. Fuente: CBC-Agua Sustentable, 2020 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 5 Mapa de ecosistemas del TDPS para el Perú. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2020 15

Figura 6 Mapa de Macroecosistemas del Sistemas Hídrico TDPS para Bolivia. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2020 16

Figura 7 Fases Análisis de indicadores bioculturales. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2020 19

Figura 8 Cadena de peligros. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2020 22

Figura 9 Categorías y rangos de peligro/amenaza. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2020 en base a (GIZ, 2017) 25

Figura 10 Estimación del Peligro de Cambios en caudal Superficial. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 11 Diagrama de Estimación del riesgo. Fuente: GIZ, 2017 37

Figura 12 Cadena de impacto y pesos referenciales – Bosque Relicto Andino. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021 38

Figura 13 Cadena de impacto y pesos referenciales – Pajonal de Puna Húmeda. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021 39

Figura 14 Cadena de impacto y pesos referenciales – Pajonal de Puna Seca. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021 40

Figura 15 Cadena de impacto y pesos referenciales – Matorral Andino. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021 40

Figura 16 Cadena de impacto y pesos referenciales – Zona Periglaciar/Glaciar. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021 41

Figura 17 Cadena de impacto y pesos referenciales – Lago y laguna. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021 41

Figura 18 . Cadena de impacto y pesos referenciales – Río. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021 42

Figura 19 Cadena de impacto y pesos referenciales – Salar Altoandino de la Puna Xerofitica. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021 42

Figura 20 Progresión temporal para la interpretación del riesgo. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021 44

Índice de Tablas

Tabla 1 . Ejemplos de análisis de bioindicadores 19
Tabla 2 Descripción de indicadores bioculturales 20
Tabla 3 . Potenciales peligros en el sistema TDPS 23
Tabla 4 Análisis de la exposición 27

Índice de cuadros de ejemplos de aplicación

Cuadro 1. Ejemplo de aplicación de la metodología: Selección de la unidad de análisis .. 14
Cuadro 2. Selección del sujeto de análisis 17
Cuadro 3. Recopilación de información para el análisis 21
Cuadro 4. Estimación del Peligro 26
Cuadro 5. Estimación de la exposición 28
Cuadro 6. Identificación de indicadores de sensibilidad 30
Cuadro 7. Estimación de la sensibilidad 31
Cuadro 8. Selección de indicador de capacidad adaptativa.... **¡Error! Marcador no definido.**
Cuadro 9. Estimación de la Vulnerabilidad 35
Cuadro 10. Estimación del Riesgo 43

Introducción

El Sexto Informe de Evaluación del IPCC alerta que los cambios recientes en el clima están ampliamente dispersos, son rápidos, están intensificados y no tienen precedentes en miles de años. El informe añade que a menos de que hagan reducciones de gases de efecto invernadero inmediato, rápido y a larga escala no será posible limitar el calentamiento a 1.5 °C.

Las amenazas sobre el equilibrio ecológico de los ecosistemas están siendo preocupantemente exacerbadas por los impactos del cambio ambiental global, sometiéndolos a inminentes riesgos de colapso, lo que impactaría severamente sobre todas las dinámicas socioeconómicas y culturales de nuestras sociedades, como el acceso a agua, la soberanía alimentaria y la estabilidad social.

En este sentido, se hace relevante la necesidad de un mejor entendimiento de los impactos del cambio climático en la resiliencia de los ecosistemas[1], a fin de mantener su diversidad biológica, así como las dinámicas, funciones y servicios de los cuales dependen las actividades humanas.

Uno de los desafíos más importantes para gestionar nuestro desarrollo en contextos de cambio climático, es conocer y mantener los procesos fundamentales de los ecosistemas. En este sentido, el análisis de riesgos asociados al cambio climático constituye una herramienta valiosa para la toma de decisiones, así como para la planificación y desarrollo del territorio.

El presente trabajo, tiene como fin generar una herramienta para la evaluación de los potenciales riesgos de los ecosistemas acuáticos y terrestres ante los efectos del cambio climático en el sistema Titicaca, Desaguadero, Poopó, Salar de Coipasa.

De forma didáctica, el documento está organizado en tres apartados. El primer apartado, recapitula el Marco Conceptual concertado para el sistema TDPS, el apartado dos, introduce el marco metodológico del análisis de riesgos de manera didáctica, a través de los procedimientos para la estimación de los indicadores. Finalmente, en el apartado tres se presentan un conjunto de recomendaciones sobre el uso y la aplicación de la presente guía.

[1] Resiliencia: La habilidad de un sistema y sus componentes para anticipar, absorber, adaptarse o recuperarse de los efectos de un fenómeno peligroso, de forma oportuna y eficiente, incluso velando por la conservación, restauración o mejora de sus estructuras y funciones básicas esenciales.

Glosario de Términos

Adaptación. En los sistemas humanos, el proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos, a fin de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En los sistemas naturales, el proceso de ajuste al clima real y sus efectos; la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado (IPCC, 2012).

Amenaza (Estado Plurinacional de Bolivia, Ley 602, de Gestión de Riesgos): Es la probabilidad de que un evento de origen natural, socio-natural o antrópico, se concrete y se produzca en un determinado tiempo o en una determinada región.

Cambio climático. Un cambio en el estado del clima que puede ser identificado (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) por cambios en el valor medio de sus propiedades y/o por la variabilidad de las mismas, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropógenos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra (IPCC, 2012).

Capacidad adaptativa: Capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad del clima, cambio climático y los fenómenos extremos) para moderar los daños potenciales y aprovechar las oportunidades. Todos los ecosistemas tienen una resiliencia diferenciada frente a las perturbaciones temporales o permanentes, en caso del TDPS se pueden considerar atributos específicos como los ensamblajes de especies, procesos de sucesión ecológica, capacidad de adaptación fisiológica de los organismos y otros atributos que influirán en la capacidad adaptativa inherente a cada ecosistema.

Desastre. Alteraciones graves del funcionamiento normal de una comunidad o una sociedad debido a los fenómenos físicos peligrosos que interactúan con las condiciones sociales vulnerables, dando lugar a efectos humanos, materiales, económicos o ambientales adversos generalizados que requieren una respuesta inmediata a la emergencia para satisfacer las necesidades humanas esenciales, y que puede requerir apoyo externo para la recuperación (IPCC, 2012).

Exposición. La presencia de personas, medios de subsistencia, servicios y recursos ambientales, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares que podrían verse afectados negativamente (IPCC, 2012).

Fenómenos climáticos extremos (fenómenos meteorológicos o climáticos extremos). La ocurrencia de un valor de una variable meteorológica o climática por encima (o por debajo) de un valor de umbral cercano al extremo superior (o inferior) de la horquilla de valores observados de la variable. En aras de la simplicidad, tanto los fenómenos meteorológicos extremos como los fenómenos climáticos extremos a los que se hace referencia en el presente informe se denominarán “fenómenos climáticos extremos” (IPCC, 2012).

Gestión de Riesgo ante el cambio Climático: La gestión del riesgo ante los efectos del cambio climático es un proceso de adopción de políticas, estrategias y acciones concretas, con el objetivo de reducir daños actuales o, prevenir o evitar los daños futuros, a las poblaciones y sus medios y formas de vida, territorios, ecosistemas, infraestructura, bienes y servicios, entre otros, o a las alteraciones en el funcionamiento de estas; generadas por peligros asociados al cambio climático, y las consiguientes pérdidas (Reglamento de Ley Marco de Cambio Climático – Perú)

Gestión de Riesgos: Es el proceso de planificación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, planes, programas, proyectos y acciones permanentes para la reducción de los factores de riesgo de desastre en la sociedad y los sistemas de vida de la Madre Tierra; comprende también el manejo de las situaciones de desastre y/o emergencia, para la posterior recuperación, rehabilitación y reconstrucción, con el propósito de contribuir a la seguridad, bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo integral **(Estado Plurinacional de Bolivia, Ley 602, de Gestión de Riesgos**).

Peligro/Amenaza asociado al cambio climático (homologados para fines de la presente guía): Fenómeno físico, tendencia o perturbación en el ambiente debido a los cambios graduales o extremos en las propiedades del clima; con probabilidad o potencialidad de ocurrir en un lugar específico con determinadas características y con la capacidad de causar daños o pérdidas a un sujeto, alterar severamente su funcionamiento. Estos cambios en las propiedades del clima pueden ser actuales y futuros. Estos peligros son materia de análisis en la presente metodología[2].

Primera Respuesta: Son acciones operativas en los momentos iniciales en los que se presentan situaciones de desastre y/o emergencia, como ser: evacuación, salvamento y rescate (IPCC, 2012).

Riesgo climático: Consecuencias eventuales en situaciones en que algo de valor está en peligro y el desenlace es incierto, reconociendo la diversidad de valores. A menudo el riesgo se representa como la probabilidad de acaecimiento de fenómenos o tendencias peligrosos multiplicada por los impactos en caso de que ocurran tales fenómenos o tendencias. En el quinto informe de evaluación del IPCC, este término se suele utilizar para referirse a las posibilidades, cuando el resultado es incierto, de que ocurran consecuencias adversas para la vida; los medios de subsistencia; la salud; los ecosistemas y las especies; los bienes económicos, sociales y culturales; los servicios (incluidos los servicios ambientales) y la infraestructura (IPCC, 2014).

Resiliencia: La habilidad de un sistema y sus componentes para anticipar, absorber, adaptarse o recuperarse de los efectos de un fenómeno peligroso, de forma oportuna y eficiente, incluso velando por la conservación, restauración o mejora de sus estructuras y funciones básicas esenciales (IPCC, 2012).

Sensibilidad: La sensibilidad determina el grado en que un sistema está adverso o benéficamente afectado por un efecto del cambio climático dado. La sensibilidad se forma típicamente por atributos naturales y/o físicos del sistema, incluyendo la topografía, la capacidad de los diferentes tipos de suelo, etc. (IPCC, 2014).

Transformación. La alteración de los atributos fundamentales de un sistema (entre ellos, los sistemas de valores; los regímenes normativos, legislativos o burocráticos; las instituciones financieras, y los sistemas tecnológicos o biológicos) (IPCC, 2012).

Vulnerabilidad. La propensión o predisposición a verse o 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 (IPCC, 2012). Se considera también la susceptibilidad de las comunidades, grupos, familias

[2] Reglamento de Ley No 30754 – Ley Marco de Cambio Climático, Perú – 2018.

e individuos a sufrir daños o pérdidas vinculadas a las amenazas/peligros. (Ley de gestión de riesgos, 2014).

Modelo Conceptual de Riesgo

El cambio climático expone a las personas, las sociedades, los sectores económicos y los ecosistemas a riesgos. Los riesgos son posibles consecuencias en situaciones en que algo de valor está en peligro y el desenlace es incierto. (IPCC, 2014)

La presente guía ha sido elaborada sobre la base del modelo conceptual de riesgo del IPCC[3] [4] en su quinto informe de Evaluación. Dicho enfoque define que un riesgo climático es la potencial ocurrencia de consecuencias específicas relacionadas con el clima (impactos climáticos) que afecten algo de valor (bienes, gente, ecosistemas, cultura, etc.). Típicamente los sistemas serán afectados por más de un riesgo climático. Algunos ejemplos de riesgo son:

- Riesgo de escasez hídrica para pequeños agricultores.
- Riesgo de inseguridad alimentaria para la población rural.
- Riesgo de extinción de especies para biodiversidad.

El concepto de riesgo se refiere a una situación cuyo resultado es incierto. En una evaluación de riesgo, esta incertidumbre puede ser abordada de diferentes formas. El Quinto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2014), examina cómo la gestión de riesgos de desastre y la adaptación al cambio climático pueden reducir el riesgo de desastres, mediante la reducción de la exposición y de la vulnerabilidad a los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, así como aumentar la resiliencia a los riesgos que no pueden eliminarse. (IPCC, 2012)

La naturaleza y la gravedad de los impactos debidos a fenómenos climáticos extremos no dependen sólo de los propios fenómenos sino también de la exposición y la vulnerabilidad.

En el enfoque de riesgo del IPCC, los impactos adversos se consideran desastres cuando producen daños generalizados y provocan alteraciones graves en el funcionamiento normal de las comunidades o sociedades. Los fenómenos climáticos extremos, la exposición y la vulnerabilidad están influenciados por una amplia gama de factores, incluidos el cambio climático, la variabilidad natural del clima y el desarrollo socioeconómico. (IPCC, 2012)

[3] Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.

[4] Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático y Quinto Informe de Evaluación.

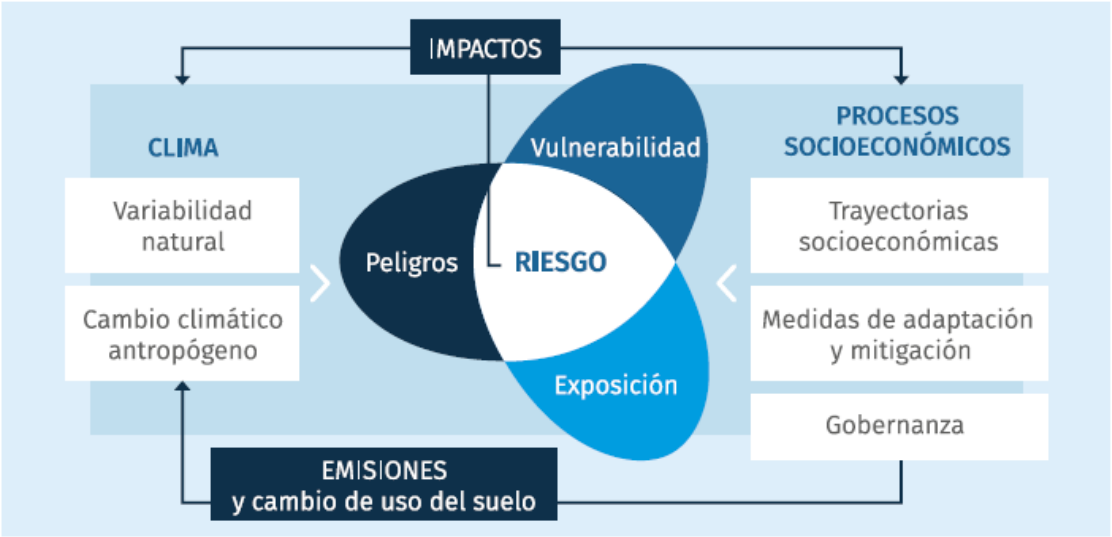


Figura 1. Modelo de riesgo del IPCC. Fuente: Informe IE5 (IPCC, 2014).

Los riesgos de los impactos del cambio climático surgen de la interacción entre un peligro climático o amenaza climática, la vulnerabilidad (susceptibilidad a sufrir daños) y la exposición (personas, activos o ecosistemas en riesgo). Los peligros/amenazas abarcan procesos que van de fenómenos breves, como tormentas violentas, a tendencias lentas, como sequías a lo largo de varias décadas o el aumento del nivel del mar a lo largo de varios siglos. La vulnerabilidad y la exposición se ven influidas por diversos procesos sociales y económicos, con posibles aumentos o disminuciones en función de las trayectorias de desarrollo. (IPCC, 2014)

La gestión de riesgos de desastre y la adaptación al cambio climático se centran en la reducción de la exposición y la vulnerabilidad y el aumento de la resiliencia a los posibles impactos adversos de los fenómenos climáticos extremos, a pesar de que los riesgos no pueden eliminarse completamente. (IPCC, 2012)

El modelo conceptual para esta guía constituye una representación del proceso de la investigación. El concepto de riesgo se toma del Informe IE5 (IPCC, 2014) (ver Figura 1) donde se ilustra la metodología para hacer un uso práctico de este concepto para la evaluación de riesgo climático de ecosistemas acuáticos y terrestres del sistema TDPS.

