

Nina Vargas, Marco Leandro; Flores Quisbert, Ruben Andres; Quezada Lambertin, Carlos Eduardo

Working Paper

Estimación del indicador 6.6.1: Proporción de cuencas hidrográficas de municipios y territorios indígenas de Bolivia que experimentan grandes cambios en la extensión de sus aguas superficiales

Documento de Trabajo, No. 202302

Provided in Cooperation with:

Instituto de Investigaciones Socio-Económicas (IISEC), Universidad Católica Boliviana

Suggested Citation: Nina Vargas, Marco Leandro; Flores Quisbert, Ruben Andres; Quezada Lambertin, Carlos Eduardo (2023) : Estimación del indicador 6.6.1: Proporción de cuencas hidrográficas de municipios y territorios indígenas de Bolivia que experimentan grandes cambios en la extensión de sus aguas superficiales, Documento de Trabajo, No. 202302, Universidad Católica Boliviana, Instituto de Investigaciones Socio-Económicas (IISEC), La Paz

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/297004>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Documento de Trabajo IISEC-UCB N° 202302

<http://www.iisec.ucb.edu.bo/publicaciones-documentos-de-trabajo-iisec-bolivia>

**ESTIMACIÓN DEL INDICADOR 6.6.1: PROPORCIÓN DE
CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MUNICIPIOS Y TERRITORIOS
INDÍGENAS DE BOLIVIA QUE EXPERIMENTAN GRANDES
CAMBIOS EN LA EXTENSIÓN DE SUS AGUAS SUPERFICIALES**

Por:

Marco Leandro Nina Vargas

Ruben Andres Flores Quisbert

Carlos Eduardo Quezada Lambertin

Noviembre, 2023

Este documento fue desarrollado por investigadores del Instituto de Investigaciones Socio-Económicas (IISEC) de la Universidad Católica Boliviana “San Pablo” en marco del “Concurso de Indicadores para la nueva versión del Atlas Municipal de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Bolivia”. Iniciativa impulsada y financiada por la **Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible - SDSN Bolivia**, con el objetivo de contar con indicadores complementarios, nuevos y novedosos que permitan cubrir los 17 ODS de la Agenda 2030 en Bolivia. Las opiniones expresadas en este documento pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del IISEC o de SDSN Bolivia.

Citación sugerida: Nina Vargas, M., Flores Quisbert, R., Quezada Lambertin, C. (2023). Estimación del indicador 6.6.1: Proporción de cuencas hidrográficas de municipios y territorios indígenas de Bolivia que experimentan grandes cambios en la extensión de sus aguas superficiales (IISEC-UCB Documento de Trabajo 202302). La Paz, Bolivia: Instituto de Investigaciones Socio-Económicas. Disponible en: <https://iisec.ucb.edu.bo/publicaciones-documentos-de-trabajo-iisec-bolivia>

Instituto de Investigaciones Socio-Económicas (IISEC)

**ESTIMACIÓN DEL INDICADOR 6.6.1: PROPORCIÓN DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS DE MUNICIPIOS Y TERRITORIOS INDÍGENAS DE
BOLIVIA QUE EXPERIMENTAN GRANDES CAMBIOS EN LA
EXTENSIÓN DE SUS AGUAS SUPERFICIALES**

Marco Leandro Nina Vargas¹
Ruben Andres Flores Quisbert²
Carlos Eduardo Quezada Lambertin³

Noviembre 2023

Los documentos de trabajo del IISEC se distribuyen con fines de discusión y comentarios, y a menudo representan el trabajo preliminar de los autores. La citación de un documento de este tipo debe considerar su carácter provisional. Una versión revisada puede consultarse directamente con los autores.

¹ Investigador Junior, Instituto de Investigaciones Socio-Económicas - Universidad Católica Boliviana
marconv3000@gmail.com

² Asistente de investigación, Instituto de Investigaciones Socio-Económicas - Universidad Católica Boliviana
flores.quisbert.ruben@gmail.com

³ Investigador, Instituto de Investigaciones Socio-Económicas - Universidad Católica Boliviana
cquezada@ucb.edu.bo

Resumen

El documento de trabajo presenta los principales resultados y la metodología empleada para la estimación del indicador 6.6.1 de los ODS, “proporción de cuencas hidrográficas de Municipios y Territorios Indígenas de Bolivia que presentan que experimentan grandes cambios en sus aguas superficiales”. El indicador se construyó a partir de la estimación de cambios en aguas permanentes y estacionales para el periodo 2000-2021 para los 339 Municipios y 197 Territorios Indígenas del país. Los resultados muestran que para ambos subindicadores se observó un mayor número cuencas con grandes cambios positivos (incremento en la extensión de las aguas superficiales) que negativos (reducción de la extensión en las aguas superficiales), además se obtuvo un mayor número cuencas con grandes cambios en aguas estacionales respecto a aguas permanentes. Adicionalmente, se observa que el 21% de los municipios experimentaron grandes cambios permanentes con valores por encima del 20%, los cuales se encuentran mayormente concentrados en la región altiplánica y de los valles del país. Por otra parte, el 24% del total de los municipios reportaron grandes cambios estacionales con valores superiores al 20%, ubicándose mayormente en la región altiplánica del territorio nacional. Finalmente, se recomienda prestar atención a los casos presentados para futuros estudios más específicos de estas regiones, además de incluir los resultados obtenidos en la realización de políticas, planificación y gestión de este recurso hídrico.

Palabras clave: Indicador 6.6.1, grandes cambios en aguas superficiales, Objetivos de Desarrollo Sostenible, Municipios, Territorios Indígenas.

Clasificación JEL: Q01, Q25.

Abstract

The working paper presents the main results and methodology used for the estimation of SDG indicator 6.6.1, "proportion of watersheds of Municipalities and Indigenous Territories of Bolivia that present that experience major changes in their surface water". The indicator was constructed based on the estimation of permanent and seasonal water changes for the period 2000-2021 for the 339 Municipalities and 197 Indigenous Territories of the country. The results show that for both sub-indicators a greater number of watersheds with large positive changes (increase in the extension of surface waters) than negative (reduction in the extension of surface waters) were observed, and a greater number of watersheds with high changes in seasonal waters with respect to permanent waters were also obtained. In addition, 21% of the municipalities experienced large permanent changes with values above 20%, which are mostly concentrated in the high plateau and valley regions of the country. On the other hand, 24% of the total municipalities reported large seasonal changes with values above 20%, mostly located in the highlands region of the country. Finally, it is recommended that attention be paid to the cases presented for future studies more specific to these regions, in addition to including the results obtained in the implementation of policies, planning, and management of this hydric resource.

Keywords: Indicator 6.6.1, major changes in surface water, Sustainable Development Goals, Municipalities, Indigenous Territories.

JEL Classification: Q01, Q25.

1. Introducción

El agua es un recurso fundamental para la vida en la Tierra, siendo esencial para la supervivencia de todos los seres vivos y para el funcionamiento de los ecosistemas. A pesar de su importancia, los recursos hídricos en el mundo enfrentan numerosos desafíos que amenazan su disponibilidad, calidad y sostenibilidad. Estos desafíos incluyen el cambio climático, la contaminación, el uso ineficiente y la degradación de los ecosistemas acuáticos. Dichas problemáticas tienen un mayor impacto en países en desarrollo, debido a que se presenta una mayor vulnerabilidad y una menor capacidad de adaptación a los impactos del cambio climático, y una alta dependencia de la agricultura, la cual tiene un papel fundamental en la economía y seguridad alimentaria boliviana, principalmente de las comunidades con altos índices de pobreza (UNICEF, 2019).

En el contexto mundial, según distintos informes de organismos y entidades internacionales como las Naciones Unidas, la FAO o la CEPAL⁴, para el año 2020 todavía 2,200 millones de personas en todo el mundo aún no cuentan con acceso a agua potable, y alrededor de 3,600 millones de personas viven en regiones vulnerables a sufrir escasez de agua al menos un mes al año. Por otra parte, la contaminación, el no tratamiento de las aguas residuales y el uso de fertilizantes y otros agroquímicos vienen provocando un deterioro en la calidad del agua en casi todos los ríos de África, Asia y América Latina. Este deterioro puede tener consecuencias negativas y considerables para el medio ambiente y la salud humana y potenciar los impactos del cambio climático (WWAP, 2017).