El concepto, distingue dos tipos de causas: causas externas relacionadas con el clima (peligro) y causas internas. Las causas internas son la vulnerabilidad (expresada en sensibilidad y capacidad adaptativa) de los sistemas o unidades susceptibles a ser impactadas por el peligro, de acuerdo al nivel de exposición a estas causas externas. En este modelo, únicamente la combinación de todos los componentes permite establecer una imagen completa del resultado final “Riesgo”.

En el caso de la Figura 2, el modelo representa el peligro como las señales climáticas, las cuales generan impactos. La exposición se representa como la presencia, en este caso, de ecosistemas que pueden verse afectados negativamente. La vulnerabilidad o propensión de los ecosistemas a ser afectados negativamente que está compuesta por sensibilidad típicamente conformada por atributos naturales o físicos del sistema, que incluye en este caso tipos de suelo, erosión, cobertura de suelo entre otros y referidos a la actividad humana que afecta la constitución del sistema, como sistemas de manejo entre otros y la capacidad adaptativa del ecosistema además, en este caso, el análisis son políticas adoptadas por ambos gobiernos como la declaración de áreas protegidas y sitios Ramsar.

Los ecosistemas acuáticos y terrestres están intrínsecamente integrados, por lo cual los cambios que ocurran en un ecosistema afectarán directamente en el otro, por ejemplo, el cambio en los niveles de agua de los sistemas acuáticos, incide directamente en las dinámicas poblacionales de macroinvertebrados y biota microbiana en el suelo, así como el comportamiento de las especies de flora asociada.

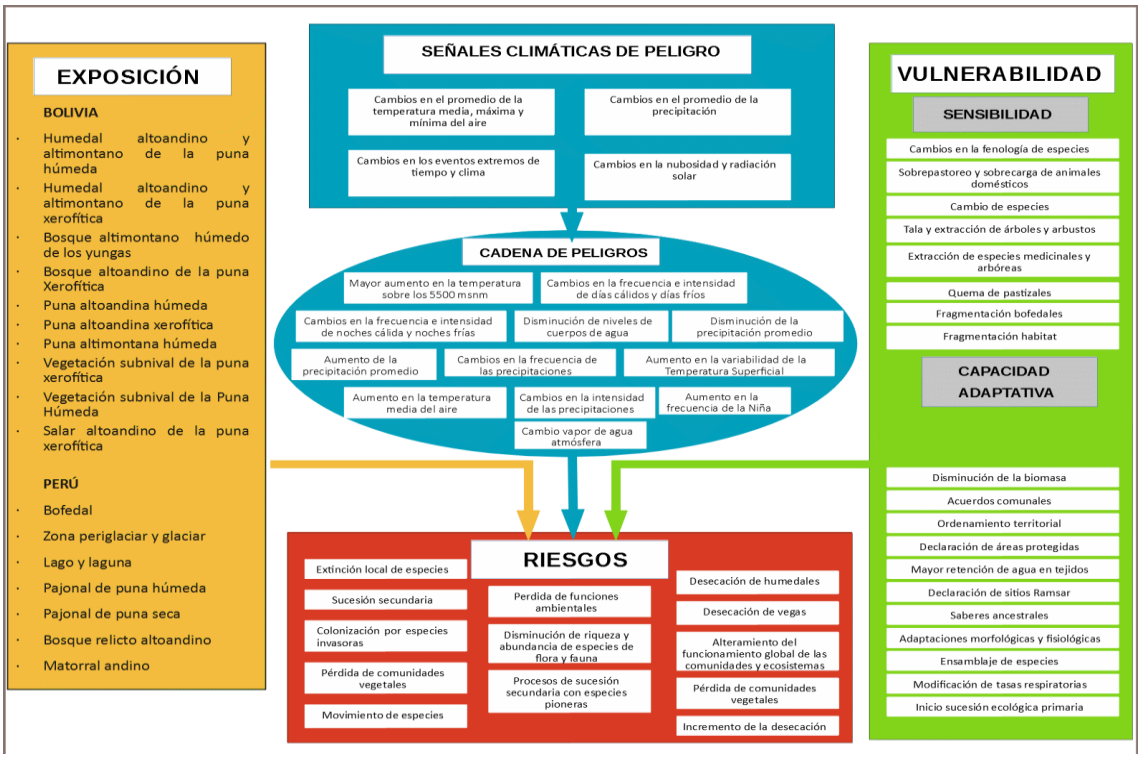


Figura 2. Modelo conceptual para la elaboración de la guía metodológica de riesgos TDPS.

Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2020

Peligro/Amenaza

En base al concepto de peligro/amenaza asociada a cambio climático, el mismo se representará a través de indicadores definidos y caracterizados en base al clima ya sea en variaciones o cambios en relación con promedios o alteración y/o cambios en la variabilidad (eventos extremos).

La estimación del peligro/amenaza en el presente documento, aborda dos niveles de disponibilidad de datos. Un primer nivel en la cuenca se puede estimar el indicador en base

a las condiciones de información suficientes las cuales permiten ver en el proceso de estimación la influencia directa de los cambios en las condiciones climáticas. Un segundo nivel para situaciones y regiones en las cuales la información recopilada para el primer nivel sea insuficiente o el grado de incertidumbre no permita estimar para lo cual se procede a estimar un indicador secundario que permite ver la influencia de los cambios climáticos de forma indirecta. En ambos casos se tendrá una base referencial para la valoración del indicador en el proceso de estimación del riesgo (ver anexo 2 de fichas metodológicas).

Exposición

En la presente guía, la exposición es caracterizada para reconocer aspectos específicos relacionados a la unidad de análisis (limite hidrográfico y limite político) así como al sujeto de análisis (ecosistemas) especifico.

Se debe considerar que a diferencia del marco general de riesgos donde el sujeto de análisis es especifico (centros poblados o áreas productivas) que pueden caracterizarse no solo en términos de superficie sino también en términos económicos, los ecosistemas son sujetos de análisis más complejos y multidimensionales los cuales por temas de jurisdicción transfronteriza en el caso del TDPS, ha sido decidido abordar de forma simple, vale decir la guía hará alusión a la exposición en termino solo de superficie.

Vulnerabilidad

Como se observa en el Modelo Conceptual (Figura 2) el componente de Vulnerabilidad se ha dividido en dos sub componentes que son sensibilidad y capacidad adaptativa. En el caso de la sensibilidad se consideran las características propias o intrínsecas de los ecosistemas acuáticos y terrestres del TDPS. Respecto a la capacidad adaptativa, se hace referencia a las características o cualidades de los ecosistemas, las mismas que influyen en el nivel de adaptación frente a los peligros o amenazas climáticas.

Tanto la sensibilidad como la capacidad adaptativa serán evaluados a través de indicadores, los cuales serán determinados de acuerdo al ecosistema identificado y al peligro o amenaza en estudio.

Metodología de estimación del riesgo

La metodología está dividida en 8 etapas, considerando un proceso gradual de identificación, recopilación de información y estimaciones de los diferentes indicadores relacionados con el riesgo:

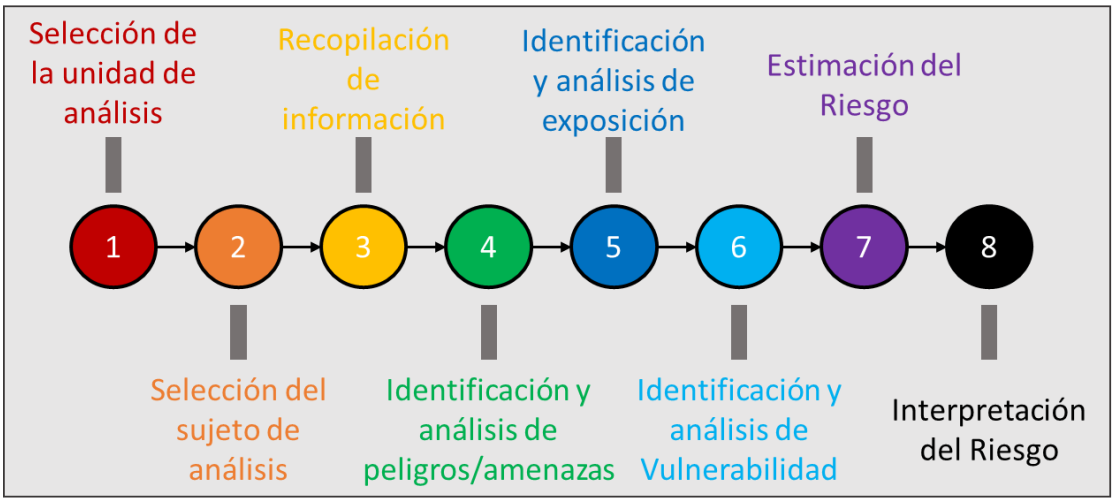


Figura 3. Metodología para la evaluación del riesgo climático. Fuente: CBC-Agua Sustentable, 2021

Etapa 1. Selección de la unidad de análisis

Durante la etapa 1 se realiza un análisis territorial o análisis geográfico, que permite delimitar el área en la cual se implementará la evaluación de riesgo. Se deben establecer los criterios de delimitación del territorio a ser analizado, que mejor se adecuen a cada necesidad, así podemos encontrar conceptos de región física y/o natural como por ejemplo la puna que se refiere a zonas altas muy frías o la janca que corresponde a los nevados;

- Región geográfica, en este caso podría considerar, por ejemplo, la región andina; región hidrográfica (unidad hidrográfica) para el TDPS podríamos considerar las cuencas Ramis, Desaguadero y Poopó u otras unidades hidrográficas menores;
- Región histórica o cultural podría considerarse en este caso la región quechua o la aymara;
- Región económica que dependerá de las actividades productivas del área delimitada;
- Región política que se determinará por el nivel de gobierno (provincia, distrito);
- Región funcional, nodale o polarizada que se refiere a unidades territoriales definidas a partir de la interdependencia funcional y de la densidad de flujos entre ellas, entre otras.

Esta etapa permitirá definir el área o unidad de análisis, siendo conveniente usar el mapa de ubicación geográfica del TDPS (Figura 4). Este paso permitirá posteriormente seleccionar el sujeto de análisis, que se explicará en la Etapa 2.

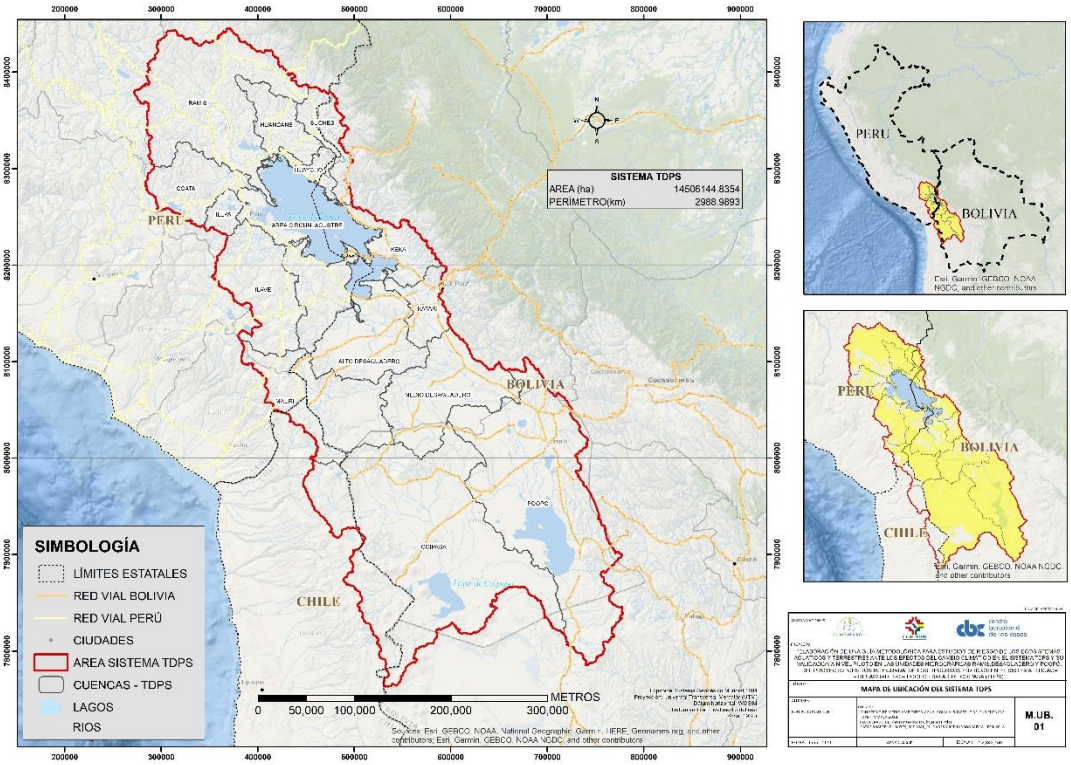


Figura 4. Ubicación Geográfica del Sistema Hídrico TDPS. Fuente: CBC-Agua Sustentable, 2020

Ejemplo de aplicación

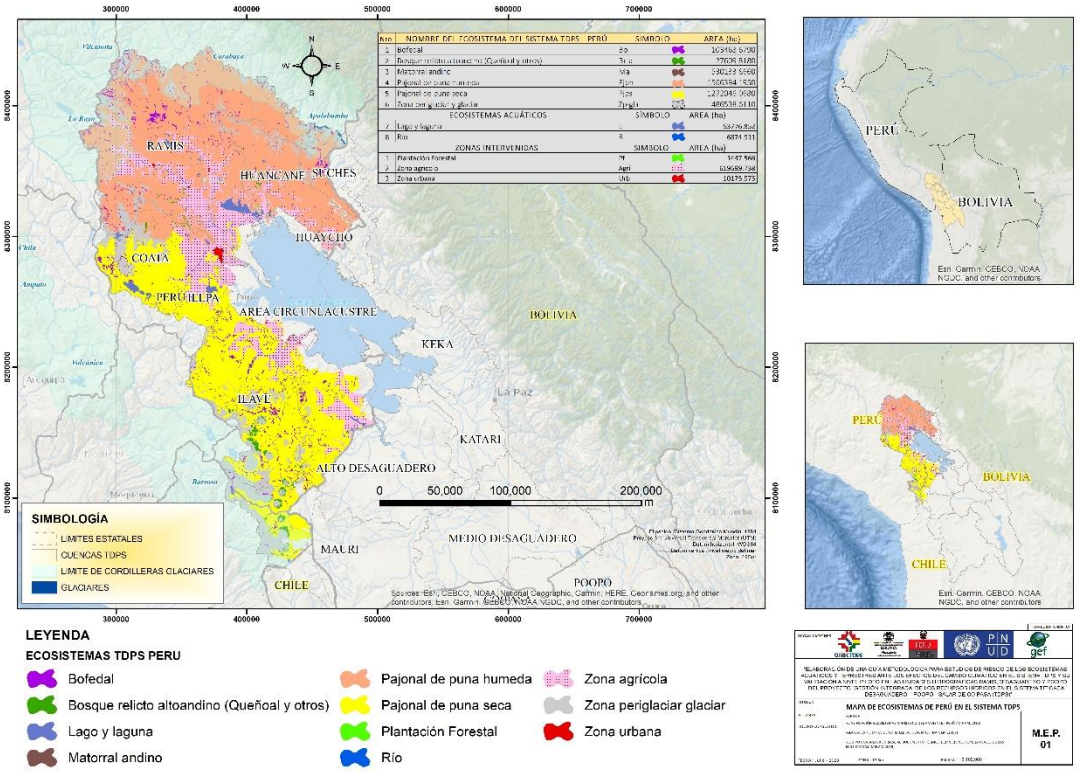
En el informe del piloto aplicado de esta guía, se seleccionó la sub cuenca Azángaro para el norte del Sistema TDPS (corresponde a la unidad hidrográfica Ramis), la sub cuenca Caraquillas para la parte media del TDPS (corresponde a la unidad hidrográfica Desaguadero) y la sub cuenca Kcochi para la unidad hidrográfica Poopó.

Cuadro 1. Ejemplo de aplicación de la metodología: Selección de la unidad de análisis

Etapa 2. Selección del sujeto de análisis

Una vez que el evaluador ha definido la unidad de análisis que puede ser una cuenca hidrográfica, microcuenca, o el ámbito de jurisdicción de un gobierno local, sea distrital o provincial, o el que fuera, corresponde la selección del sujeto de análisis, en este caso, identificar y caracterizar los ecosistemas presentes dentro de la unidad de análisis, pudiendo encontrar varios ecosistemas a ser evaluados.

El sujeto de análisis corresponde específicamente, a los ecosistemas en el caso de Perú (Figura 5) o macro ecosistemas en al caso de Bolivia (Figura 6) que serán evaluados:



Nro	NOMBRE DEL ECOSISTEMA DEL SISTEMA TDPS - PERÚ	SIMBOLO	AREA (ha)
1	Bofedal	Bo	103168.6290
2	Bosque relicto altoandino (Queñoal y otros)	Tr-a	72505.8180
3	Matorral andino	Ma	240223.5560
4	Pajonal de puna humeda	Pjph	1550039.4500
5	Pajonal de puna seca	Pjps	2272049.0680
6	Zona periglaciar y glaciar	Zpgla	480538.5110
	ECOSISTEMAS ACUÁTICOS	SIMBOLO	AREA (ha)
7	Lago y laguna	L	587763.852
8	Río	R	6874.511
	ZONAS INTERVENIDAS	SIMBOLO	AREA (ha)
1	Plantación Forestal	Pf	9147.566
2	Zona agrícola	Agri	159569.738
3	Zona urbana	Urb	10175.575

Figura 5 Mapa de ecosistemas del TDPS para el Perú. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2020

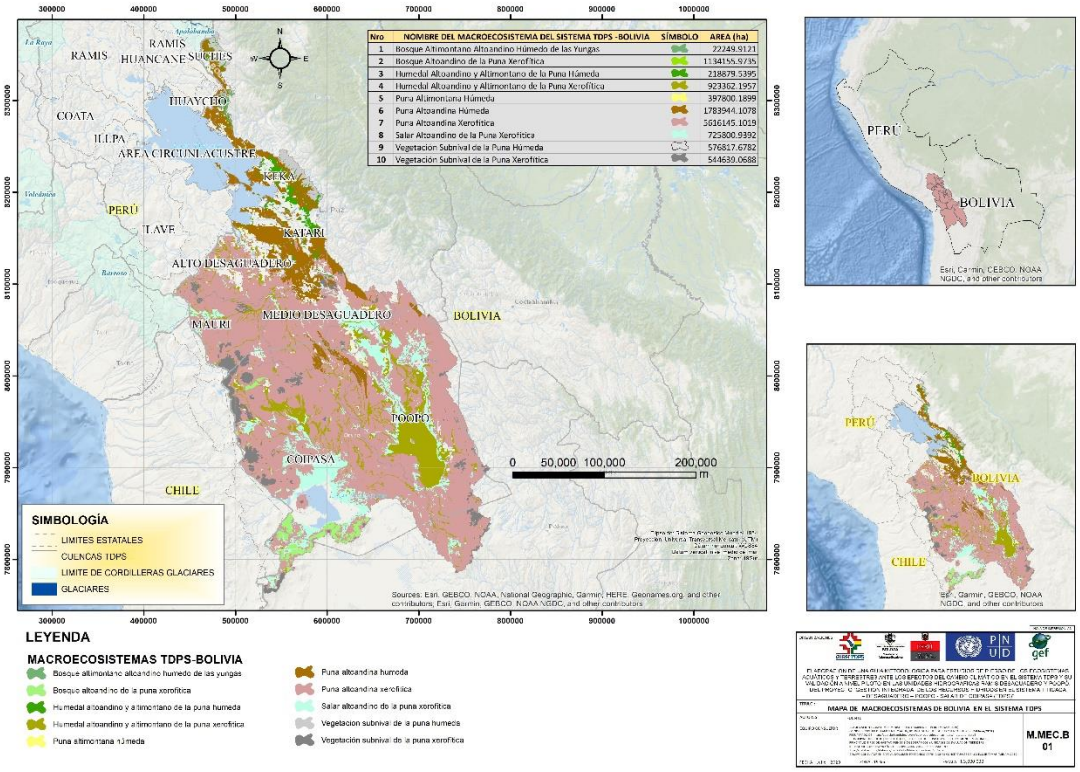


Figura 6. Mapa de Macroecosistemas del Sistemas TDPS para Bolivia. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2020

En los anexos de esta guía, se encuentran los mapas de ecosistemas de ambos países en mejor resolución, así como una descripción de los ecosistemas, tanto de Bolivia, como de Perú, con el fin de facilitar la implementación de la metodología propuesta. Así, los usuarios de esta herramienta, podrán identificar qué ecosistemas forman parte de la unidad de análisis escogido para su evaluación de riesgo.

Ejemplo de aplicación

Considerando las unidades de análisis del informe del piloto aplicado de esta guía, se identificaron los siguientes ecosistemas y macroecosistemas:

Sub Cuenca	Ecosistemas
Medio Azángaro	Pajonal de puna húmeda
	Zona periglaciar y glaciar
	Bofedal
	Lago y laguna
Río Caraquillas	Bofedal
	Pajonal de puna seca
	Zona periglaciar y glaciar
Kcochi	Bofedal
	Pajonal de puna seca
	Salar de Coipasa

Cuadro 2. Selección del sujeto de análisis

Etapa 3. Recopilación de información.

Si bien esta etapa corresponde a un proceso permanente durante el desarrollo de la evaluación de riesgo para el ecosistema, durante esta primera fase, se enfoca en la búsqueda, sistematización y análisis de información disponible, proveniente tanto de fuentes bibliográficas como de datos de terreno, los cuales permiten contar con los elementos necesarios, pertinentes y actualizados, para realizar las diferentes y sucesivas etapas de la evaluación de riesgos.

La información recopilada debe ser relevante sobre los ecosistemas, sus principales componentes bióticos (como flora y fauna clave, es decir dominante o indicadoras del

ecosistema), así como abióticos (suelo, aire, agua, factores climáticos), y la interacción entre éstos. Esta información permitirá conocer el comportamiento de los ecosistemas en relación al clima actual e idealmente futuro. Es importante considerar la información histórica sobre eventos climáticos que hayan provocado alteraciones, daños, pérdidas o que hayan afectado la dinámica natural de los ecosistemas.

Como producto de esta etapa tendremos información organizada en bases de datos sobre temas relevantes a la evaluación de riesgo climático, se recomienda recopilar la siguiente información:

- Datos históricos de precipitación y temperatura.
- Información y diagnósticos biofísicos de ecosistemas.
- Datos poblacionales y demográficos.
- Información y mapas de cuencas y sistemas hídricos.
- Información sobre biodiversidad y dinámicas ecológicas.
- Mapas y planes de uso y aptitud de suelo.

La recopilación de información, deberá considerar una verificación luego de la selección de indicadores para garantizar contar con todos los datos requerido para el desarrollo de la evaluación, caso contrario se puede volver a seleccionar otros indicadores, de acuerdo a la disponibilidad de información o la probabilidad de generarla.

En el Anexo n.°6 se referencian algunas fuentes de información que pueden ser de utilidad para la aplicación de esta etapa de la metodología.

Análisis Complementario: Indicadores bioculturales

El análisis de bioindicadores o indicadores locales infiere un reconocimiento de los sistemas convencionales de observación climática y los sistemas de observación local y tradicional. La compatibilidad y escalabilidad de ambos sistemas de observación se torna complicada, sin embargo, se plantea más bien hacer este análisis de forma paralela y complementaria.

Para la recopilación de indicadores locales, se propone el enfoque de Investigación Acción Participativa (IAP), considerar el Diagnóstico Rural Participativo (DRP)[5] y comunitario de Ecosistemas como medio concreto para acercarnos a la cosmovisión de las "familias campesinas" de cada espacio territorial, entendiendo que los indicadores bioculturales, en principio pasan por un procesamiento familiar en el hogar, luego son compartidos a nivel comunal, los campesinos aprovechan los momentos de las faenas comunales, los actos festivos y rituales o cualquier otra reunión de la comunidad para intercambiar sus pareceres, las predicciones son validadas colectivamente, a partir de estas predicciones se proyectan los cultivos y crianzas de animales y ayudan a garantizar y/o asegurar la producción agropecuaria del año.

De acuerdo a la metodología del DRP, este puede tener carácter evaluativo y/o predictivo. Para el caso del presente estudio, se plantea hacer un análisis predictivo.

[5]"El término Diagnóstico Rural Participativo (PARA, sigla en inglés) está siendo usado para describir una creciente familia de enfoques y métodos que les permite a las personas locales, compartir, mejorar y analizar sus conocimientos sobre la vida y sobre sus condiciones para planificar y actuar" (García, 2016)

Los contenidos predictivos están muy relacionados con los sistemas agrícolas y/o pastoriles consisten en la identificación de señales (animales, plantas, meteorológicas, acústicas, luminiscentes, geológicas, astrológicas, fechas festivas, antrópicas, etc.).

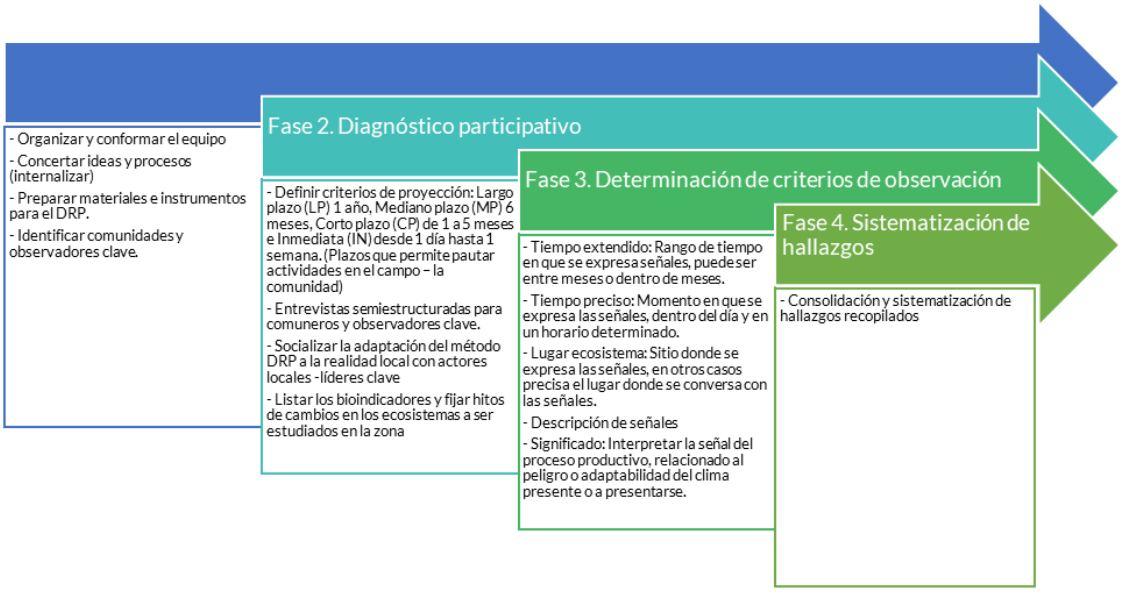


Figura 7. Fases Análisis de indicadores bioculturales. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2020

Como se mencionó anteriormente, para el mundo andino, el conocimiento del entorno natural para desarrollar sus actividades agrícolas, es muy importante. En este sentido, a continuación, se muestra un modelo del análisis de un bioindicador a fin de ejemplificar lo redactado en este acápite.

La observación de un bioindicador podrá ser sistematizada en forma de ficha como se muestra en la siguiente ficha ejemplo, en el caso de los criterios de predicción, estos son desarrollados en el siguiente cuadro:

Tabla 1. Ejemplos de análisis de bioindicadores

Nombre común:	Flor de Sancayo	**Fecha o periodo de observación**	1° y 2° semana de septiembre	**Nombre Científico:**	Echinopsis maximiliana
Características de observación		**Pronóstico**		**Aplicación**	
Si florece la primera semana		Buen año con lluvias		Siembra temprana	
Si florece en la pampa		Año de sequía		Siembra tardía	
Si florece en el cerro		Año lluvioso		Siembra temprana	

Tabla 2. Descripción de indicadores bioculturales

Conocimiento del comportamiento del indicador local	Predicción	Mecanismo de comunicación	Capacidad de respuesta frente a la predicción de un peligro
El comportamiento del bioindicador Flor de sancayo y su probable ocurrencia en meses del ciclo productivo agrícola o en el ciclo productivo ganadero durante un año.	Según las predicciones climáticas, la predicción se expresa en la carencia o exceso de las aguas. Cuando hay carencia no cubrirá la demanda de agua de los cultivos (papa, oca, quinua, etc.), o para la vegetación de pastos para crianza de ganados. Implica peligro para una normal actividad del año productivo agropecuario.	El observador local clave (jilaqatas) debe compartir la información predictiva a las familias comuneras y a las autoridades locales, siendo ésta una alerta temprana, información que predice sobre el comportamiento climatológico durante el año agropecuario. Información que se comunica con posibles riesgos a ocurrir, para que tomen las prevenciones necesarias para su adopción de técnicas, tiempos y zonas productivas. Las comunicaciones se realizan en asambleas, en reuniones específicas, en faenas comunales, en una actividad ritual comunal, etc.	**Caso 1. Siembra anticipada.** Según las predicciones optan por sembrar las variedades, según épocas (policultivos). Complementar con cultivos de cobertura. El manejo orgánico de suelos. Adecuarse al calendario de cultivos, entre otros. Recurrir a las variedades tolerantes. Utilizar variedades endógenas de ciclo corto, según la predicción y/o la alerta de siembras. **Caso 2. Siembra normal.** En este caso, utilizar variedades de ciclo largo. Acompañado con reforestación con especies nativas y/o adaptadas. Quemas dirigidas frente a las amenazas. Alerta según las predicciones. **Caso 3. Siembra tardía.** Prácticas de los policultivos. Agroforestería con cultivos de cobertura y manejo orgánico de suelos. Realizar ajuste de calendario de cultivos, entre otros. Utilizar las variedades tolerantes y las variedades endógenas de ciclo corto, que se salven de las amenazas (heladas o inundaciones) **Caso 4. Año de sequía.** Poner en práctica la cosecha de agua. Buscar los medios de mejora de la capacidad de retención de humedad en los suelos. Recurrir a los riegos eficientes. Ver las formas de utilizar la recarga de agua subterránea. Reservar los alimentos estratégicos. Poner en práctica el pastoreo rotativo de los animales. Seleccionar las razas adaptadas en secas. Conservación de forrajes. Poner cercos para minimizar la amenaza de vientos. **Caso 5. Año de inundación y riada.** Restauración o recuperación de la práctica de camellones, warurus, cultivar en áreas de laderas, etc. Conservar los suelos y trabajar drenajes para evitar inundaciones. Utilizar el cultivo de variedades endógenas de ciclo corto. Poner en práctica cultivos en áreas no inundables, etc.

Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2020.

Ejemplo de aplicación

Continuando con el desarrollo del ejemplo del piloto de la guía, durante todo el proceso de la evaluación se ha realizado la revisión de información de fuentes secundarias relacionadas al área o a los aspectos analizados (datos climáticos, información de los ecosistemas identificados, informes de diversidad biológica, recopilación de imágenes satelitales, estudios locales, regionales y nacionales, entre otros).