Bolivia se enfrenta a un conjunto de desafíos significativos en relación con la gestión y conservación de sus recursos hídricos. Por un lado, los glaciares de los Andes, vitales para el suministro de agua en el país, están experimentando un rápido derretimiento debido al calentamiento global (Vergara et al., 2007; Raoul, 2015). Esto está afectando la disponibilidad de agua para las comunidades de las tierras altas y pone en riesgo a las cuencas hidrográficas que dependen del deshielo glacial. Además, los altos índices de deforestación y cambio de uso de suelo para la expansión de la agricultura y la ganadería en los últimos años pueden contribuir al desequilibrio de los ecosistemas de agua dulce y afectar la provisión de agua para muchas comunidades forestales (Malky y Mendizábal, 2018; RAISG, 2020).

Entre las acciones e iniciativas nacionales para abordar estos desafíos, se vienen implementando un conjunto de medidas que tienen como principales objetivos el manejo integral de los recursos y cuencas, así como la conservación y restauración de los ecosistemas vinculados a estos recursos. A través del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) y el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (VRHR) se plantean acciones que consideran dentro de sus objetivos la mejora de la resiliencia ante efectos del cambio climático. Es así, que se desarrolla el Plan Nacional de Cuencas (PNC), formulada en el 2006 e incorporada en un programa plurianual en los periodos 2008-2012, 2013-2016 y 2017-2020, este plan contenía inicialmente siete componentes, de los cuales se resaltan: **i)** el desarrollo de la gestión integral

⁴ Véase más en: <https://www.unwater.org/news/un-world-water-development-report-2020-%E2%80%98water-and-climate-change%E2%80%99>

de recursos hídricos (GIRH) y el manejo integral de las cuencas (MIC)⁵ y **ii**) la gestión de cuencas transfronterizas⁶. Por un lado, el MIC abarca las tareas técnicas de uso y manejo de los recursos naturales relacionados a la cuenca, mientras que la GIRH enfatiza en los aspectos institucionales, legales, organizacionales y sociales de la gestión del agua, por lo que esta gestión integrada busca articular de forma efectiva los sistemas naturales, socioeconómicos y culturales.

Entre los resultados más destacables del PNC se tienen:

1. La introducción de un marco de gestión para el agua, que establece a la cuenca como unidad de planificación, gobernanza y manejo, considerando a las cuencas no solo como sistema hídrico, sino como sistemas de vida.
2. La construcción de gobernanza “de abajo hacia arriba”, donde los actores locales tienen una plataforma de diálogo, co-creación de soluciones para los problemas de la cuenca e interacción con las autoridades.

Dichos resultados del PNC destacan por un aún tardío efecto que contrarreste la degradación de las cuencas, lo que es crítico ante los venideros efectos del cambio climático, los cuales influyen en una creciente inseguridad alimentaria, desastres naturales, sequías e inundaciones, incendios forestales y propagación de enfermedades (UNICEF, 2019).

Uno de los aspectos clave para lograr alcanzar objetivos como los que se plantea en el PNC, es el acceso a información e indicadores vinculados a la gestión de los recursos hídricos. Al respecto, el informe de la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS) detalla una lista de 32 indicadores vinculados al Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, relacionado al agua potable y saneamiento. No obstante, los indicadores disponibles para Bolivia están en línea únicamente de los objetivos 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4, los cuales están enfocados más en el acceso y calidad del agua potable y saneamiento, tratamiento de aguas y uso eficiente del recurso. Hasta la fecha no se cuenta con información sobre indicadores relacionados al estado de cuerpos de agua de las cuencas hidrográficas, las aguas superficiales y los ecosistemas acuáticos del país.

En este sentido, con el objetivo de contribuir al monitoreo y gestión de las aguas superficiales de cuencas hidrográficas de Bolivia, el presente trabajo pretende estimar el indicador 6.6.1 “proporción de cuencas que experimentan grandes cambios en sus aguas superficiales” para los 339 Municipios y 197 Territorios Indígenas (entre Territorios Indígenas Originario Campesinos y Tierras Comunitarias de Origen) de Bolivia.

⁵ Ambas estando a cargo de la Dirección General de Cuencas y Recursos Hídricos.

⁶ El concepto de cuenca transfronteriza proviene de las aguas compartidas entre países, siendo el caso de ríos internacionales (que forman frontera entre países) o transfronterizos (que cruzan la frontera) (Álvarez y Laako, 2015).

2. Metodología

La metodología empleada para la estimación del Indicador 6.6.1 se basa en las directrices y recomendaciones delineadas en el informe de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP por sus siglas en inglés) del año 2021, *Progress on Freshwater Ecosystems: Global indicator 6.6.1 updates and acceleration needs* y el asesoramiento de uno de los autores de este documento, S. Crane (comunicación *personal*, 22 de marzo de 2023). Específicamente, se sigue el procedimiento establecido en el anexo II de este documento para el monitoreo de los cambios en la extensión de las aguas superficiales para el periodo 2000 a 2021 a partir de productos derivados de sensoramiento remoto. El proceso de construcción del indicador se resume en los siguientes pasos:

1. Recopilación de datos de aguas permanentes y estacionales
2. Cálculo del cambio porcentual en la extensión espacial de la superficie del agua
3. Tratamiento de outliers
4. Transformación de los datos a una distribución probabilística de Laplace e identificación de los puntos de corte en un intervalo de confianza del 95%.
5. Estimación del indicador 6.6.1

A continuación, se describe de forma más detallada cada paso dentro de la metodología.

2.1. Recopilación de datos de aguas permanentes y estacionales

El primer paso para estimar el indicador 6.6.1 es la obtención de información espacial referente a la extensión de las aguas superficiales para las cuencas de los 339 municipios y 197 Territorios Indígenas de Bolivia. En este sentido, se utilizaron los siguientes conjuntos de datos espaciales:

- **Límites municipales:** Representados por un conjunto de vectores de los 339 Municipios en formato shapefile elaborados por el Ministerio de Autonomías del Estado Plurinacional de Bolivia, con datos actualizados hasta abril de 2015, y que fueron obtenidos de la plataforma de infraestructura de datos espaciales GeoBolivia y pueden descargarse en el siguiente enlace: <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/7a2ac686-6f6f-4015-999e-3660f85719fa>
- **Límites de los Territorios Indígenas:** Representados por un conjunto de vectores de 197 Territorios Indígenas de Bolivia, cuya información se basa en el conjunto de datos del Instituto Nacional de Reforma Agraria de Bolivia (INRA) disponibles en GeoBolivia, pero que fueron previamente procesados por el equipo de SDSN Bolivia, quienes nos facilitaron los archivos en formato shapefile. Adicionalmente, con la herramienta SIG QGIS, se aplicó un buffer de 3km a las capas vectoriales de Territorios Indígenas, debido a que en la mayoría de los cuerpos de agua y ríos que atraviesan estas capas vectoriales no están considerados como parte de estos.

- **Cuencas hidrográficas:** Representadas por un conjunto de vectores que representa los límites de subcuencas del conjunto de datos HydroBASINS, producto que aspira a ofrecer una cobertura global continua de subcuencas de tamaño uniforme y anidadas jerárquicamente en diferentes escalas, y se respalda en un esquema de codificación que facilita el análisis de la topología de la cuenca, incluyendo la conectividad aguas arriba y aguas abajo. Para este estudio se trabajó con cuencas nivel 9, según el sistema de codificación Pfafstetter, las cuales están disponibles en formato shapefile en el siguiente enlace: <https://www.hydrosheds.org/products/hydrobasins>
- **Aguas superficiales permanentes y estacionales:** Representadas por capas ráster que son parte del conjunto de datos de Global Surface Water (GSW), que representa cartográficamente la ubicación y distribución temporal de las aguas superficiales tanto permanentes como estacionales de todo el mundo, y permite obtener estadísticas sobre la extensión y cambios de estas superficies (Pekel et al., 2016). Las capas ráster tienen una resolución de 30m/pixel, y para este estudio se empleó la subcolección de Global Surface Water de datos anuales, alojados en la plataforma de Google Earth Engine, accesibles en el siguiente enlace: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/JRC_GSW1_4_YearlyHistory

Una vez recopilados los datos, aplicando el geoproceto Intersect de QGIS, se combinó en una sola capa vectorial datos de las cuencas con los Municipios y Territorios Indígenas en QGIS, sin considerar los límites de los lagos Poopó y Titicaca. A partir de esta capa y en base a los datos de GSW, se estimó la extensión anual de las aguas superficiales permanentes y estacionales de cada cuenca entre el periodo 2000 y 2021.