Se realizaron visitas de verificación de los ecosistemas, cada punto fue georreferenciado y acompañado de una descripción del área, vegetación predominante e indicadora del ecosistema en evaluación, además de un registro fotográfico; también se realizaron entrevistas a actores locales (lideres comunales, integrantes de rondas campesinas, técnicos municipales, autoridades locales, entre otros).

Cuadro 3. Recopilación de información para el análisis

Etapa 4. Identificación y análisis de peligros/amenazas

La secuencia del análisis de los peligros/amenazas ha sido estructurada considerando las señales de cambio climáticas que serán comparadas en relación con una condición base (periodo histórico). Los peligros han sido identificados a través de los factores desencadenantes. Este proceso considera los cambios en los promedios y en la variabilidad climática, de acuerdo con las recomendaciones manejados por el SENAMHI - Perú[6].

[6] Nota Técnica No 001-2019/SENAMHI/DMA. Orientaciones para el análisis del clima y determinación de los peligros asociados al cambio Climático.

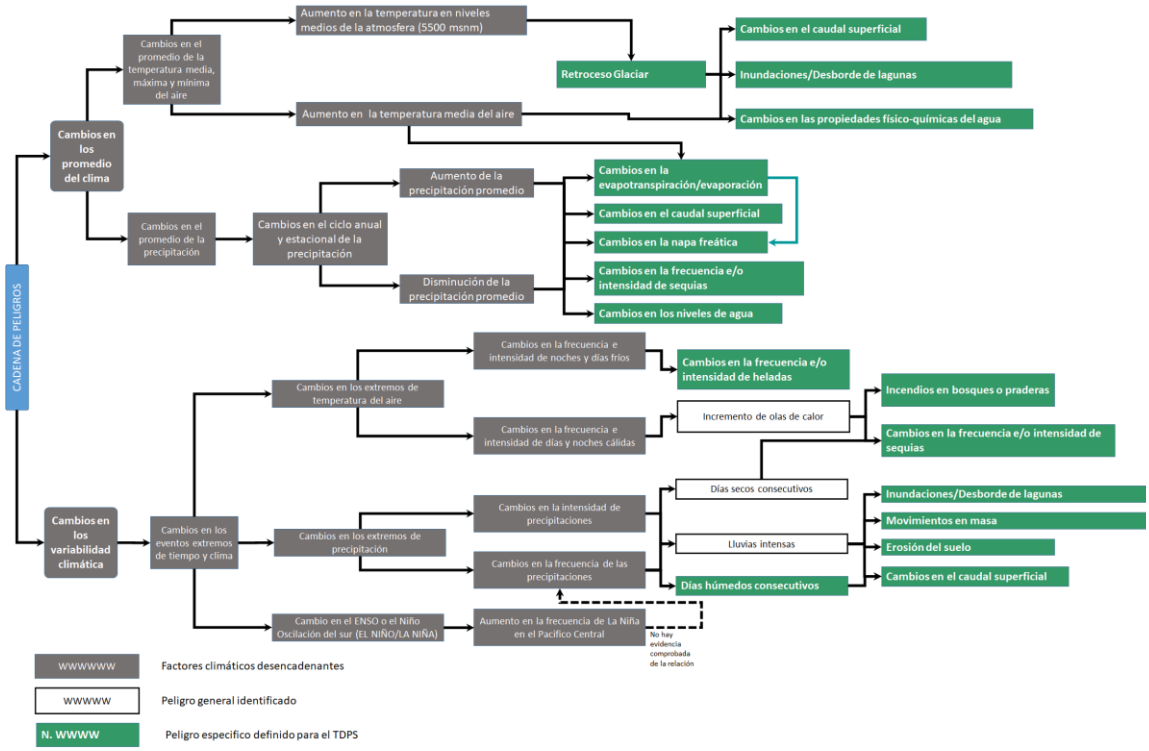


Figura 8. Cadena de peligros. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2020.

Cadena de peligros/amenazas

La cadena de peligros considerando los conceptos de factores climáticos desencadenantes y factores locales condicionantes, provee un resumen gráfico y descriptivo de la vinculación y causalidad que las variables climáticas asociadas y descritas previamente poseen en relación a los diferentes peligros identificados para los diferentes ecosistemas presentes en el sistema TDPS. El resumen del esquema de cadena de peligro/amenaza es presentado en la Figura 8.

Bajo las características particulares de los patrones de cambio climático en la zona del TDPS, se procedió a definir los indicadores de peligro mostrados en la Figura 8 (cuadros en color verde), considerando, tanto propiedades relacionadas con la intensidad, la frecuencia, la extensión, tendencia frecuencia y su relevancia al momento de definir cada uno de los indicadores de peligro/amenaza. Un resumen sobre los peligros, sus factores desencadenantes, condicionales, así como los indicadores son resumidos en el Anexo n.°7.

La descripción, los procedimientos, así como las definiciones de cada indicador se basan en los índices de eventos extremos del Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI, por sus siglas en inglés), así como un análisis técnico desarrollado con especialistas de diversas instituciones entre las que destacan el Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia, y el Ministerio del Ambiente de Perú.

Tabla 3 . Potenciales peligros en el sistema TDPS

Peligro	Descripción
Cambios en la napa freática	Se trata de variaciones en la disponibilidad de agua en el suelo que limitan contar con niveles de agua usualmente disponibles para aspectos de alimentación a diferentes especies que dependen de este tipo de recursos.
Cambios en el caudal superficial	Se refiere a la disminución o aumento del caudal que alimenta en un determinado cuerpo de agua (lago, rio, laguna, entre otros)
Cambios en la evapotranspiración/evaporación	Se refiere a cambios en la pérdida de humedad de las superficies por evaporación directa y transpiración de la vegetación
Incendios en bosques o praderas	Son fenómenos que ocurren cuando las condiciones climáticas afectan la disponibilidad de humedad en la superficie y el aire.
Erosión del suelo	El Clima acelera los procesos de erosión principalmente por la transición de periodos de relativa estabilidad, sobre los cuales el medio ambiente ha conseguido un equilibrio, a un tiempo en el que cambios abruptos en la precipitación generan inestabilidad en los sistemas fluviales y glaciales lo que impacta en los patrones de erosión habituales[7].
Días húmedos consecutivos	Cambios en la frecuencia de lluvias afectan los patrones de crecimiento naturales generados en los diferentes tipos de vegetaciones en la región del TDPS
Cambios en la frecuencia e/o intensidad de sequias	Fenómenos producidos por alteraciones negativas en la frecuencia de eventos de lluvias en periodos extendidos característicos de las épocas de húmeda con una consecuente intensificación de los periodos de estiaje por efecto combinado también asociado a incrementos de temperatura.
Movimientos en masa	Los movimientos en masa en laderas, son procesos de movilización lenta o rápida que involucran suelo, roca o ambos, causados por exceso de agua en el terreno y/o por efecto de la fuerza de gravedad, que pueden desencadenar mazamorras que son transportadas a través de las cárcavas a zonas bajas con las correspondientes consecuencias en perdida de ecosistemas y especies
Retroceso Glaciar	Las zonas peri glaciares y glaciares, se encuentran en constante disminución en su extensión debido a un decrecimiento en su capacidad de retener agua en forma hielo, esto debido a cambios en las condiciones atmosférica mayormente relacionadas con él incremento de la temperatura y la radiación.

[7] Peizhen, Zhang, Peter Molnar, and William R. Downs. "Increased sedimentation rates and grain sizes 2–4 Myr ago due to the influence of climate change on erosion rates." Nature 410, no. 6831 (2001): 891-897.

Cambios en las propiedades físico-químicas del agua	Los parámetros físicos y químicos son evaluados para tener un control de los cambios en la variabilidad de parámetros fisicoquímicos del agua producto de factores climáticos y de cambios en los patrones de recarga de las fuentes de agua asociadas.
Cambios en el nivel de los cuerpos de agua	Los cambios en los niveles y consecuentemente en los volúmenes en cuerpos de agua, son originados por incrementos en los patrones de evaporación conducidos por la temperatura del aire, y la disminución de precipitación en épocas de recarga/carga
inundaciones/desborde de lagunas	Son eventos asociados a situaciones a caudales por fuera de la capacidad de flujo de los cuerpos de agua que cubren con agua a las superficies circundantes, ocasionados por la ocurrencia de eventos extremos de precipitación
Cambios en la frecuencia e intensidad de heladas	La ocurrencia de heladas es generada a través de procesos en los cuales la temperatura mínima ambiente está por debajo de los 0 grados centígrados, por tiempo prolongados mayormente ubicados en la noche (madrugada)

Indicadores de peligro/amenaza en el análisis de riesgo

La presente sección desarrolla el procedimiento metodológico para la estimación de los diferentes indicadores de peligro/amenaza, bajo un esquema de ficha técnica, que proviene de las recomendaciones establecidas en la guía para la evaluación del riesgo climático desarrollado por GIZ (2017). El Anexo 1 del presente documento provee una descripción detallada para el conjunto de indicadores principales como alternativos.

Cabe mencionar que las fichas contienen información referencial, para la estimación del indicador considerando que el mismo deberá ser estimado para dos periodos: el Periodo Actual (que se estimaría con datos recopiladas del trabajo de campo) y el Periodo Futuro considerando un periodo proyectado de 30 años mínimamente, esto respecto a un periodo base o histórico (en la presente guía es de 1981 a 2010), el cual será alimentado con información secundaria provista por las entidades de monitoreo climático local y/o regional.

Dentro del esquema metodológico, los indicadores de peligro/amenaza son de los primeros compontes en ser estimados. El valor del indicador varía de acuerdo a la naturaleza de los datos que constituyen la información (variable climática y tipo de estadística requerida, según se requiera valorar intensidad, frecuencia o ambos). Para aplicación del valor del indicador de peligro en el cálculo del riesgo, se ha categorizado en función a rangos característicos base, que permita a los indicadores interactuar en procesos de operaciones aritméticas (ponderaciones) con los indicadores de los otros componentes de vulnerabilidad y exposición, es decir se ha normalizado el valor del indicador.

La categorización y asignación de los rangos se realizó considerando: a) Reflejar los valores del indicador de peligro en rangos relacionados con el grado de severidad en relación con el sujeto de análisis (ecosistema), y b) Umbrales, que permitan establecer márgenes sobre los cuales se describa la implicación del peligro en términos de acciones que actualmente se toman (rangos del peligro presentes en la actualidad) y acciones requeridas (rangos del

peligro no registrados en la actualidad (basados en la literatura[8]) que ayuden a contextualizar la implicación del peligro como un componente del análisis del riesgo en etapas posteriores (GIZ, 2017).

El esquema de rangos se presenta a continuación:

Figura 9. Categorías y rangos de peligro/amenaza.

Categoría	Descripción
4	Muy Alto
3	Alto
2	Medio
1	Bajo

Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2020 en base a (GIZ, 2017).

En el caso de los presentes indicadores de peligro/amenaza, la descripción pasa a ser ajustada en términos de: a) Peligro/amenaza bajo, b) peligro/amenaza medio, c) peligro/amenaza alto, d) peligro/amenaza muy alto. La estructura de categorías y rangos mostrada en la *Figura 9* ha sido aplicada también para los demás componentes (Vulnerabilidad y Exposición), como se verá a continuación. Se presenta un ejemplo en base a las unidades de análisis piloto en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

[8] El rango y categorías usadas en el presente documento han sido definidos considerando las recomendaciones y procedimiento establecidos en documentación técnica y científica relativa a peligros climáticos disponibles en tanto en Perú, como en Bolivia (ver referencias en las fichas metodológicas del anexo 1)

Ejemplo de aplicación

Unidad Piloto Azangaro

Bofedales

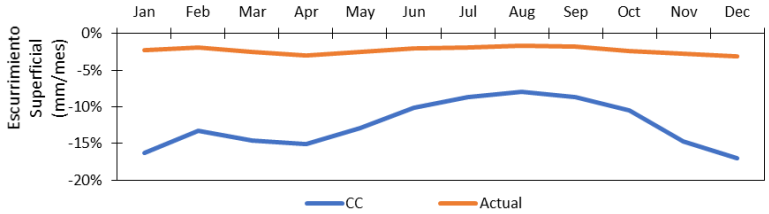
Cambios en el caudal superficial

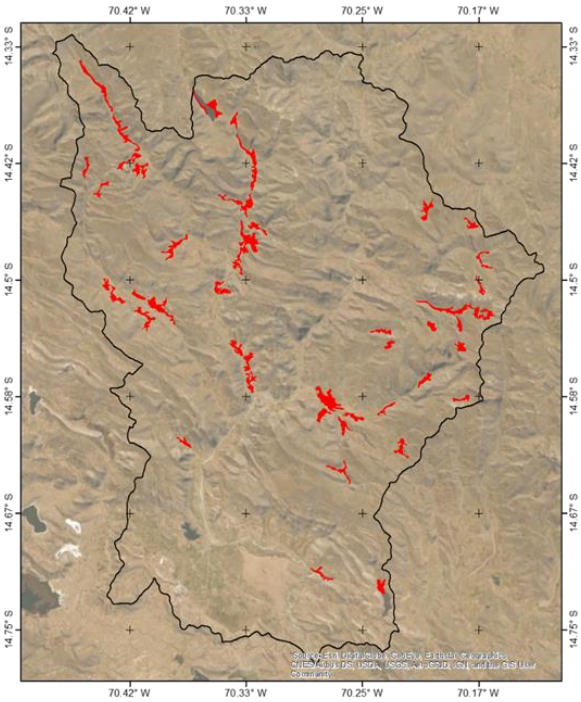
Para la evaluación del caudal en la unidad piloto Azángaro, se ha considerado el estudio de Actualización Hidroclimática – Perú*, en este sentido los procedimientos a continuación aplicados corresponden al contexto de análisis descrito en el mencionado estudio

Considerando la climatología actual, el cambio sobre el periodo base se tiene un valor de -2.3% de cambio, lo que implica una condición de peligro bajo (ver figura abajo).

En promedio el cambio implica una reducción del -14.29% del caudal superficial con el que el ecosistema persiste, con una clara acentuación de la mayor reducción en la época seca (mayo a noviembre)

*SENAMHI. Actualización Hidroclimática y modelación hidrológica en la vertiente del lago Titicaca, Perú (2020).





NIVEL	DESCRIPCION	RANGO
Peligro medio	El valor del caudal disminuye por debajo del valor estacional nominal (estadístico seleccionado), en un 10 a 24% adicional, lo que implica un desabastecimiento leve que debería ser asimilado considerando los cambios en fuentes en el periodo base de análisis para los ecosistemas evaluados (temas de glaciares y otras fuentes en procesos de degradación, histórica, presentan tazas mayores de disminución en volumen y por ende en caudal)	2

Cuadro 4. Estimación del Peligro

Etapa 5. Identificación y análisis de exposición.

En la presente guía, el área del ecosistema sobre el cual se analiza tanto el peligro como la vulnerabilidad provee el grado de exposición para la evaluación del riesgo, por lo cual es importante la correcta identificación y conocimiento de sus componentes, tanto bióticos como abióticos.

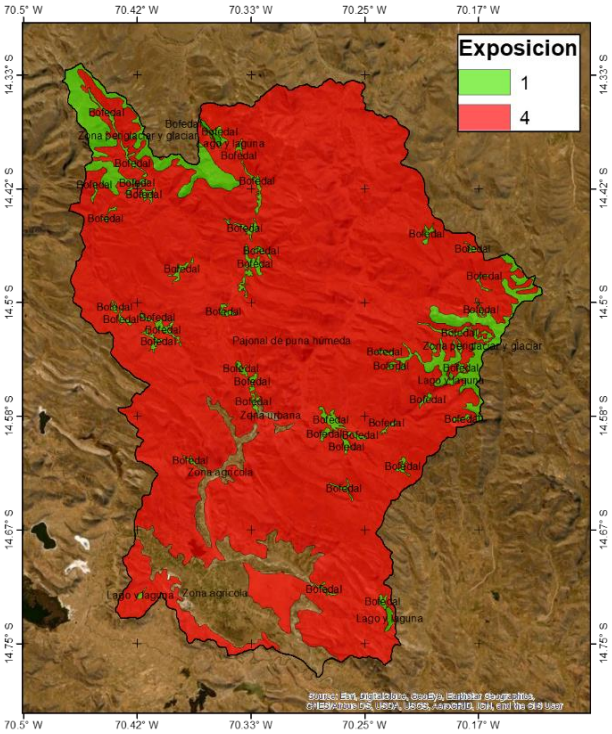
El indicador hace referencia a la presencia de los elementos clave bióticos o abióticos, debido a que estos son los que determinan las relaciones y funcionalidad del ecosistema. En ecosistemas, la fragmentación y pérdida de hábitat son la causa principal de pérdida de especies y funciones eco sistémicas (Haddad et al. 2015).

Se considerará como superficie total del ecosistema aquella que ha sido establecida en la literatura científica y/o en la normativa de cada país y el indicador de exposición es **el valor relativo al área total de la cuenca o unidad de análisis que contiene al ecosistema analizado.**

bla 4. Análisis de la exposición

Nivel	Descripción	Rango
Exposición muy Alta	**Cuando la superficie del ecosistema dentro de la unidad de análisis (cuenca) es mayor al 75%.**	**4**
Exposición Alta	**Cuando la superficie del ecosistema dentro de la unidad de análisis (cuenca) es mayor al 50 e igual o menor al 75%.**	**3**
Exposición Media	**Cuando la superficie del ecosistema dentro de la unidad de análisis (cuenca) es mayor 25 e igual o menor a 50%.**	**2**
Exposición Baja	**Cuando la superficie del ecosistema dentro de la unidad de análisis (cuenca) es igual o menor al 25%.**	**1**

Se presenta un ejemplo en base a las unidades de análisis piloto (Ver anexo VII).



NIVEL	DESCRIPCIÓN	RANGO
Exposición muy Alta	Cuando la superficie del ecosistema dentro de la unidad de análisis (cuenca) es mayor al 75%	4
Exposición Baja	Cuando la superficie del ecosistema dentro de la unidad de análisis (cuenca) es inferior al 25%	1

Cuadro 5. Estimación de la exposición

Etapa 6. Identificación y análisis de vulnerabilidad.

El IPCC describe a la vulnerabilidad como el grado al cual un sistema es susceptible e incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los extremos. Además, indica que la vulnerabilidad es una función del carácter, magnitud, y el ratio del cambio climático y variación a la cual un sistema está expuesto, su sensibilidad y su capacidad adaptativa.

En este sentido el análisis de vulnerabilidad se debe realizar para cada uno de sus subcomponentes, es decir un análisis de sensibilidad y otro análisis de capacidad adaptativa.

A. Identificación y análisis de sensibilidad.

La sensibilidad está normalmente conformada por atributos físicos o naturales del ecosistema incluido por ejemplo topografía, la capacidad de diferentes tipos de suelo, cobertura, entre otros. También puede referirse a actividades humanas que podrían afectar a la constitución física del sistema.

Se sugiere considerar los elementos de la tabla: Indicadores de sensibilidad de acuerdo a los componentes de sensibilidad del modelo conceptual (Anexo 3).

Indicadores de sensibilidad en el análisis de riesgo

La selección de indicadores, es uno de los pasos más importantes de un análisis de riesgos, ya que ellos deben permitir realizar una medición de las características del ecosistema o de los componentes en los cuales se espera observar un efecto.

En la tabla integrada de indicadores basada en ecosistemas (Anexo 2), se detallan los indicadores propuestos para cada componente del riesgo (peligro/amenaza, exposición y vulnerabilidad con sus dos subcomponentes que son sensibilidad y capacidad adaptativa), de acuerdo a cada ecosistema o macro ecosistema. Es importante tomar en cuenta la consistencia de la información recopilada o la posibilidad de desarrollar los monitoreos o registros de datos en campo, de acuerdo a cada indicador seleccionado, de lo contrario no será un indicador consistente o incluso podría variar el resultado final de la evaluación de riesgo.

A continuación, se describen indicadores de sensibilidad, ajustada en términos de: a) Sensibilidad baja, b) Sensibilidad media, c) Sensibilidad alta, d) Sensibilidad muy alta.

Ejemplo de aplicación

Los indicadores de sensibilidad se seleccionaron para cada ecosistema y en relación a los indicadores de peligro y a la disponibilidad de datos para su aplicación. Por ejemplo, para la unidad piloto Azángaro y sus ecosistemas identificados, se seleccionaron los siguientes indicadores de sensibilidad:

Ecosistema	Peligro	Indicador de sensibilidad
Bofedales	Cambios en la evapotranspiración/evaporación	Número de hectáreas que ocupa la extensión del ecosistema de interés con continuidad de cobertura vegetal
	Cambios en la napa freática	**Porcentaje del territorio con presencia de especies formadoras de cojines**
	Cambios en el caudal superficial	
Pajonal de puna Húmeda	Incendios en bosques o praderas	Número de hectáreas que ocupa la extensión del ecosistema de interés con continuidad de cobertura vegetal
	Erosión de suelos	
	Cambios en la evapotranspiración/evaporación	Presencia de especies clave específicas a cada ecosistema
	Cambio en la frecuencia e intensidad de heladas	
	Cambios en los días húmedos consecutivos	
Zona periglaciar y glaciar	Retroceso glaciar	Número de hectáreas que ocupa la extensión del ecosistema de interés con continuidad de cobertura vegetal
	Cambios en el caudal superficial	

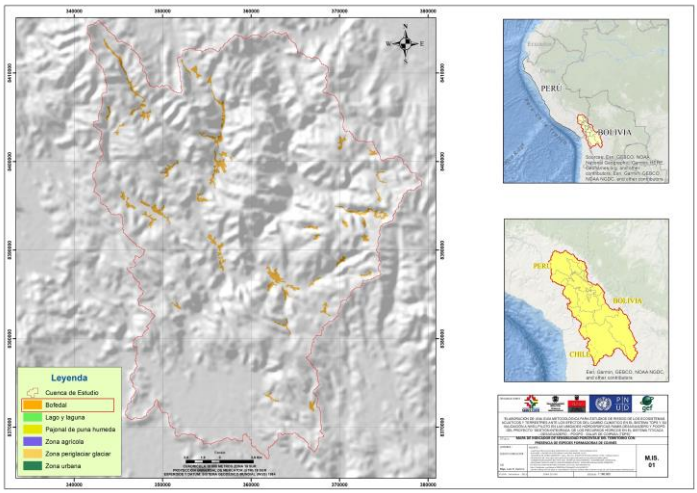
Cuadro 6. Identificación de indicadores de sensibilidad

Cuadro 7. Estimación de la sensibilidad

Ejemplo de aplicación

De los indicadores de sensibilidad identificados, por ejemplo el indicador para el ecosistema de bofedales: "porcentaje del territorio con presencia de especies formadoras de cojines" se ha determinado calculando el índice de cobertura vegetal normalizado - NDVI para lo cual se trabajó con imágenes satelitales Lansat 8, previa corrección atmosférica de las imágenes satelitales, posteriormente se ha superpuesto estas imágenes satelitales con la capa de ecosistemas cuya diferencia nos muestra el porcentaje de cobertura vegetal con una salud optima de las misma dentro del bofedal de esta manera se pudo valorar le rango en el que se encuentra este ecosistema para el indicador planteado.

Se determinó que del total de hectáreas abarcadas por los bofedales que alcanza 2620.63 Ha, el 35% presenta una buena calidad fotosintética, atribuida a las especies formadoras de cojines, como son Distichia sp y Oxichloe sp. En este sentido, este valor corresponde al rango 3 del indicador propuesto: Porcentaje del territorio con presencia de especies formadoras de cojines, este rango se representa con el color anaranjado e indica una sensibilidad alta (datos del Anexo 1).



Sensibilidad alta	Áreas con nivel alto de deterioro y uso de especies formadoras de cojines, 51% a 75% del deterioro del área expuesta.	3

De acuerdo a la experiencia de aplicación del piloto de la presenta guía, se recomienda recoger datos primarios (en campo) de los indicadores de sensibilidad, es decir, por ejemplo, para el análisis de vegetación utilizar transectos lineales, cuadrantes, y contrastarlos con las imágenes satelitales.

También se recomienda trabajar con imágenes satelitales Sentinel 2, por tener 10 metros de resolución por píxel, y ser de acceso libre. En caso de contar con recursos económicos se recomienda adquirir imágenes satelitales RapidEye, que brindan 5 metros de resolución por píxel.

B. Identificación y análisis de la capacidad adaptativa.

La capacidad adaptativa en el contexto de la evaluación de riesgos, se refiere a la habilidad para responder a los impactos climáticos actuales y futuros utilizando valores, conocimientos, políticas, recursos y oportunidades disponibles para abordar, gestionar y superar las condiciones adversas.

Todos los ecosistemas tienen una resiliencia diferenciada frente a las perturbaciones temporales o permanentes. Se sugiere considerar los componentes de capacidad adaptativa de la tabla: Indicadores de capacidad adaptativa de acuerdo a los elementos del modelo conceptual (Anexo 3).

La presente sección desarrolla el procedimiento metodológico para la estimación de los diferentes indicadores de capacidad adaptativa, bajo un esquema de ficha que proviene de las recomendaciones establecidas en la guía para la evaluación del riesgo climático desarrollado por GIZ (2017)[9].

Indicadores de capacidad adaptativa en el análisis de riesgo

La selección de los indicadores de capacidad adaptativa guarda una relación con el peligro analizado y el ecosistema en evaluación. Es importante considerar también la información recopilada para la determinación de los indicadores seleccionados, dado que, si no se cuenta con información consistente o no hay la posibilidad de desarrollar un monitoreo o registro de datos en campo, el indicador será poco relevante o incluso alteraría el resultado de la evaluación de riesgo.

En la tabla integrada de indicadores basada en ecosistemas (Tabla 1, Anexo 3), se detallan los indicadores propuestos para cada componente del riesgo (peligro/amenaza, vulnerabilidad con sus dos subcomponentes que son sensibilidad y capacidad adaptativa), de acuerdo a cada ecosistema o macro ecosistema.

[9] GIZ, E. (2017). Risk supplement to the vulnerability sourcebook. Guidance on How to Apply the Vulnerability Sourcebook's Approach with the New IPCC AR5 Concept of Climate Risk.

Ejemplo de aplicación

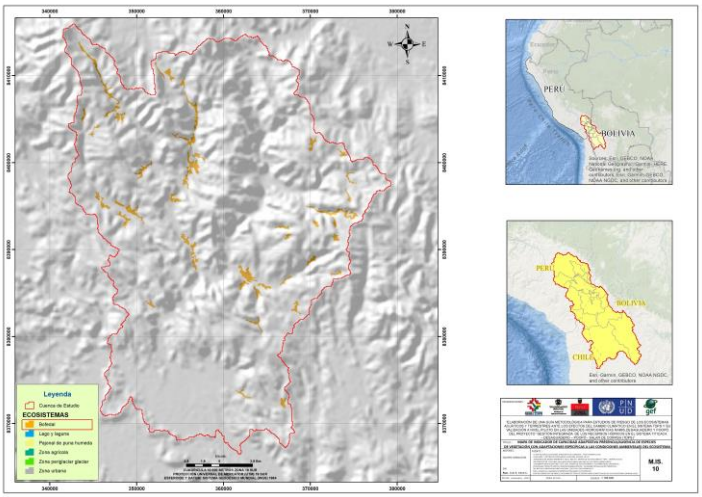
Continuando con el ejemplo para la unidad piloto Azángaro, la selección de indicadores de capacidad adaptativa guarda relación con los indicadores de sensibilidad e indicadores de peligro, para cada ecosistema evaluado. Como se muestra en la siguiente tabla:

Ecosistema	Peligro	Indicador de sensibilidad	Indicador de capacidad adaptativa
Bofedales	Cambios en la evapotranspiración/evaporación	Número de hectáreas que ocupa la extensión del ecosistema de interés con continuidad de cobertura vegetal	Número de acuerdos comunales para el uso y conservación de los recursos ecosistémicos
	Cambios en la napa freática	Porcentaje del territorio con presencia de especies formadoras de cojines	Presencia / ausencia de especies de vegetación con adaptaciones específicas a las condiciones ambientales del ecosistema
	Cambios en el caudal superficial		Número de comunidades que hacen uso de bioindicadores (conocimiento ancestral)
Pajonal de puna Húmeda	Incendios en bosques o praderas	Número de hectáreas que ocupa la extensión del ecosistema de interés con continuidad de cobertura vegetal	Número de acuerdos comunales para el uso y conservación de los recursos ecosistémicos
	Erosión de suelos		
	Cambios en la evapotranspiración/evaporación	Presencia de especies clave específicas a cada ecosistema	Presencia / ausencia de especies de vegetación con adaptaciones específicas a las condiciones ambientales del ecosistema
	Cambio en la frecuencia e intensidad de heladas		Número de comunidades que hacen uso de bioindicadores (conocimiento ancestral)
	Cambios en los días húmedos consecutivos		
Zona periglaciar y glaciar	Retroceso glaciar	Número de hectáreas que ocupa la extensión del ecosistema de interés con continuidad de cobertura vegetal	Presencia / ausencia de especies de vegetación con adaptaciones específicas a las condiciones ambientales del ecosistema
	Cambios en el caudal superficial		Número de acuerdos comunales para el uso y conservación de los recursos ecosistémicos

El indicador de capacidad adaptativa para el ecosistema bofedal: "Presencia/ausencia de especies de vegetación con adaptaciones específicas a las condiciones ambientales del ecosistema", hace referencia a la vegetación formadora de cojines que presenta un crecimiento conspicuo, como por ejemplo la Yareta (*Azorella compacta*) que es una planta con forma de cojín posee un crecimiento denso y apretado, este tipo de crecimiento de las plantas permite regular las condiciones de temperatura e incluso la humedad del sustrato.

Este indicador se calculó usando el índice de cobertura vegetal normalizado - NDVI trabajado con imágenes satelitales Lansat 8, previa corrección atmosférica de las imágenes satelitales. Las imágenes se contrastaron con los puntos georreferenciados y descritos en las visitas de verificación en campo.

En la unidad piloto Azángaro, se determinó que 35% de la superficie total de bofedales presenta una buena calidad fotosintética, atribuida a la presencia de especies formadoras de cojines, este porcentaje corresponde al rango 3: capacidad adaptativa alta. También se recomienda recoger datos primarios (en campo), así como trabajar con imágenes satelitales Sentinel 2, por tener 10 metros de resolución por píxel, y ser de acceso libre. En caso de contar con recursos económicos se recomienda adquirir imágenes satelitales RapidEye, que brindan 5 metros de resolución por píxel.



CAPACIDAD ADAPTATIVA	Área con nivel alto de deterioro y uso de especies formadoras de cojines, 51% a 75% del deterioro del área expuesta	3

Continuando con el ejemplo de la Unidad Hidrográfica de Azángaro, luego de realizado el análisis de la Capacidad Adaptativa y Sensibilidad, se presenta los resultados de la evaluación final de este componente en la tabla a continuación. El resultado de factor de Sensibilidad y Capacidad Adaptativa, identificado para el Peligro de Cambios en la Napa Freática fue integrado en el resultado final de Vulnerabilidad.