2.2. Cálculo del cambio porcentual

Posterior a la recolección y armonización de datos sobre la extensión anual en kilómetros cuadrados de las aguas superficiales, estacionales y permanentes entre el periodo 2000 y 2021, se realizó la estimación del cambio superficial de la extensión para ambos casos mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta = \frac{\gamma - \beta}{\beta} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

- Δ representa el cambio porcentual en la extensión espacial de las aguas permanentes (P) y estacionales (E) para el conjunto de cuencas hidrográficas.
- γ es la mediana de la extensión espacial para el periodo examinado 2017-2021.
- β es la mediana de la extensión espacial para el periodo de referencia 2000-2021.

La estimación es realizada individualmente para cuenca hidrográfica asociada a algún Municipio y Territorio Indígena, tanto para aguas permanentes como estacionales, donde posteriormente se descartan del análisis a todas aquellas observaciones cuyo cambio porcentual (Δ) de un resultado “indeterminado”, “infinito” o sean consideradas como valores atípicos. Son

estas últimas las que serán reincorporadas posteriormente para su clasificación en base al análisis a llevar a cabo.

2.3. Tratamiento de outliers

Para la detección de dichos valores atípicos (outliers) se empleó un método unidimensional y no paramétrico, el mismo está definido de la siguiente forma:

Sea x_i una observación que es catalogada como outlier si cumple alguna de las siguientes condiciones:

$$x_i > Q_3 + 1.5(IQR) \quad (2)$$

$$x_i < Q_1 - 1.5(IQR)$$

Donde Q_1 y Q_3 son los cuartiles 1 y 3 de la distribución, respectivamente, e IQR es el rango intercuartílico definido como:

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (3)$$

Una vez descartados este tipo de datos es que se procede a transformar la distribución resultante a una función de densidad de probabilidad de Laplace.

2.4. Distribución de Laplace y puntos de corte

Una vez realizada la exclusión de datos atípicos, el siguiente paso consiste en transformar los valores de los cambios porcentuales a una función de distribución de probabilidades de Laplace y posteriormente a una función de distribución acumulada equivalente, de la cual se obtienen los puntos de corte necesarios para la estimación del indicador 6.6.1.

La función de densidad de probabilidad de Laplace viene definida de la siguiente manera:

$$P(x) = \frac{1}{2b} \exp\left(-\frac{|x-a|}{b}\right) \quad (4)$$

Donde:

- a : Es el parámetro de localización, definido en el intervalo $-\infty < a < \infty$. Mismo que toma el valor de la media, mediana o la moda.
- b : Es el parámetro de escala⁷, definido como un número positivo mayor a cero, tal que $b > 0$. La estimación de este parámetro se realiza a través de la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - a|$$

⁷ También conocido como la *diversidad*.

La función de distribución acumulada de la distribución de Laplace es hallada integrando la ecuación previa, dando como resultado la siguiente fórmula:

$$D(x) = \frac{1}{2} \{ [1 + \text{sgn}(x - a)] [1 - \exp\left(-\frac{|x - a|}{b}\right)] \} \quad (5)$$

Donde *sgn* es la función signo⁸.

Es en esta función de distribución acumulada donde se hallan los percentiles 2.5 y 97.5, que son los puntos de corte que determinarán la forma en la que es clasificada la cuenca.

2.5. Estimación del indicador 6.6.1

En base a los valores de los puntos de corte encontrados y con la incorporación de los outliers previamente excluidos es que las cuencas son clasificadas dentro de alguna de las siguientes categorías:

- Grandes cambios positivos (aumento de la extensión en aguas superficiales): datos atípicos positivos y cuencas cuyo valor se encuentre por encima del percentil 97.5 de la función de distribución acumulada.
- Grandes cambios negativos (reducción de la extensión en aguas superficiales): datos atípicos negativos y cuencas cuyo valor se encuentre por debajo del percentil 2.5 de la función de distribución acumulada.
- Cambios no significativos: cuencas que cuentan con un valor entre los percentiles 2.5 y 97.5 de la función de distribución acumulada.
- Sin cambios: cuencas con extensión espacial de cero kilómetros cuadrados en todos los años dentro del periodo de análisis
- No estimados: cuencas cuya variación porcentual da como resultado “infinito” o “indeterminado”.

Previo a la presentación de los resultados se debe mencionar que el procedimiento metodológico explicado fue aplicado a los datos de *Freshwater ecosystems explorer*, validando de esta forma el proceso metodológico aplicado en el análisis⁹.

⁸ Función matemática que devuelve el valor de 1 si el argumento es un número real positivo, 0 si este argumento es 0, y -1 si es un número real negativo.

⁹ Los resultados replicados pueden ser encontrados en el siguiente enlace: <https://stories.sdg661.app/#/story>.

3. Resultados

3.1. Resultados preliminares

3.1.1. Municipios

La Tabla 1 presenta los principales estadísticos del cálculo del cambio porcentual para el periodo de análisis. Se debe destacar que, del total de 6,991 cuencas, 2,223 de aguas estacionales y 4,434 permanentes fueron descartadas debido a que el resultado del cálculo del cambio porcentual no pertenecía al conjunto de números reales, por lo que son clasificadas dentro de la categoría “No estimados”. Adicionalmente, los valores mínimos, máximos y la desviación estándar de ambos subindicadores dan cuenta de la gran variabilidad existente entre observaciones. Al aplicar la metodología definida para la identificación y exclusión de outliers, 536 cuencas hidrográficas de aguas estacionales y 554 de aguas permanentes adicionales fueron descartadas temporalmente del análisis posterior, resultando en que los siguientes pasos metodológicos serán aplicados sobre el 60.5% y 28.8% del total de cuencas estacionales y permanentes iniciales para cada caso, respectivamente.

Tabla 1. Estadísticos del cambio porcentual (Δ) de aguas estacionales y permanentes a nivel municipal para el periodo 2017-2021 para el total de cuencas, en porcentaje

$\Delta_{2017-2021}$	Observaciones	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Estacional	4,768	121.5	19.0	825.2	-100	27,229.6
Permanente	2,557	63.7	0	587.1	-100	19,300.5

Fuente: Elaboración propia.

Posterior a la exclusión de los valores atípicos se debe resaltar la disminución de la media, desviación estándar y valores extremos de ambos subindicadores, pero especialmente para aguas permanentes. Es así que, tomando en cuenta dichos cambios, se debe analizar la distribución que ambos subindicadores siguen, sin contar ahora con una gran cantidad de valores atípicos.

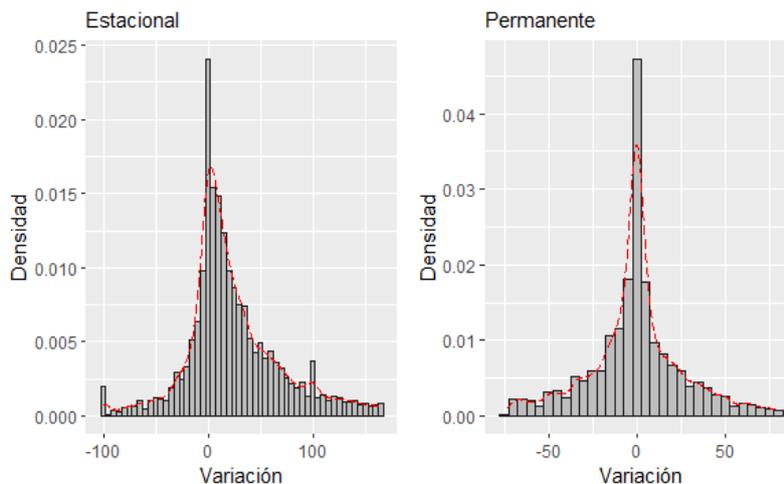
Tabla 2. Estadísticos del cambio porcentual (Δ) de aguas estacionales y permanentes a nivel municipal para el periodo 2017-2021 sin outliers, en porcentaje

$\Delta_{2017-2021}$	Observaciones	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Estacional	4,232	23.2	13.5	45.7	-100	166.7
Permanente	2,013	0.5	0	28.6	-73	80.0

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 1 muestra la distribución de las variaciones porcentuales posterior a la exclusión de los outliers para el caso de cuencas estacionales y permanentes, se puede observar que para las aguas estacionales no se obtiene una distribución simétrica, dado que presenta una cola alargada para valores positivos, además de algunos valores por encima de la curva de densidad, sin embargo, esto no generó problemas en pasos posteriores. Por otro lado, se puede evidenciar que las aguas permanentes siguen una distribución simétrica y más acotada respecto a su valor medio.

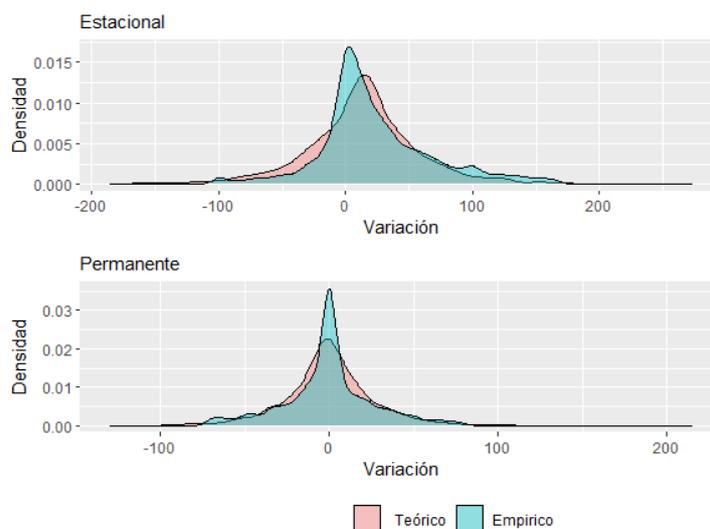
Figura 1. Distribución de la variación porcentual excluyendo outliers



Fuente: Elaboración propia.

Comparando la distribución obtenida para las variaciones, para cuencas estacionales y permanentes, con una distribución teórica generada, para ambos casos, con valores teóricos que siguen una distribución de Laplace con el mismo número de observaciones, parámetros de locación (mediana) y escala obtenidos de los datos empíricos correspondientemente, se puede ver que ambas distribuciones empíricas tienen un mayor número de observaciones acumuladas en sus valores medios respecto a las distribuciones teóricas. Por otra parte, ambas distribuciones siguen una forma bastante parecida, por lo que se puede concluir que ambas siguen una distribución de Laplace y se prosigue con la construcción de la función de distribución de probabilidades y función de distribución acumulada de Laplace.

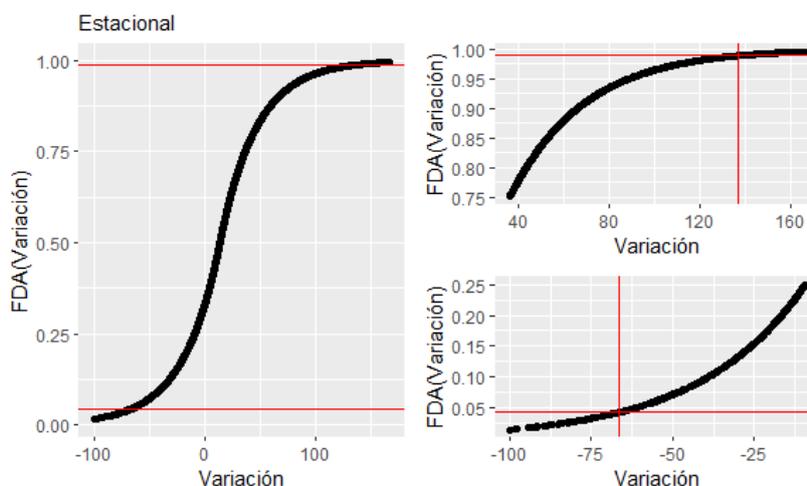
Figura 2. Funciones de distribución de la variación y de Laplace teórica



Fuente: Elaboración propia.

Es a partir de la función de distribución acumulada que se obtienen los puntos de corte para la clasificación de cambios de las cuencas, para ambos casos se obtienen los percentiles 2.5 y 97.5 de la distribución acumulada y se identifica la variación correspondiente al valor de la distribución. Para el caso de cuencas estacionales, en la parte superior derecha de la figura 3 se muestra el punto de corte correspondiente al percentil 97.5, cuyo valor obtenido es de 0.98 con una variación correspondiente de 137%. En la parte inferior derecha se muestra el punto de corte del percentil 2.5, con un valor de 0.04 y variación de -66.7%.

Figura 3. Función de distribución acumulada de Laplace para aguas estacionales, a nivel municipal

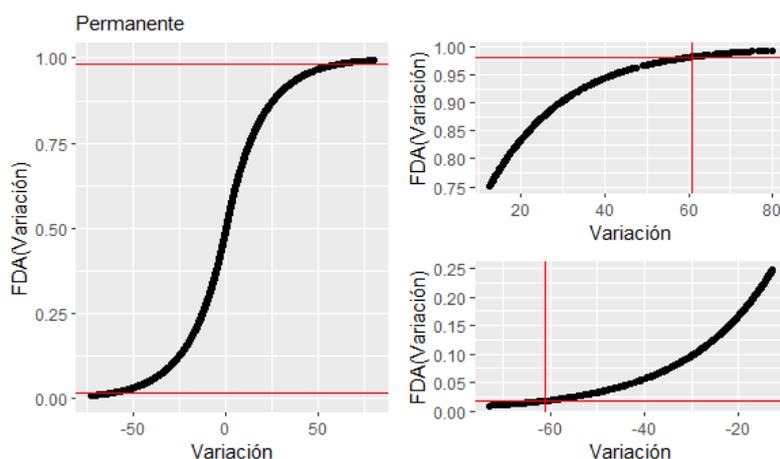


Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la distribución acumulada de las cuencas de aguas permanentes, en la parte superior derecha presenta el punto de corte correspondiente al percentil 97.5, cuyo valor es

0.98 con una variación correspondiente de 60.9%. En la parte inferior derecha se muestra el punto de corte del percentil 2.5, con un valor de 0.02 y variación de -61.1%. Una vez definidos los puntos de corte de la función de distribución acumulada para ambos subindicadores es que se procede a la inclusión de las cuencas catalogadas como outliers. De esta forma, se puede clasificar las 6,991 cuencas de nivel 9 para cada subindicador a nivel municipal.

Figura 4. Función de distribución acumulada de Laplace para aguas permanentes, a nivel municipal



Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Territorios Indígenas

Para el caso de las cuencas de Territorios Indígenas, en la tabla 3 se observa los estadísticos resultantes del cálculo del cambio porcentual aplicado sobre las 6,434 cuencas nivel 9 pertenecientes a los Territorios Indígenas. Realizando una breve comparación con los estadísticos a nivel municipal (tabla 1) es que se puede apreciar que, en los Territorios Indígenas analizados, la desviación estándar, así como el valor máximo son más altos, lo que es un indicio de la alta variabilidad y diferencia entre las cuencas examinadas.

Tabla 3. Estadísticos del cambio porcentual (Δ) a nivel de Territorios Indígenas en el periodo 2017-2021 para el total de cuencas, en porcentaje

$\Delta_{2017-2021}$	Observaciones	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Estacional	2,379	117.8	17.0	1006.3	-100	44,034.7
Permanente	1,069	30.9	0	286.0	-100	5,799.1

Fuente: Elaboración propia.

Posterior a la exclusión de los valores atípicos se puede denotar una disminución en el número de observaciones para ambos subindicadores, resultando en una reducción del 67.6% en el número de cuencas de aguas estacionales y del 86.7% para aguas permanentes. Igualmente se

aprecia una notable disminución de la desviación estándar y de los valores máximos y mínimos en ambos casos. De esta forma es que sobre el total de cuencas restantes se aplica el mismo procedimiento de categorización descrito en el apartado metodológico.