Ejemplo de aplicación

Continuando con el ejemplo de la Unidad Hidrográfica de Azángaro, y considerando que el componente de vulnerabilidad tiene como sub componentes a la sensibilidad y la capacidad adaptativa, luego de realizado el análisis, se presentan los resultados de la evaluación final de este componente. El resultado de los subcomponentes Sensibilidad y Capacidad Adaptativa, identificados para el Peligro de Cambios en la Napa Freática fue integrado en el resultado final de Vulnerabilidad. En este caso para el ejemplo que se viene desarrollando, la integración se realiza de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V = \frac{(RS * VPS) + (RCA * VPCA)}{VPS + VPCA}$$

Donde:

V: Vulnerabilidad

RS: Rango del indicador de sensibilidad (para el ejemplo: "porcentaje del territorio con presencia de especies formadoras de cojines" tiene un valor de "3")

VPS: Valor de la ponderación del indicador de sensibilidad seleccionado (el valor correspondiente al indicador del ejemplo es "1")

RCA: Rango del indicador de capacidad adaptativa (para el ejemplo: "presencia/ausencia de especies con adaptaciones específicas al ecosistema" tiene un valor de "3")

VPCA: Valor de la ponderación del indicador de capacidad adaptativa seleccionado (el valor correspondiente al indicador del ejemplo es "1")

Reemplanzando:

$$V = \frac{(3 * 1) + (3 * 1)}{(1 + 1)}$$

Unidad	Ecosistema	Peligro	Sensibilidad		Capacidad Adaptativa		Cálculo de Vulnerabilidad
Azángaro	Bofedales	Cambios en la napa freática	Porcentaje del territorio con presencia de especies formadoras de cojines	3	"Presencia/ausencia de especies de vegetación con adaptaciones específicas a las condiciones ambientales del ecosistema"	3	3

Estimación de la Vulnerabilidad

Cuadro 8. Estimación de la Vulnerabilidad

Etapa 7. Estimación del riesgo.

En esta etapa se integra la información sobre peligro/amenaza, exposición y vulnerabilidad, se describen las fuentes de incertidumbre y se evalúa qué tan significativos son los cambios y si los mismos implican un nivel de riesgo que requiera acciones específicas. No existe un método universal para llevar a cabo la cuantificación del riesgo en ecosistemas que produzca resultados específicos, pues siempre existen limitantes en cuanto a la cantidad de información que se puede obtener, ya sea por restricciones de tiempo, de recursos, o por un conocimiento científico en aspectos procedimentales, por ello en la presente guía se adoptó un enfoque practico, y simple que permita ajustar y mejorar si fuese requerido en caso de contar con información y conocimiento del ecosistema bajo análisis.

El riesgo en el caso de la presente guía, es el resultado de la relación del peligro/amenaza, con las dos componentes de representación de vulnerabilidad (sensibilidad y capacidad adaptativa) y la exposición caracterizada para cada ecosistema bajo análisis y peligro/amenaza asociado. Del conjunto de metodologías para la evaluación riesgos disponible en la literatura se decidió abordar el proceso de agregación basado en una estratificación del efecto de los diferentes componentes del riesgo a través de una ponderación. En este enfoque los indicadores en cada uno de los componentes son agregados a través de la utilización de pesos (ponderaciones) bajo el siguiente esquema:

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^{n} I_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}$$

Donde $I_i \in R^+$ son los componentes de evaluación del riesgo (Peligro/amenaza, Exposición, y Vulnerabilidad) en cada uno de los componentes de evaluación del riesgo, $w_i \in R^+$ son los pesos asignados a cada indicador y *CI* es el valor del riesgo estimado.

Para la estimación del riesgo se propone el enfoque de un solo paso utilizando la media aritmética ponderada recomendada por el IPCC IE5. La formulación es la siguiente:

$$Riesgo = \frac{Peligro \cdot W_H + Vulnerabilidad \cdot W_V + Exposicion \cdot W_E}{W_H + W_V + W_E}$$

La estimación del riesgo pasa por un proceso de ponderación sistemática en cada componente, donde W_H es el peso para peligro/amenaza, W_V es el peso para la Vulnerabilidad y W_E es el peso para la exposición. Esta ecuación se aplica, previo un proceso de normalización[10] y posterior agregación para los indicadores, esto según el esquema mostrado a continuación:

[10] La normalización para los indicadores $I_i \in R^+$[0 - 1], pasa para la aplicación de valor de clase métrica para el riesgo

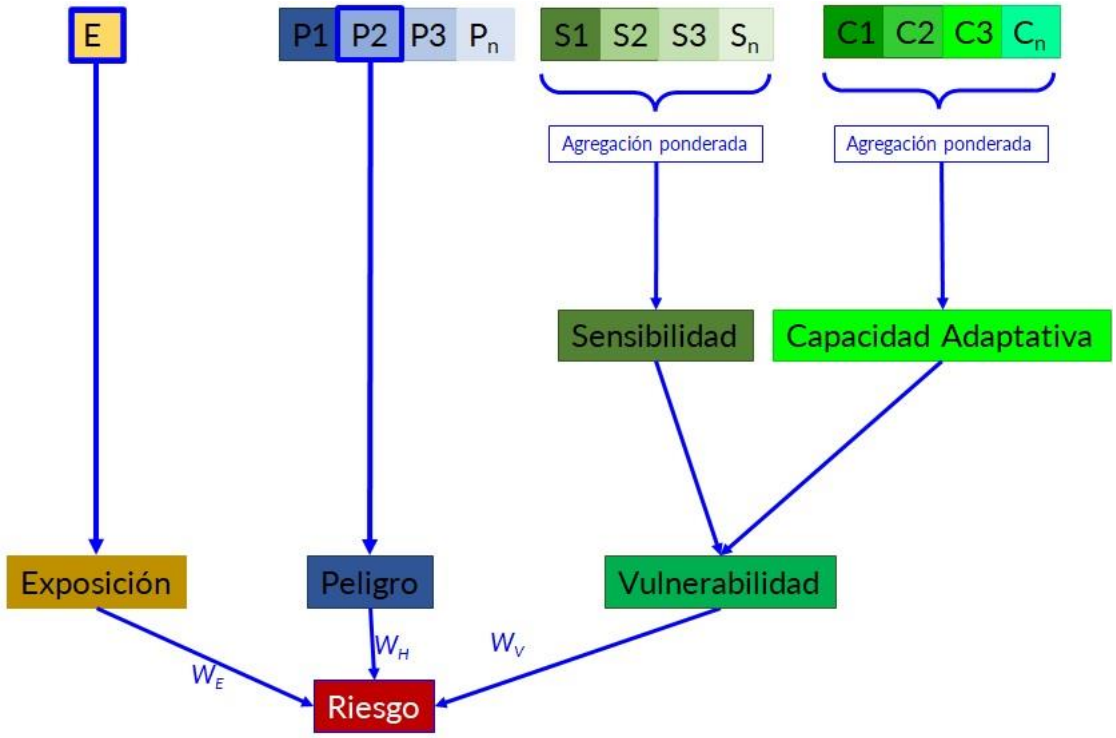


Figura 10 Diagrama de Estimación del riesgo. Fuente: GIZ, 2017

Cada componente del riesgo, vale decir peligro/amenaza, vulnerabilidad (sensibilidad, capacidad adaptativa) y exposición, pasan por una evaluación que usa las relaciones y vinculaciones entre cada uno de ellos. La secuencia de estimación considera las relaciones entre los indicadores en general, bajo la interacción descrita en los esquemas siguientes, para establecer una secuencia basada en:

Paso 0) Identificar la unidad (cuenca) y sujeto de análisis (ecosistema), y definir la información requerida para estimar peligro y vulnerabilidad.

Paso 1) Seleccionar un ecosistema y definir uno de los peligros asociados y estimar el indicador respectivo, bajo condición actual y futura relativa a condición histórica.

Paso 2) Estimar el indicador de exposición considerando el sujeto y unidad de análisis.

Paso 3) Estimar la vulnerabilidad a través de los indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa relacionados, para realizar la ponderación de ambos y estimar la vulnerabilidad asociada al peligro y el ecosistema analizado.

Paso 4) Estimar el riesgo con los indicadores de exposición, peligro y vulnerabilidad acorde a las ponderaciones inicial descritas en los esquemas mostrados a continuación. Se debe aclarar que la estimación del riesgo considera un peligro a la vez y para dos condiciones Riesgo Actual – Con el valor del indicador de Peligro actual, y el Riesgo Futuro – Con el valor del indicador de peligro futuro.

Paso 5) Repetir los pasos 1 y 4 con un peligro siguiente identificado para el ecosistema bajo análisis.

Este procedimiento descrito ha sido aplicado a través de unidades piloto, lo cual es reportado en el informe anexado a la presente guía.

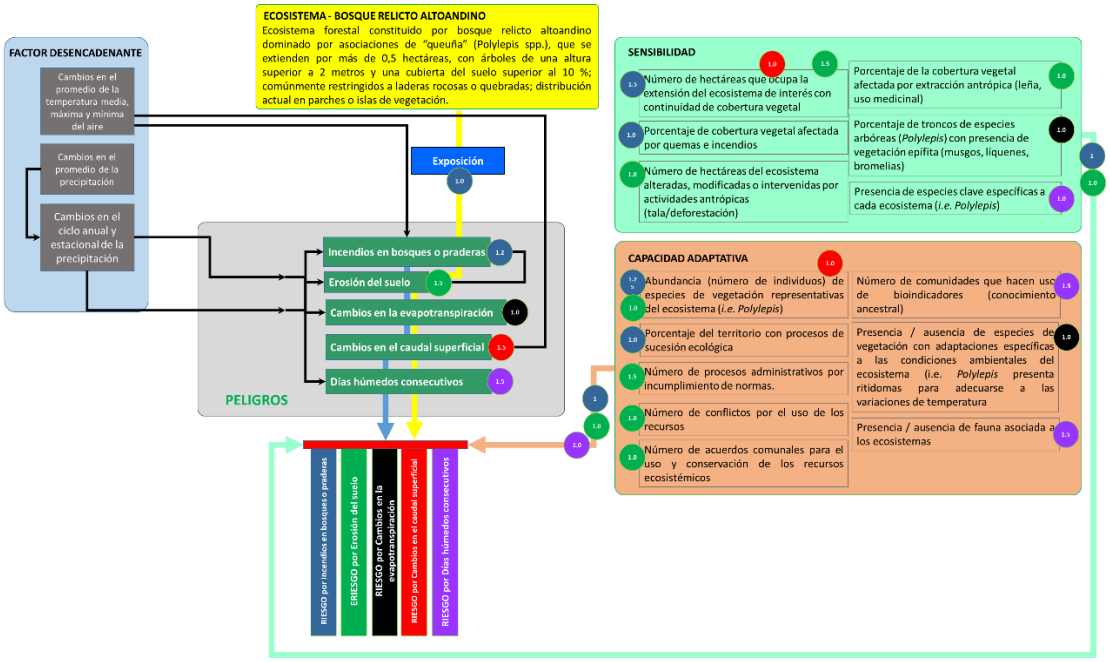


Figura 11 Cadena de impacto y pesos referenciales – Bosque Relicto Andino. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021

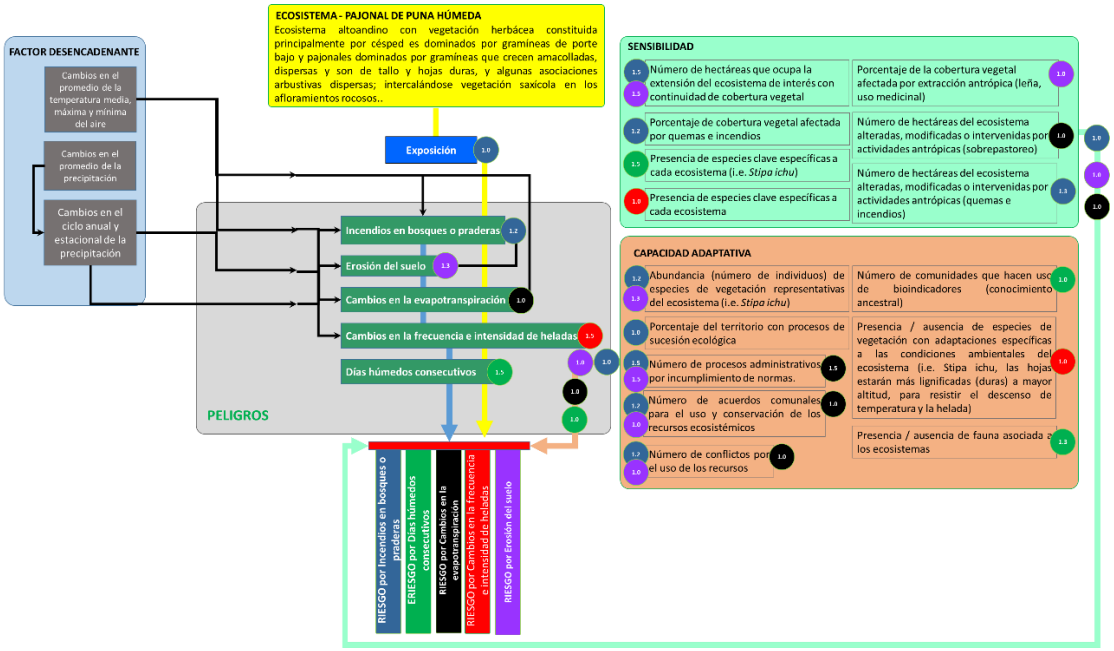


Figura 12 Cadena de impacto y pesos referenciales – Pajonal de Puna Húmeda. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021

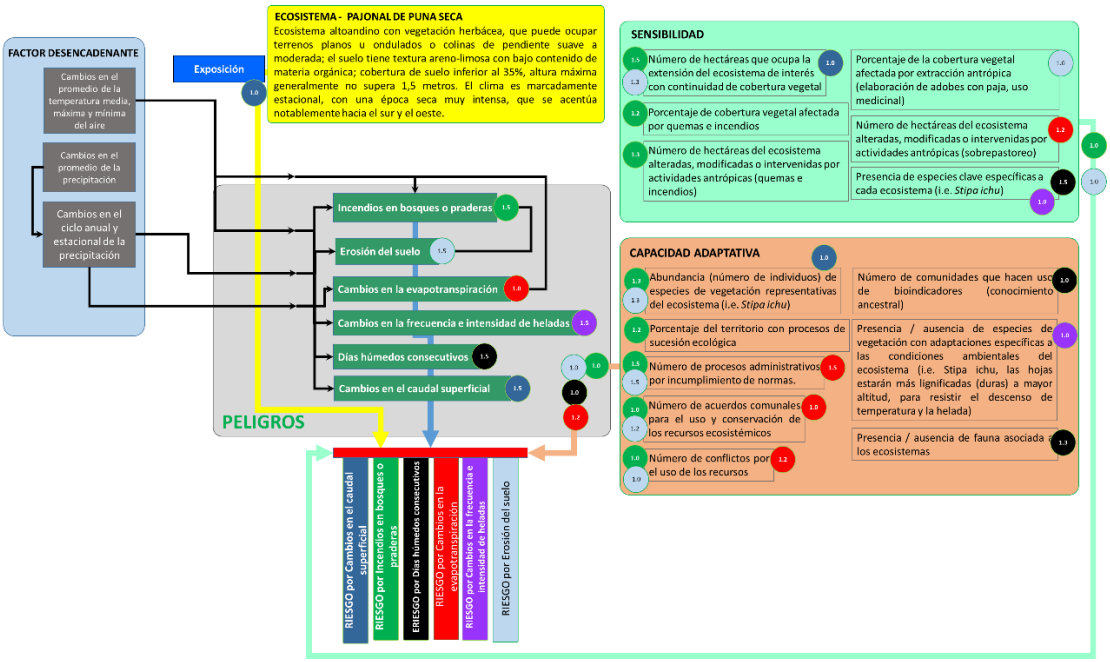


Figura 13 Cadena de impacto y pesos referenciales – Pajonal de Puna Seca. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021