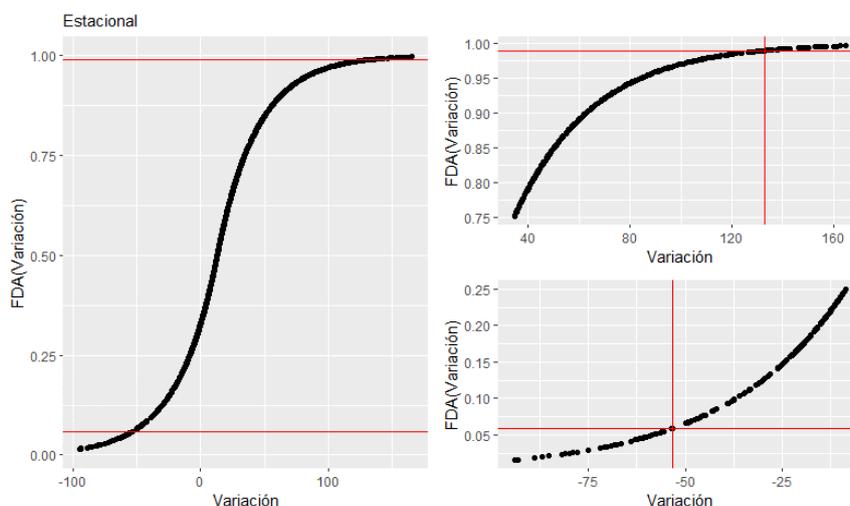
Tabla 4. Estadísticos del cambio porcentual (Δ) a nivel de Territorios Indígenas en el periodo 2017-2021 sin outliers, en porcentaje

$\Delta_{2017-2021}$	Observaciones	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Estacional	2,082	23.7	13.0	43.2	-94.2	167.7
Permanente	857	2.6	0	24.6	-65.5	72.4

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5 muestra los puntos de corte obtenidos a través de los percentiles 2.5 y 97.5 de la función de distribución acumulada para aguas estacionales, que tiene como valores 0.05 y 0.98 a los cuales les corresponden las variaciones de -53.3% y 132.8% respectivamente.

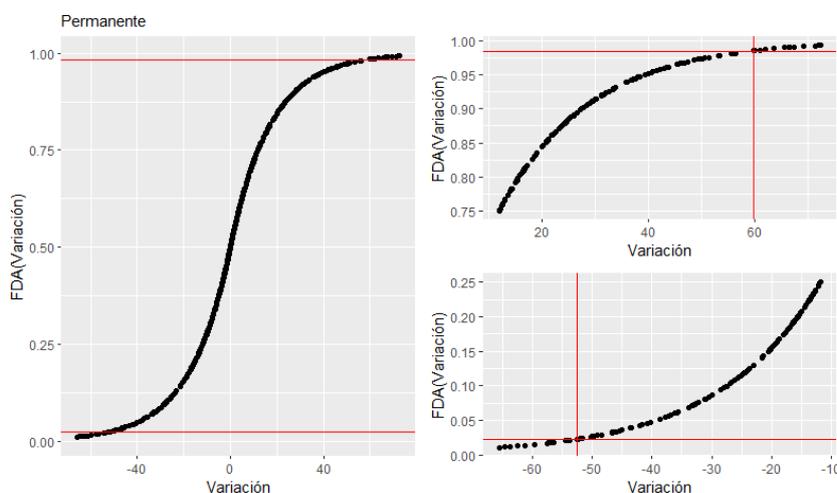
Figura 5. Función de distribución acumulada de Laplace para aguas estacionales, a nivel de Territorios Indígenas



Fuente: Elaboración propia.

Para el subindicador de aguas permanentes los puntos de corte correspondientes a los percentiles 2.5 y 97.5 son los valores de 0.02 y 0.98 de la distribución acumulada, que equivalen a las variaciones porcentuales de -52.4% y 56.4% como límites inferior y superior, respectivamente.

Figura 6. Función de distribución acumulada de Laplace para aguas permanentes, a nivel TI



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Resultados finales

Los resultados obtenidos posterior a la aplicación del procedimiento metodológico descrito consideran exclusivamente las cuencas que se encuentran dentro de los municipios y Territorios Indígenas del país, donde a nivel nacional, la proporción de cuencas que presentaron grandes cambios en sus aguas superficiales fue de 10.7% para aguas estacionales y 9.2% para aguas permanentes respecto al total de cuencas. Donde destacan, para aguas estacionales, los departamentos de Chuquisaca y Potosí, los cuales presentaron una mayor proporción de cambios positivos, siendo el 12% del total de sus cuencas, mientras que los departamentos de Cochabamba y La Paz fueron los que presentaron mayores cambios negativos, con el 2% del total de sus cuencas. Por el lado de aguas permanentes, se advierte que los departamentos de Santa Cruz, Potosí y Chuquisaca presentan mayor proporción de cuencas con grandes cambios positivos, presentando estos cambios en el 6% de sus cuencas, mientras que los departamentos de Oruro y La Paz reportan proporciones considerables, 9% y 8% respectivamente, de grandes cambios negativos respecto a la totalidad de sus cuencas.

A nivel de Territorios Indígenas destaca la gran proporción de cuencas catalogadas como “Cambios No Significativos” y “Sin Cambios”. Principalmente para aguas permanentes, donde destacan las cuencas clasificadas como “Sin Cambios”, representando en ambos casos (aguas estacionales y permanentes) más del 85% del total de cuencas.

Un análisis más desagregado es presentado de las siguientes subsecciones, abordando la clasificación del total de cuencas sobre las que se aplicó la metodología, los casos más relevantes y la concentración de estos cambios a nivel nacional.

3.2.1. Proporción de cuencas hidrográficas de Municipios que experimentan grandes cambios en la extensión de sus aguas superficiales

En la siguiente tabla se observa la clasificación de las 6,991 cuencas, a nivel municipal en el caso de aguas estacionales se tiene una mayor proporción de cambios no significativos, por otra parte, para aguas permanentes se tiene una mayor proporción de cuencas clasificadas como sin cambios. Para ambos casos se concluyó en un mayor número de grandes cambios positivos que negativos.

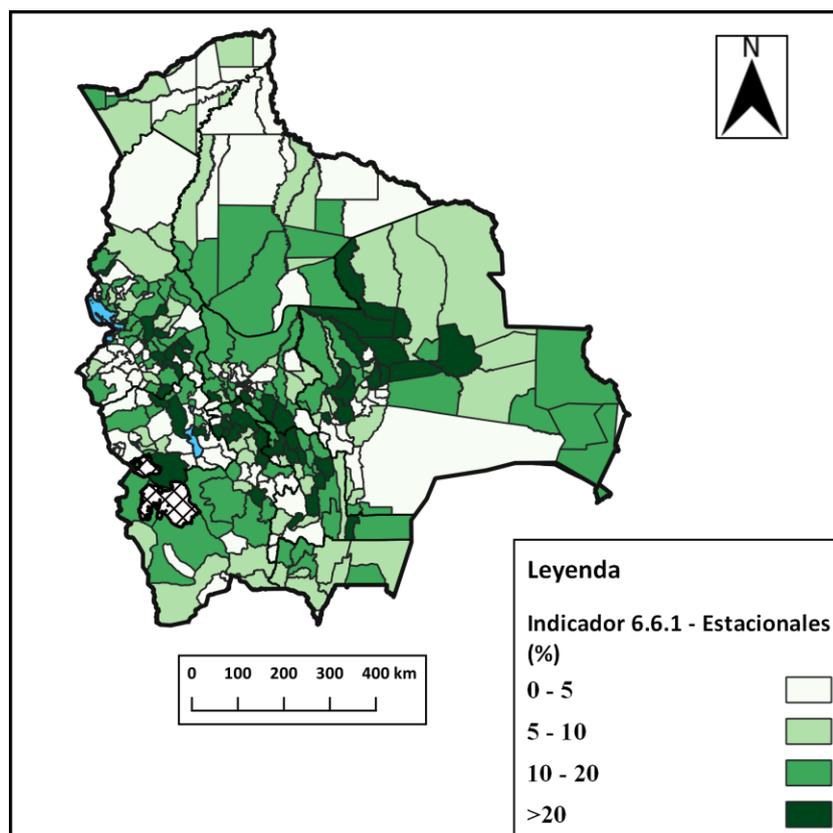
Tabla 5. Clasificación del total de cuencas a nivel municipal en Bolivia

Aguas Estacionales				
Cambios No Significativos	Grandes Cambios Positivos	Grandes Cambios Negativos	Sin Cambios	No Calculados
4,020	642	106	1,614	609
Aguas Permanentes				
Cambios No Significativos	Grandes Cambios Positivos	Grandes Cambios Negativos	Sin Cambios	No Calculados
1,911	382	264	3,633	801

Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente mapa se puede ver la proporción total de grandes cambios, positivos y negativos, desagregados a nivel municipal para aguas estacionales. Se reportan mayores proporciones de grandes cambios (superiores al 20%) concentrados en los municipios pertenecientes al departamento de Santa Cruz y Cochabamba, por el contrario, los municipios de los departamentos de La Paz, Beni y Pando son los que presentan un menor número de municipios que experimentaron grandes cambios.

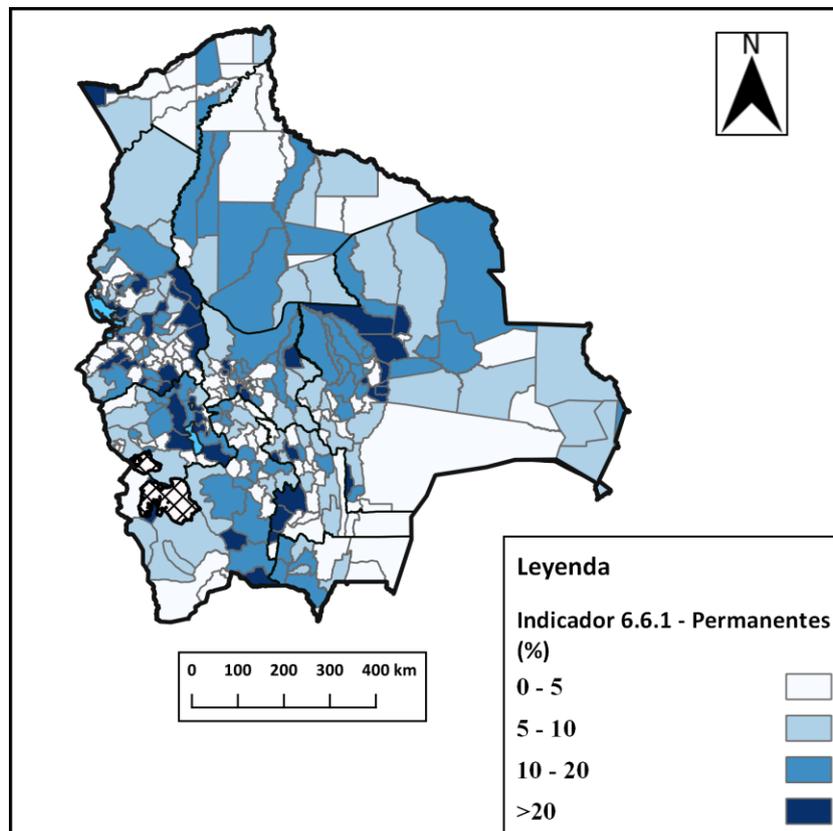
Figura 7. Mapa de proporción de grandes cambios en aguas estacionales en municipios



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los cambios permanentes a nivel municipal se puede distinguir un mayor porcentaje de municipios cuyas cuencas experimentaron fluctuaciones alrededor del 3.6% y el 10%. De igual forma es en la región del altiplano (La Paz, Oruro y Potosí) donde se concentran gran parte los municipios con grandes cambios en más del 20% de las cuencas.

Figura 8. Mapa de proporción de grandes cambios en aguas permanentes en municipios



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6 se muestran los 10 municipios cuyas con mayor proporción de cuencas que experimentaron grandes cambios positivos, es decir, un aumento en sus aguas superficiales. Se observan distintos municipios para el caso de aguas estacionales y permanentes, con proporciones y número total de cuencas similares exceptuando el caso de Tacachi que cuenta con 100% de proporción a causa de que cuenta únicamente con una cuenca.

Tabla 6. Los 10 primeros municipios con mayor proporción de grandes cambios positivos

Estacional			Permanente		
Municipio	Porcentaje	Nro. de cuencas	Municipio	Porcentaje	Nro. de cuencas
Tacachi	100	1	Villa Gualberto Villarroel	50.0	2
Cairoma	50.0	8	Punata	50.0	2
Villa Rivero	50.0	2	Oruro	42.9	7
Sicaya	50.0	4	Yotala	42.9	7
Mizque	50.0	16	Okinawa Uno	42.9	7
Tarabuco	44.4	9	Quiabaya	33.3	3
Papel Pampa	40.0	5	Aucapata	33.3	3
Combaya	40.0	5	Chua Cocani	33.3	3
Ascención de Guarayos	38.9	18	Quillacollo	27.3	11
Huayllamarca	37.5	8	Santa Cruz de la Sierra	25.0	12

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la siguiente tabla presenta los 10 municipios con mayor proporción de cuencas que experimentan grandes cambios negativos. A diferencia del caso anterior se observa valores mayores de este indicador, principalmente en aguas permanentes, donde resalta el municipio de Taraco que experimentó grandes cambios negativos en la totalidad de sus cuencas.

Tabla 7. Los 10 primeros municipios con mayor proporción de grandes cambios negativos

Estacional			Permanente		
Municipio	Porcentaje	Nro. de cuencas	Municipio	Porcentaje	Nro. de cuencas
Taraco	75	4	Taraco	100	4
Escoma	50	4	Santiago de Huata	75	4
Arbieto	40	5	San Pedro de Tiquina	66.67	6
Desaguadero	40	5	Desaguadero	60.0	5
Achocalla	33.3	3	Pazña	58.3	12
Puerto Pérez	28.6	7	Puerto Pérez	57.1	7
San Benito	25.0	4	Chacarilla	40.0	5
Tolata	25.0	4	Papel Pampa	40.0	5
Mineros	25.0	8	Santiago de Huari	38.5	13
Colcapirhua	25.0	4	Andamarca	35.0	20

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Proporción de cuencas hidrográficas de Territorios Indígenas que experimentan grandes cambios en la extensión de sus aguas superficiales

Contrastando los resultados de la tabla anterior se ve que hay un mayor número de cuencas que experimentan grandes cambios positivos, a diferencia de la proporción de cambios negativos se podría mencionar la posibilidad de que las cuencas con cambios positivos se encuentren dispersos en múltiples municipios y Territorios Indígenas, no concentrándose así de forma general en una región o área en particular.

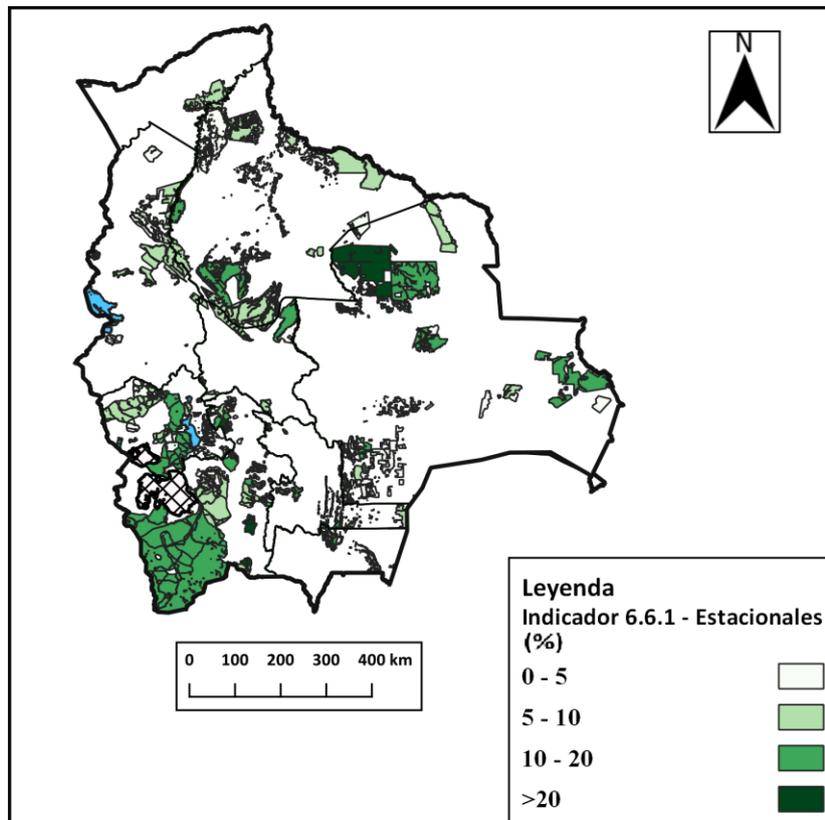
Tabla 8. Clasificación del total de cuencas a nivel de Territorios Indígenas en Bolivia

Aguas Estacionales				
Cambios No significativos	Grandes Cambios Positivos	Grandes Cambios Negativos	Sin Cambios	No Calculados
1,976	319	84	3,510	545
Aguas Permanentes				
Cambios No significativos	Grandes Cambios Positivos	Grandes Cambios Negativos	Sin Cambios	No Calculados
813	122	134	5,003	362

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 9 muestra los grandes cambios que se presentan en aguas estacionales a nivel de Territorios Indígenas, se puede observar una gran concentración de grandes cambios en la región altiplánica del país, principalmente en los departamentos de Oruro y Potosí, siendo este último el que presenta mayor concentración. Por otro lado, en la región de los llanos también se observan grandes cambios, pero de manera dispersa, sin embargo, en el departamento de Santa Cruz se observan grandes cambios con valores por encima del 20%.