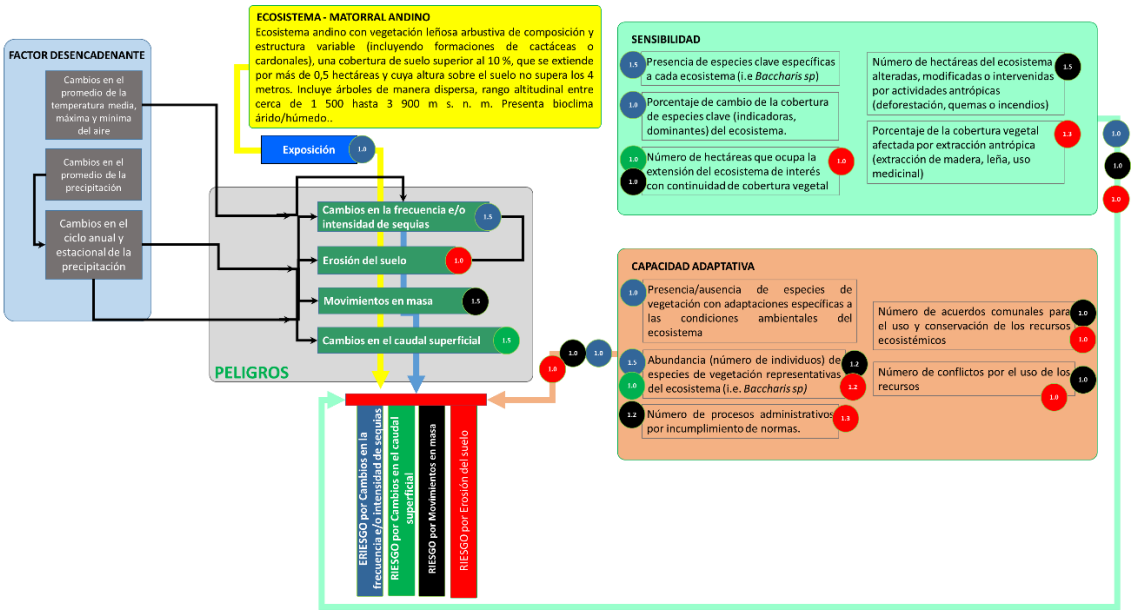


Figura 14 Cadena de impacto y pesos referenciales – Matorral Andino. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021

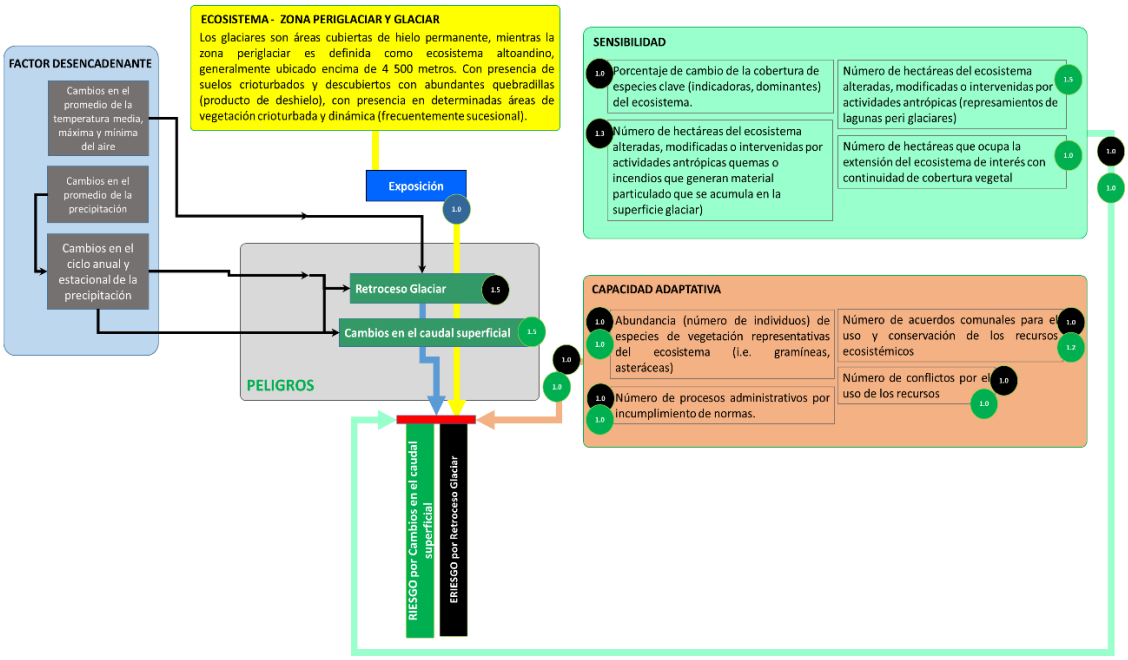


Figura 15 Cadena de impacto y pesos referenciales – Zona Periglaciar/Glaciar. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021

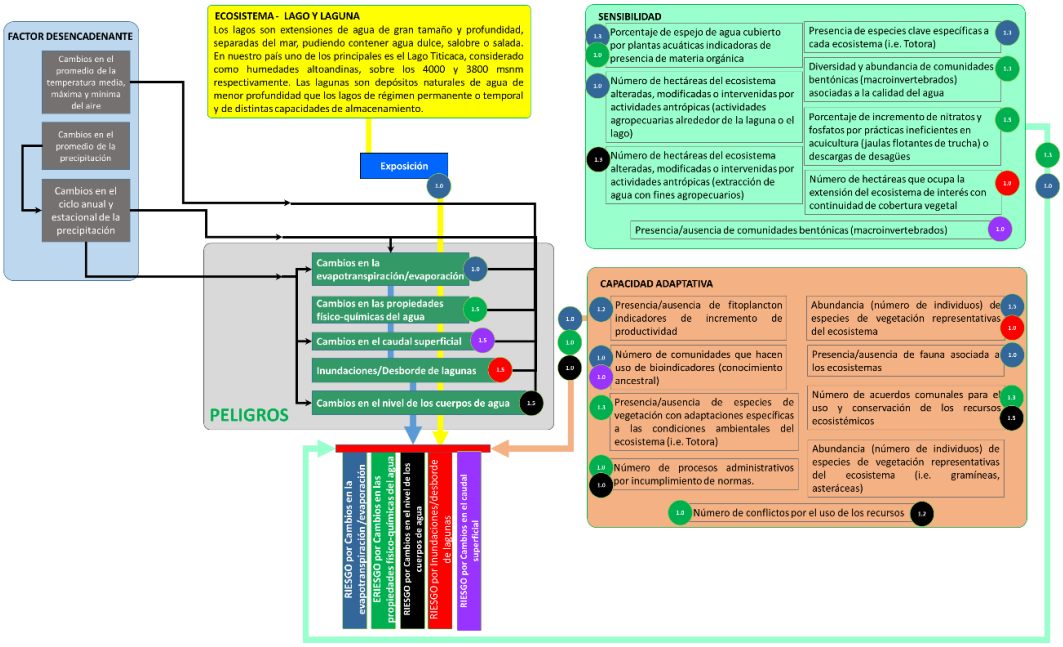


Figura 16 Cadena de impacto y pesos referenciales – Lago y laguna. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021

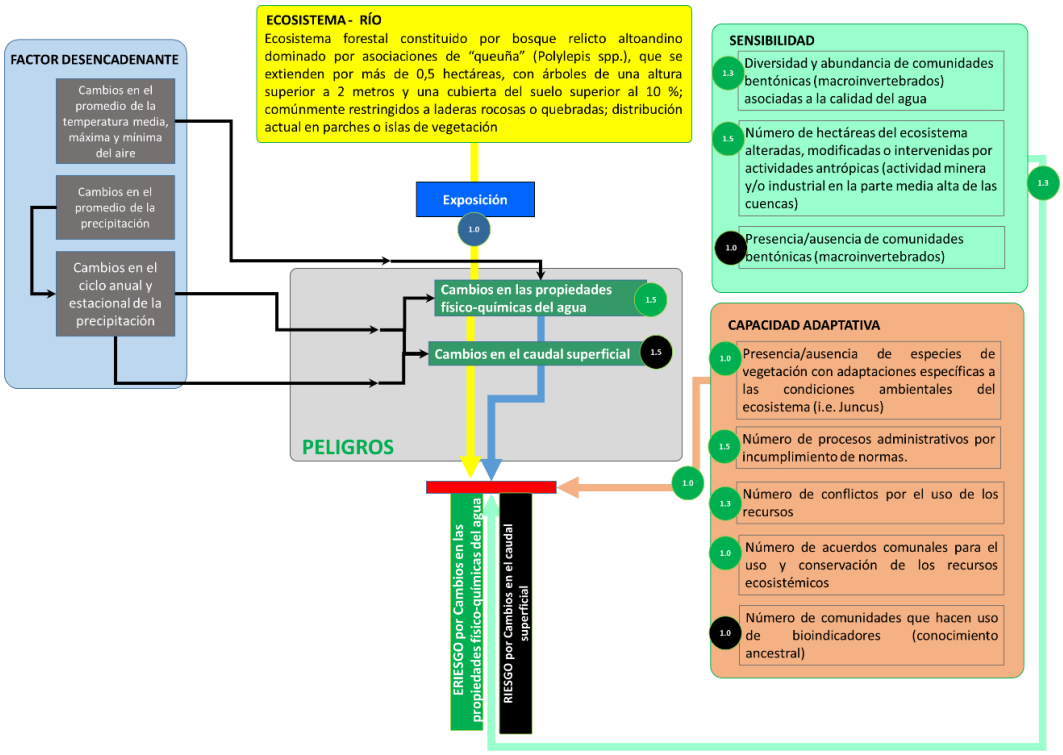


Figura 17 . Cadena de impacto y pesos referenciales – Río. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021

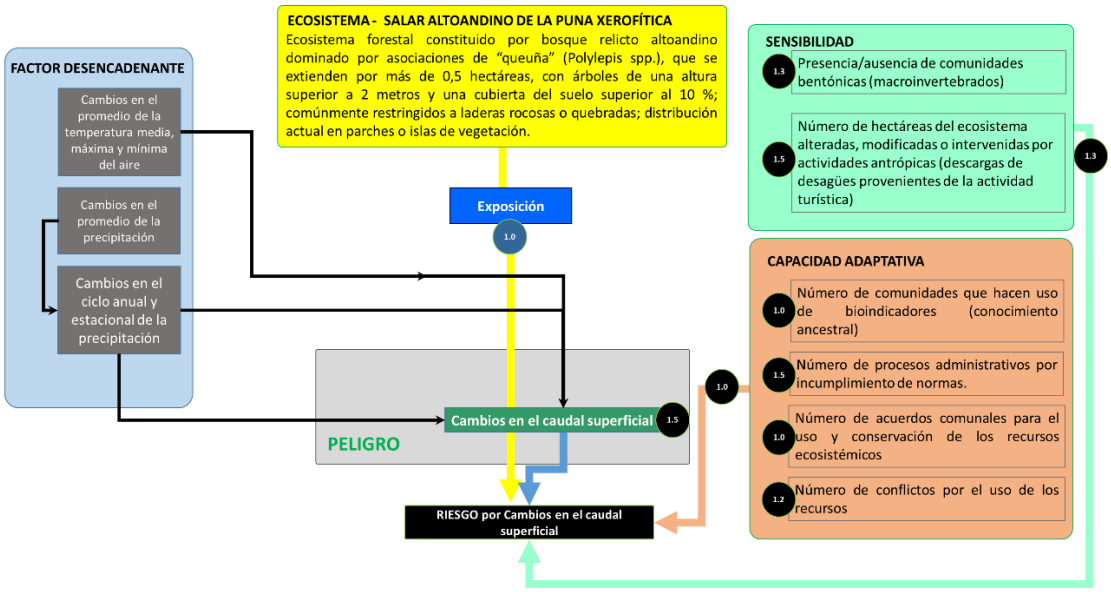


Figura 18 Cadena de impacto y pesos referenciales – Salar Altoandino de la Puna Xerofítica. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021

A continuación, se presenta el proceso de estimación del riesgo en base al analisis y la estimación de los indicadores en los pasos previos.

Ejemplo de aplicación

Matriz de fatores de ponderación

Unidad	Ecosistema	Nombre del Peligro	Peligro	Exposición	Sensibilidad	Capacidad Adaptativa	Vulnerabilidad
Azángaro	Bofedales	Cambios en la evapotranspiración/evaporación	1	1	1	1	1
		Cambios en la napa freática	1.5	1	1	1	1
		Cambios en el caudal superficial	1.5	1	1	1	1

Matriz de estimación de ponderación de indicadores y estimación del riesgo - Actual

Unidad	Ecosistema	Peligro	I P	Peligro	Exposición	Sensibilidad	Capacidad Adaptativa	Vulnerabilidad	Riesgo
Azángaro	Bofedales	Cambios en la evapotranspiración/evaporación	0.85%	1	1	2	2	2	1
		Cambios en la napa freática	-0.52%	1	1	3	3	3	2
		Cambios en el caudal superficial	-2.30%	1	1	3	2	3	1

Matriz de estimación de ponderación de indicadores y estimación del riesgo – Futuro

Unidad	Ecosistema	Peligro	I P	Peligro	Exposición	Sensibilidad	Capacidad Adaptativa	Vulnerabilidad	Riesgo
Azángaro	Bofedales	Cambios en la evapotranspiración/evaporación	3.30%	1	1	2	2	2	1
		Cambios en la napa freática	-2.61%	1	1	3	3	3	2
		Cambios en el caudal superficial	-14.29%	2	1	3	2	3	2

Cuadro 9. Estimación del Riesgo

Etapa 8. Interpretación del riesgo.

El análisis del riego es realizado considerando un ecosistema en específico, y un peligro/amenaza a la vez. Los esquemas de la sección previa permiten relacionar el sujeto de análisis con los diferentes peligros analizados.

La estimación del riesgo en términos comparativos realiza una valoración del cambio que se genera en el riesgo actual[11] en comparación con un periodo base (histórico), y el cambio que se genera en condiciones proyectadas a futuro (Escenarios de Cambio Climático), para

[11] Se entiende como periodo actual al momento en el que se realiza la estimación del Riesgo y se prevé proceder al reporte de este.

un entendimiento en términos temporales del procedimiento previamente descrito, se muestra la siguiente figura:

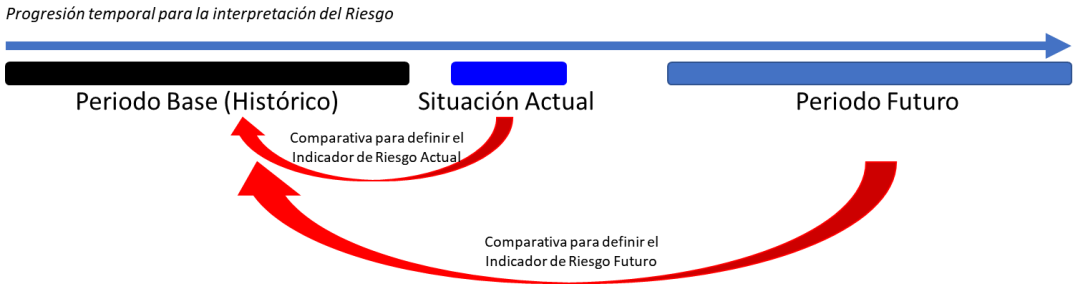


Figura 19 Progresión temporal para la interpretación del riesgo. Fuente: CBC - Agua Sustentable, 2021

Para cumplir con este esquema, el periodo base considerado en la presente guía es de 1981 a 2010, y el periodo futuro considera un periodo proyectado de 30 años mínimamente[12]. Estos intervalos pueden ser actualizados según la necesidad y objetivo del análisis, siempre y cuando se considere que tanto periodo base como futuro deben ser equivalentes en sus longitudes y no variar en gran medida las mismas, considerando la representatividad estadística que requiere la comparativa. La situación actual la define el momento en el cual se realizará el reporte y por ende varía según contexto. el contexto actual debe considerar un intervalo de información representativo de mínimamente la gestión que está siendo analizada y hasta 5 años hacia atrás de contarse con la información respectiva. Estos aspectos temporales se enfocarán en la información climática que se requiera para la estimación del riesgo.

La valoración del riesgo futuro deberá tomar en cuenta mínimamente aspectos como:

a) Cambios en el valor que impliquen una transición en la categoría estimada en relación con la situación actual. *Por ejemplo, en los pilotos de aplicación en la unidad Azángaro, el riesgo asociado con el peligro "Cambios en el caudal superficial" en "Bofedales" cambio de categoría de riesgo leve a medio, debido a que el caudal se estima disminuya de -2.3% en la actualidad a -14.29% en el futuro (ver capítulo 2, etapa 7, anexo VII).*
b) Consecuencias incrementales establecidas en la categorización nueva, que impliquen medidas de manejo y monitoreo no vinculadas en la situación actual. *Del ejemplo previamente mencionado en Azángaro, debido al cambio de categoría de riesgo para este peligro, inmediatamente se debería contemplar medidas adicionales para el monitoreo no presentes en las acciones actuales, dado que del análisis de campo, se pudo identificar que no hay un monitoreo hidrológico en los bofedales en Azángaro.*
c) Generación de situación de cambio en los ecosistemas analizados que impliquen una disminución en extensión del ecosistema y por ende una variación de las condiciones de exposición. *Del ejemplo de la unidad Azángaro, se prevé que debido*

[12] En el caso de los pilotos descritos en el anexo VII, el periodo proyectado es de 2035 a 2065 con media en 2050

al déficit hídrico que genera el cambio en el nivel del riesgo, el área de bofedales disminuya gradualmente, lo que potencialmente requiera de un monitoreo en la extensión inicial establecida para definir la exposición reportada en piloto.

Recomendaciones

- El análisis descrito previamente a esta sección considera varios aspectos progresivos de evaluación e interpretación, en los componentes del riesgo asociado a cambio climático. Se debe considerar que la presente guía ha sido desarrollada para ecosistemas de altura dominantes en la región de la sierra y altiplano Perú – boliviano, propias del Sistema Hídrico TDPS, que por su condición endorreica es particular. La vinculación entre los peligros y los ecosistemas propios de la región establecen el alcance de aplicación de la presente guía, y proveen una clara delimitación geográfica para su aplicación, la cual debe ser entendida al momento de valorar las diferentes descripciones y valoración en relación a información, caracterización, así como relaciones entre los diferentes indicadores descritos en este documento.
- Es importante establecer la relación entre todos los componentes de la evaluación de riesgos, es decir el ecosistema seleccionado, el peligro o amenaza identificado y en base a esos datos determinar los indicadores de peligro, exposición, y vulnerabilidad, con sus dos subcomponentes (sensibilidad y capacidad adaptativa), todos los indicadores deben guardar relación entre sí.
- La selección de indicadores debe respaldarse también en la disponibilidad de información secundaria relacionada a la evaluación o en la posibilidad de desarrollar monitoreos o registros de datos en campo.
- En el caso de los indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa es recomendable y muy relevante el registro de datos en campo, debido a que es poco probable encontrar datos específicos de los indicadores seleccionados, que coincidan en tiempo y espacio.
- Las lecciones aprendidas en los procesos de estimación del riesgo deben ser sistematizadas en un informe que presente los resultados, describa aspectos anticipados y retos identificados, de forma tal que la información desplegada pueda ser considerada con un valor agregado y un claro entendimiento de los márgenes de incertidumbre asociados. El informe incluirá mapas temáticos que describan mejor los resultados del análisis.
- El informe deberá ser estructurado en base a: 1) Contexto y objetivos, 2) metodología e implementación, 3) resultados, 4) conclusiones y lecciones aprendidas. Considerando la naturaleza y propósito para la elaboración del informe, el detalle de la secuencia metodológica deberá ser graduada para proveer un resumen entendible del proceso de recopilación de datos, monitoreo y caracterización, así como una interpretación base de los resultados. Si el alcance está vinculado a procesos de monitoreo posterior, el énfasis en la consolidación de la data para la estimación de indicadores deberá ser más detallada a través del uso de descripción explícitas y uso de herramientas informáticas (hojas de cálculo y otras herramientas).
- El desarrollo de esquemas e ilustración para los resultados es fundamental, para entender los dos aspectos en los cuales el riesgo ha sido considerado. Para el ámbito espacial, la visualización de la zonificación del riesgo a través de la presentación de mapas, diagramas circulares o radiales puede usarse para ilustrar los resultados de

forma disgregada. Comparativas sobre valores del indicador bajo una secuencia temporal complementa el ámbito temporal del comportamiento del riesgo, considerando la naturaleza del efecto de los factores desencadenantes considerados en la valoración del riesgo considerados en el presente documento.

Referencias

- Alexandersson, Hans, 1986. "A homogeneity test applied to precipitation data." Journal of climatology 6, no. 6: 661-675.
- Allen, Richard G., Luis S. Pereira, D. Raes, and Martin Smith, 1998. FAO Irrigation and drainage paper No. 56." Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations 56, no. 97: e156.
- ANA, 2014.Estado de la calidad ambiental de la cuenca del Lago Titicaca y sus afluentes-CMLT, C. M. P. P. y. R. A. (2014). Estado de la calidad ambiental de la cuenca del Lago Titicaca: ámbito peruano. Recuperado de https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4549
- Andino, Proyecto Multinacional, and Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. 0717-3733.
- Arsen, Adalbert, Jean-François Crétaux, Muriel Berge-Nguyen, and Rodrigo Abarca Del Rio, 2014. Remote sensing-derived bathymetry of lake Poopó. Remote Sensing 6, no. 1: 407-420.
- Crétaux, J-F., W. Jelinski, Stéphane Calmant, A. Kouraev, V. Vuglinski, M. Bergé-Nguyen, M-C. Gennero et al., 2011. SOLS: A lake database to monitor in the Near Real Time water level and storage variations from remote sensing data. Advances in space research 47, no. 9: 1497-1507.
- Correa, K., Ávalos, G., Cubas, F., De la Cruz, G., & Díaz, A., 2020. Orientaciones para el análisis del clima y determinación de los peligros/amenazas asociados al Cambio Climático. SENAMHI - Perú
- FAO, 2001. Diversidad Biológica Forestal - Unasylva 209. (s/f). Recuperado el 7 de mayo de 2021, de Fao.org website: http://www.fao.org/3/y3582s/y3582s08.htm
- Funes Morales, M. M., Laura Chavez, F. H., & Nuñez Villalba, J. (2017) Análisis del cambio multiemporal en los bofedales de la subcuenca Peñas, con técnicas de percepción remota (Doctoral dissertation).

- Gangopadhyaya, M., 1966. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration.
- Geo Bolivia, 2014. Descargas del mapa de Cobertura y Uso del Suelo 30m. (s/f). Recuperado el 7 de mayo de 2021, de Gob.bo website: http://test.geo.gob.bo/-Descargas-del-mapa-de-Cobertura-y-Uso-del-Suelo-30m-.
- Gitau, Margaret W., and Indrajeet Chaubey, 2010. Regionalization of SWAT model parameters for use in ungauged watersheds. Water 2, no. 4: 849-871
- GIZ, E., 2017. Risk supplement to the vulnerability sourcebook. Guidance on How to Apply the Vulnerability Sourcebook's Approach with the New IPCC AR5 Concept of Climate Risk.
- Gómez, M., 2006. Introducción a la metodología de la investigación científica. Editorial Brujas.
- Hargreaves, George H., and Zohrab A. Samani, 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied engineering in agriculture 1, no. 2: 96-99
- IPCC, 2014. 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 [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- IRD, 2015. Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos e hidrobiológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca. Recuperado el 7 de mayo de 2021, de Researchgate.net website: https://www.researchgate.net/profile/Acosta-F/publication/283722404_Clasificacion_y_Regionalizacion_de_los_humedales_del_sistema_TDPS/links/5644fc9908aef646e6cc0e01/Clasificacion-y-Regionalizacion-de-los-humedales-del-sistema-TDPS.pdf
- Landis, Wayne; Durda, Judi.; Brooks, Marjorie; Chapman, Peter; Menzie, Charles; Stahl, Ralph; Stauber, Jennifer, 2013. Ecological risk assessment in the context of global climate change. Environmental toxicology and chemistry; SETAC; pp.32.
- Leyva Haza, Julio, & Guerra Véliz, Yusimí, 2020. Objeto de investigación y campo de acción: componentes del diseño de una investigación científica. EDUMECENTRO, 12(3), 241-260. Epub 22 de junio de 2020. Recuperado en 07 de

mayo de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-28742020000300241&lng=es&tlng=es.

- Linares-Palomino, R., Cardona, V., Hennig, E. I., Hensen, I., Hoffmann, D., Lendzion, J., Kessler, M., 2009. Non-woody life-form contribution to vascular plant species richness in a tropical American forest. Plant Ecology, 2001(1), 87-99.doi:10.1007/978-90-481-2795-5_8
- MAESTRO, E. E. P. (2003) Informe Final Diagnóstico E Inventario De Los Recursos Naturales De Flora Y Fauna. Plan maestro de biodivrsiad para el sistema TDPS.
- Maldonado M., Navarro G., Acosta F., Aguilera X. De la Barra N., Cadima M., Coronel J., Fernández E., Ferreira W. & Goitia E., 2012. Humedales y cambio climático en los Altos Andes de Bolivia. Unidad de Limnología y Recursos Acuáticos, Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba. 40 p. + 1 mapa.
- Malhi, Y., J. Franklin, N. Seddon, M. Solan, M. G. Turner, C. Field, and N. Knowlton, 2020. Climate change and ecosystems: threats, opportunities and solutionsPhil. Trans. R. Soc. B37520190104.
- Ministerio de Medio ambiente de Chile, 2012. Guía para la conservación y seguimiento ambiental de Humedales Andinos. Recuperado el 7 de mayo de 2021, de Gob.cl website: http://metadatos.mma.gob.cl/sinia/guiaConsSeguimientoHumedales2011.pdf
- MINAM, 2015.Guía de inventario de la flora y vegetación. (s/f). Recuperado el 7 de mayo de 2021, de Gob.pe website: https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2683-guia-de-inventario-de-la-flora-y-vegetacion
- MINAM, 2015. Mapa Nacional de Cobertura Vegetal. Recuperado el 7 de mayo de 2021, de Gob.pe website: https://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/MAPA-NACIONAL-DE-COBERTURA-VEGETAL-FINAL.compressed.pdf
- MINAM, 2017. Mapa de condiciones para incendios. Recuperado el 7 de mayo de 2021, de Gob.pe website: https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-condiciones-incendios.
- MINAM, 2017. Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú. (s/f). Recuperado el 7 de mayo de 2021, de Gob.pe website:

https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/277146-mapa-nacional-de-ecosistemas-del-peru

- MINAM, 2018. Listado de Especies de Flora Silvestre Cites – Perú. Recuperado el 7 de mayo de 2021, de Gob.pe website: https://www.minam.gob.pe/simposio-peruano-de-especies-cites/wp-content/uploads/sites/157/2018/08/Listado-FLORA-CITES-FINAL.pdf
- MINAM – INAIGEM, 2019. Guía de Evaluación del Estado del Ecosistema de Bofedal. Recuperado el 7 de mayo de 2021, de Gob.pe website: https://www.inaigem.gob.pe/wp-content/uploads/2020/01/GUIA-DE-EVALUACION-ESTADO-DE-ECOSISTEMA-BOFEDA.pdf?fbclid=IwAR0svdqpjjGiLgaiW-InZDK8rPhNWY1UVCZA5CGyVhKAuPvUuluQQ6oAMD0
- PELT, 2017.Evaluación y Análisis de la Calidad del Agua. Recuperado el 7 de mayo de 2021, de Gob.pe website: https://pelt.gob.pe/sirh/menuvertical-0003v/
- Pelton, W. L., K. M. King, and C. B. Tanner, 1960. An evaluation of the Thornthwaite and mean temperature methods for determining potential evapotranspiration 1. Agronomy Journal 52, no. 7: 387-395
- Pouilly, M., Lazzaro, X., Point, M., & Aguirre, M., 2014. Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca.
- Pulido Capurro, Víctor. (2018). Estacionalidad de las especies de aves residentes y migratorias altoandinas en el lado peruano de la cuenca del Titicaca. Revista de Investigaciones Altoandinas, 20(4), 461-476. https://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.423
- Razandi, Yousef, Hamid Reza Pourghasemi, Najmeh Samani Neisani, and Omid Rahmati, 2015. Application of analytical hierarchy process, frequency ratio, and certainty factor models for groundwater potential mapping using GIS. Earth Science Informatics 8, no. 4: 867-883
- Satgé, Frédéric, Raúl Espinoza, Ramiro Pillco Zolá, Henrique Roig, Franck Timouk, Jorge Molina, Jérémie Garnier, Stéphane Calmant, Frédérique Seyler, and Marie-Paule Bonnet, 2017. Role of climate variability and human activity on Poopó Lake droughts between 1990 and 2015 assessed using remote sensing data. Remote Sensing 9, no. 3: 218

- SERFOR. 2018. Libro Rojo de la Fauna Silvestre Amenazada del Perú. Primera edición. Serfor (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre), Lima, Perú, pp 1-548.
- SATRIFO, 2019. Sistema de monitoreo y alerta de riesgos de incendios forestales. (s/f). Recuperado el 7 de mayo de 2021, de Fan-bo.org website: http://incendios.fan-bo.org/Satrifo/
- SENAMHI – Perú, MMAyA Bolivia, 2020. Escenarios climáticos en el sistema hídrico del lago Titicaca, Desaguadero, Lago Poopó y Salar de Coipasa. Proyecto GIRH TDPS/Perú-Bolivia. Si existen estudios de CC locales o nacionales, la preferencia antes del estudio mencionado pasa por una valoración del grado de certidumbre en relación a los resultados.
- SERFOR, 2018. Focos de Calor e Incendios Forestales. Recuperado el 7 de mayo de 2021, de Gob.pe website: http://geo.serfor.gob.pe/geoserfor/index.php/catastro-forestal/unidad-de-monitoreo
- SERFOR, 2019. Manual de Usuario Sistema de Monitoreo del Aprovechamiento Forestal **responsable** – DataBOSQUE. Recuperado el 7 de mayo de 2021, de Gob.pe website: https://www.serfor.gob.pe/databosque/img/recursos/3PdfManual.pdf
- Singh, Vijay P., and David A. Woolhiser, 2002. Mathematical modeling of watershed hydrology. Journal of hydrologic engineering 7, no. 4: 270-292
- Taesombat, Wisuwat, and Nutchanart Sriwongsitanon, 2009. Areal rainfall estimation using spatial interpolation techniques. Science Asia 35, no. 3: 268-275
- Torrico-Paz, Stephanie, López, Ramiro P., Ayala, Oscar C., Fernández-Paz, Adilen, Antezana, Nayra M., & Morillas, Emmilce. (2018). Baccharis boliviensis (Asteraceae), ¿especie clave de ambientes semiáridos andinos. Ecología en Bolivia, 53(2), 92-112. **Recuperada em** 08 de junio de 2021, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282018000200003&lng=pt&tlng=es.
- Troch, P. A., De Troch, F. P., & Brutsaert, W., 1993. Effective water table depth to describe initial conditions prior to storm rainfall in humid regions. Water resources research, 29(2), 427-434

- Van Leeuwen, Willem JD, Kyle Hartfield, Marcelo Miranda, and Francisco J. Meza, 2013. Trends and ENSO/AAO driven variability in NDVI derived productivity and phenology alongside the Andes Mountains. Remote Sensing 5, no. 3: 1177-1203
- Zhang, Xuebin, and Feng Yang, 2004. "RClimDex (1.0) user manual." Climate Research Branch Environment Canada 22.