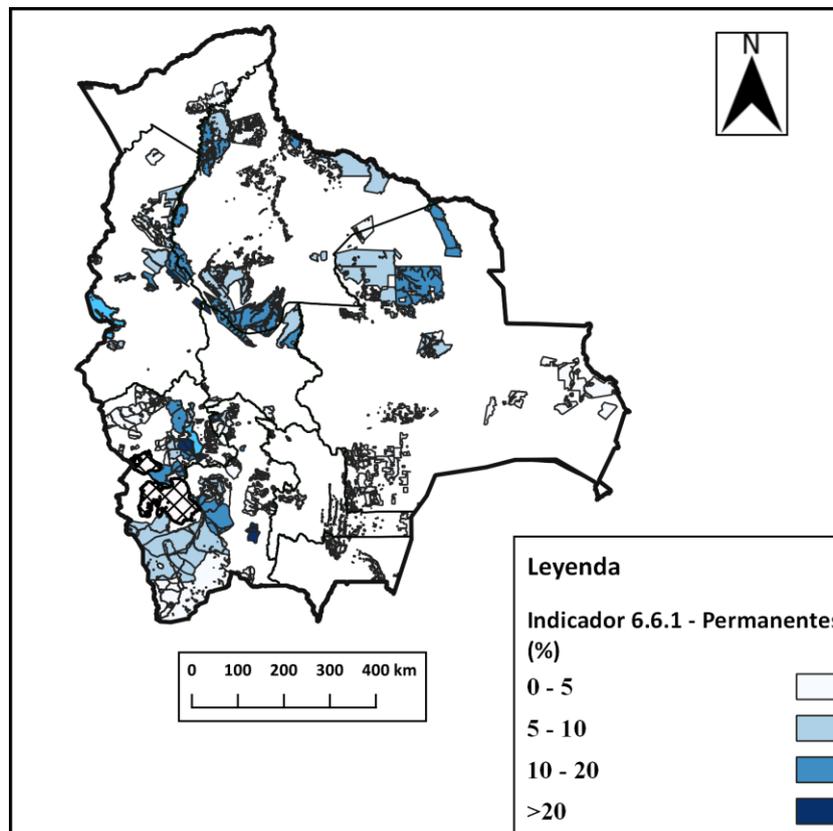
Figura 9. Mapa de proporción de grandes cambios en aguas estacionales en Territorios Indígenas



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, considerando las cuencas hidrográficas de aguas permanentes en estos territorios es que se puede observar que nuevamente, gran parte de la concentración de grandes cambios se da en la región altiplánica, específicamente en los departamentos de Oruro y Potosí. Adicionalmente, es necesario destacar que una importante proporción de los porcentajes más altos se ubican en la parte norte del departamento de Santa Cruz y en los límites departamentales de Beni con Cochabamba y Pando.

Figura 10. Mapa de proporción de grandes cambios en aguas permanentes en Territorios Indígenas



Fuente: Elaboración propia.

Una vez analizado el espectro general de la situación de las aguas superficiales en Territorios Indígenas, es posible realizar un análisis sobre cuáles son los Territorios Indígenas que mayor fluctuación positivos y negativos presentaron respecto a sus cuencas.

En este sentido, la tabla 9 desagrega estos cambios positivos para aguas estacionales y permanentes para los 10 municipios con mayor proporción de cuencas que experimentaron grandes cambios. En primera instancia se puede observar un mayor porcentaje para las aguas estacionales en comparación a su contraparte, pero a su vez un menor número de cuencas.

Tabla 9. Los 10 primeros Territorios Indígenas con mayor proporción de grandes cambios positivos

Estacional			Permanente		
Nombre Fundación Tierra	Porcentaje	Nro. de cuencas	Nombre Fundación Tierra	Porcentaje	Nro. de cuencas
Demanda TCO Payamaya	100	1	Territorio del Pueblo Indígena Yaminahua Machineri	50.0	6
Territorio de la Comunidad Originaria Chorocona	50.0	2	Territorio del ayllu Jatun T'ulla	27.3	11
Territorio de la Marka Leque	50.0	2	Territorio del Ayllu Cala Cala	25.0	4
Territorio del Ayllu Kollana	50.0	2	Territorio de los Ayllus Originarios de Totora	22.2	9
Sindicato Agrario Corralon	37.5	8	Territorio Chiquitano de Monte Verde	16.7	12
Territorio de los Ayllus de Talina	33.3	12	Territorio del Pueblo Yuqui	14.3	28
Territorio de los Ayllus Originarios de Totora	33.3	9	Territorio del Ayllu Qaña Alta y Baja	14.3	7
Territorio del Ayllu Majasaya Mujlli	33.3	6	Asociación Comunitaria Ayllu Santiago de Machaca	14.3	7
Territorio del valle Killaka Pojpo	30.0	10	Territorio Guarasugwe Chiquitano del Bajo Paragua	13.9	36
Asociación Comunitaria Ayllu Santiago de Machaca	28.6	7	Territorio del Ayllu Sikuya	13.3	15

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de los grandes cambios negativos es que se debe destacar los porcentajes de aguas estacionales, donde a excepción del territorio indígena ‘Ayllus Ayoza y Tauqa’ que cuenta con una pérdida del 100% de su extensión en el periodo 2017-2021 para su única cuenca, el resto de los porcentajes no superan el 15%. En el caso de las aguas permanentes es que se cuenta con un ligero mayor porcentaje y número de cuencas, lo cual puede ser un indicativo de

que las cuencas de aguas permanentes de los Territorios Indígenas presentan un declive moderado en la extensión de sus recursos hídricos.

Tabla 10. Los 10 Territorios Indígenas con mayor proporción de grandes cambios negativos

Estacional			Permanente		
Nombre Fundación Tierra	Porcentaje	Nro. de cuencas	Nombre Fundación Tierra	Porcentaje	Nro. de cuencas
Territorio de los Ayllus Ayoza y Tauqa	100	1	Territorio del Pueblo Originario de Orinoca	37.0	27
Territorio de la Comunidad Pacollani	12.5	8	Territorio de la Marka Killaka	26.9	26
Territorio del Ayllu Primera Cabeza Tapacarí	12.5	8	Territorio Mosestén	25.8	31
Ayllu Yuruna	10.8	37	Territorio del Ayllu Huayllatiri Aransaya	25.0	4
Territorio de la Comunidad Cantón Lucumpaya	10.0	10	Territorio de Ayllus Originarios de Yawisla	20.0	5
Territorio Indígena del Pueblo Guarayo	9.5	42	Territorio del Ayllu Saucari	15.8	57
Territorio de la Marka Lagunillas	9.1	11	Territorio de la Marka Salinas	15.2	46
Territorio Indígena Takana III	8.9	45	Territorio del Ayllu Sikuya	13.3	15
Territorio Uru Murato	8.7	23	Territorio del Ayllu Chullpa	12.5	16
Territorio del Ayllu Andamarca	7.7	26	Territorio Indígena Takana III	11.1	45

Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión y conclusiones

En el presente documento se estimó el indicador 6.6.1 de los ODS, el cual monitorea los cambios en la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua con el paso del tiempo. Se analizó la proporción de cuencas pertenecientes a los 339 Municipios y 197 Territorios Indígenas del país que experimentaron grandes cambios positivos y negativos en la extensión de sus aguas permanentes y estacionales, exceptuando del análisis los lagos Poopó y Titicaca debido a que no pertenecen a ningún municipio ni territorio indígena. Se siguió la metodología propuesta por la UNEP en el informe “*Progress on Freshwater Ecosystems. Global indicator 6.6.1 updates and acceleration rates*”. Dicha metodología se basa en la clasificación de las distintas cuencas hidrográficas dentro de tres categorías: **i)** Grandes aumentos, **ii)** Grandes disminuciones, y **iii)** Limitados a no cambios. En el trabajo llevado a cabo se modifican los nombres de las etiquetas de estas categorías y se adicionan dos posibles clasificaciones (No calculados y Sin cambios), debido a las características de los datos y la amplitud del análisis. La elección de la distribución probabilística de Laplace por encima de la distribución gaussiana para la transmutación de los datos se debió a que permite modelar de mejor forma bases de datos con valores extremos o con una alta concentración de observaciones alrededor de un rango de valores en particular, lo que favorece a la precisión de los puntos de corte y clasificaciones obtenidas.

Para el cálculo de las proporciones a nivel municipal y de territorios indígenas es que se toma en cuenta en primera instancia el número de cuencas total dentro de cada área, posteriormente se analiza la clasificación de este total de cuencas en las 5 categorías propuestas y se calcula la proporción correspondiente.

El indicador y subindicadores obtenidos para los municipios muestran que hay un mayor número de cuencas que presentan grandes cambios positivos, se reportaron 31 municipios, en el caso de aguas permanentes, y 63 municipios, en el caso de aguas estacionales, con una proporción de grandes cambios positivos iguales o superiores al 20%. Por otra parte, se tienen 31 y 13 municipios, para aguas permanentes y estacionales respectivamente, con grandes cambios negativos iguales o superiores al 20%.

En cuanto a aguas estacionales, a nivel municipal, el departamento de Chuquisaca cuenta con la mayor proporción de estos cambios, seguido de Potosí. Por otra parte, Cochabamba y La Paz fueron los departamentos que presentaron la mayor proporción de grandes cambios negativos. Respecto a aguas permanentes, al igual que en el caso anterior, La Paz es uno de los departamentos donde se observa mayor proporción de grandes cambios negativos, acompañado de Oruro. De la misma manera que en aguas estacionales, Chuquisaca y Potosí reportan la mayor proporción de grandes cambios positivos en aguas permanentes, además de Santa Cruz y Tarija.

Por otro lado, los resultados hallados en los Territorios Indígenas cuentan con una gran parte de las cuencas de aguas estacionales y permanentes dentro de las categorías de ‘Sin cambios’ y ‘Cambios no significativos’, los cuales representan el 85.3% de forma agregada para aguas estacionales y de 90.4% para permanentes. Comparativamente estos porcentajes son superiores a los resultados municipales, cuyo porcentaje para el subindicador de aguas estacionales es del

80.5%, y del 79.3% en el caso de permanentes. Sin embargo, al referirnos a las proporciones de grandes cambios, positivos y negativos, se encontró que hay un mayor número de cuencas de aguas estacionales que experimentaron grandes cambios positivos en comparación a los cambios negativos, siendo el promedio de cambios positivos igual a 7.1% y de 1.7% para negativos. La situación para las cuencas de aguas permanentes es similar, pero con una menor diferencia, con un porcentaje promedio igual a 2.3% para cambios positivos y de 2.0% para negativos.

La estimación del indicador permite la identificación de cuencas y ecosistemas cuyos ciclos hídricos naturales están sufriendo algún tipo de perturbación y que requieren de una evaluación más profunda para identificar las causas y consecuencias de estas perturbaciones tanto en los ecosistemas como en las comunidades que dependen de ellos. Con esto, se pretende contribuir a una mejor gestión y preservación de los recursos hídricos de los Municipios y Territorios Indígenas de Bolivia, y al alcance de los objetivos y metas de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Este indicador cobra aún mayor importancia en el país, dado que es el primer indicador relacionado a los cambios en la extensión de las aguas superficiales de forma desagregada a nivel regional y local.

5. Recomendaciones

En base a los resultados encontrados se sugiere profundizar el conocimiento sobre el estado de los recursos hídricos en Municipios y Territorios Indígenas que presentan altos índices de este indicador. Se sugiere igualmente la incorporación de los resultados presentados en la planificación e implementación de programas y medidas que sean llevados a cabo no solo en el Plan Nacional de Cuencas, sino en todos aquellos relacionados a mejorar el manejo y gestión de los recursos hídricos nacionales.

En términos metodológicos, se aconseja tomar en cuenta el número de cuencas totales con las que cuentan los municipios y territorios indígenas al observar la proporción de cambios de estos, dado que existen situaciones en las que se presenta un número de cuencas bastante reducido. Además, un análisis en mayor profundidad sobre los casos clasificados como “No Calculados” puede resultar de gran utilidad, dado que representan un número considerable de cuencas respecto al total. Se sugiere tomar en cuenta otras medidas de tendencia central más sensibles a los valores atípicos para poder reducir el número de estos casos.

Referencias

Álvarez, G., y Laako, H. (2015). *Entre recursos y riesgos compartidos: La necesaria construcción de una visión crítica de cuenca transfronteriza en el río Grijalva. Frontera norte*, 27(54), 73-98.

- Abramowitz, M. y Stegun, I. A. (1972). *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables*, 9th printing. New York: Dover.
- Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS). (2022). *Compendio de Fichas de Metadatos: Variables e Indicadores de desempeño de la AAPS*.
- Fundación Tierra. (2011). Informe 2010 Territorios Indígena Originario Campesinos en Bolivia. <http://www.sbda.org.bo/web/MV/base%20de%20datos/AutoPlay/Docs/informe%202010%20fundacion%20terra.pdf>
- Instituto Francés de investigación científica para el desarrollo en cooperación. (1997). *El ORSTOM en Bolivia ayer y hoy*. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers19-09/010057465.pdf
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2014). *Guía para la Elaboración de Proyectos de Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Manejo Integral de Cuencas (GIRH/MIC)*. <https://www.bivica.org/files/elaboracion-proyectos-girh-mic.pdf>
- Jean-Francois Pekel, Andrew Cottam, Noel Gorelick, Alan S. Belward. (2016). *High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes*. Nature 540, 418-422. [doi:10.1038/nature20584](https://doi.org/10.1038/nature20584)
- Malky A. y Mendizabal C. (2018). *Bosques, agua y biodiversidad en Bolivia: un enfoque desde la economía para la conservación*. Los desafíos del desarrollo productivo en el siglo XXI. 1. 347-376.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2022). *Plan sectorial de desarrollo integral para vivir bien PSDI 2021-2025*. https://www.mmaya.gob.bo/wp-content/uploads/2022/11/PSDI-2021-2025-4_compressed.pdf
- Naciones Unidas. (s.f). *Objetivos de desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Órgano Ejecutivo del Estado Plurinacional de Bolivia. (6 de diciembre de 2010). *Decreto Supremo N° 727*.
- Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418–422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- RAISG. (2020). *Amazonía bajo presión* (G. Faleiros (ed.); 1st ed.). ISA - Instituto

Socioambiental.

Raoul, K. (2015). *Can glacial retreat lead to migration? A critical discussion of the impact of glacier shrinkage upon population mobility in the Bolivian Andes*. *Population and Environment*, 36(4), 480–496. <https://doi.org/10.1007/s11111-014-0226-z>

Saavedra, C. (2021). *Análisis sobre el Plan Nacional de Cuencas (PNC: 2006-2020) y recomendaciones para la formulación del Plan GIRH (2021-2030) y los Programas Plurianuales de Cuencas, Recursos Hídricos y Riego (2021-2025)*. Viceministerio de recursos hídricos y Riego. [https://www.bivica.org/files/5987_07.%20An%C3%A1lisis%20sobre%20el%20Plan%20Nacional%20de%20Cuencas%20\(PNC%202006-%202020\).pdf](https://www.bivica.org/files/5987_07.%20An%C3%A1lisis%20sobre%20el%20Plan%20Nacional%20de%20Cuencas%20(PNC%202006-%202020).pdf)

UNICEF. (2019). *Adaptación al cambio climático*. <https://www.unicef.org/bolivia/adaptaci%C3%B3n-al-cambio-clim%C3%A1tico>

United Nations Environment Programme (2021). *Progress on freshwater ecosystems: tracking SDG 6 series – global indicator 6.6.1 updates and acceleration needs*.

Vergara, W., Deeb, A. M., Valencia, A. M., Bradley, R. S., Francou, B., Zarzar, A., Grünwaldt, A., y Haeussling, S. M. (2007). *Economic impacts of rapid glacier retreat in the Andes*. *Eos*, 88(25), 2–4. <https://doi.org/10.1029/2007EO250001>

Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego. (2017). *Programa Plurianual de Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Manejo Integral de Cuencas 2017-2020*. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1157/1/Ministerio%20medio%20ambiente-Cuencas.pdf>

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). 2017. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París, UNESCO.