



Análisis Técnico del Balance Hídrico de la Microcuenca del río Marchala, Ocotepeque, Honduras

Elaborado por: Sindy Leverón, Elmer Recinos, Jaime Sandoval y Jennifer Alberto

Instituciones: Alianza de Bioversity International y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Comisión Trinacional del Plan Trifinio – Proyecto “Fomentando la Seguridad Hídrica en la Región del Trifinio”

Fecha: Julio 2025



1. Introducción

El presente documento técnico tiene como objetivo principal presentar el análisis del balance hídrico de la microcuenca del río Marchala, ubicada en el municipio de Ocotepeque, departamento de Ocotepeque en el occidente de Honduras. El agua es un recurso vital para la vida y el desarrollo local, por lo cual su disponibilidad, calidad y manejo sostenible son temas prioritarios para la seguridad hídrica de las comunidades y para la planificación institucional.

Es relevante destacar que la microcuenca del río Marchala abastece a varias comunidades rurales y zonas agrícolas del municipio de Ocotepeque. Por ende, el estado actual y futuro de esta microcuenca tiene implicaciones directas sobre la seguridad hídrica local, la producción agropecuaria y la conservación ambiental, siendo fundamental su protección y manejo adecuado para garantizar el bienestar de las generaciones presentes y futuras

Este análisis permite conocer la disponibilidad del recurso hídrico en diferentes épocas del año, identificar sus usos principales y las presiones que enfrenta la microcuenca, así como evaluar su vulnerabilidad frente a amenazas naturales y actividades humanas. La información contenida en este informe está dirigida a fortalecer la toma de decisiones a nivel comunitario e institucional, promoviendo una gestión más equitativa, eficiente y resiliente del agua.

Para llevar a cabo este estudio del balance hídrico, se contó con el valioso apoyo del proyecto “Fomentando la Seguridad Hídrica en la Región del Trifinio”, financiado por la Organización de Estados Americanos (OEA). Este esfuerzo colaborativo incluyó la participación de la Municipalidad de Ocotepeque, la Oficina Territorial del Plan Trifinio, El Instituto de Conservación Forestal (ICF) y diversas organizaciones comunitarias de las áreas de influencia. Gracias a esta alianza, se logró desarrollar un enfoque integral y participativo para abordar los desafíos relacionados con la gestión del agua en la región

La información aquí disponible ha sido generada a partir de datos y herramientas disponibles en la plataforma [Agua de Honduras](#), combinando análisis hidrológicos con la implementación en campo del [Protocolo para la caracterización de demandas hídricas](#). Aunque toda esta información está disponible en la plataforma, el presente documento ha sido elaborado con fines explicativos y de divulgación, con el propósito de facilitar su comprensión, interpretación y aplicación por parte de usuarios locales, técnicos y tomadores de decisión.

2. Objetivos

Objetivo general

Evaluar el balance hídrico de la microcuenca del río Marchala, en el municipio de Ocotepeque, con el propósito de generar información técnica confiable que oriente la planificación territorial, fortalezca la gestión sostenible del recurso hídrico y contribuya a la toma de decisiones informadas a nivel comunitario, institucional y gubernamental.

Objetivos específicos

- Cuantificar la oferta y demanda hídrica mensual, identificando patrones estacionales y periodos críticos de escasez o excedente que permitan anticipar riesgos y ajustar el manejo del recurso.
- Identificar los principales usos del agua y su distribución espacial dentro de la microcuenca.
- Evaluar el nivel de presión sobre el recurso hídrico mediante el cálculo y análisis del índice de escasez hídrica, considerando la relación entre disponibilidad y demanda en distintos escenarios climáticos.

3. Generalidades de la Microcuenca Marchala

La microcuenca del río Marchala forma parte de la cuenca del río Lempa y abarca un área aproximada de 1,061.13 hectáreas (ver Tabla 1 y Figura 1). Se localiza en el departamento de Ocotepeque, Honduras, y presenta un relieve montañoso, con suelos susceptibles a la erosión y zonas ambientalmente frágiles.

Tabla 1. Generalidades de la microcuenca

ID	NOMBRE	CUENCA	SUBCUENCA	ÁREA (HA)
2401023	Microcuenca Río Marchala	Lempa	Lempa	1,061.13

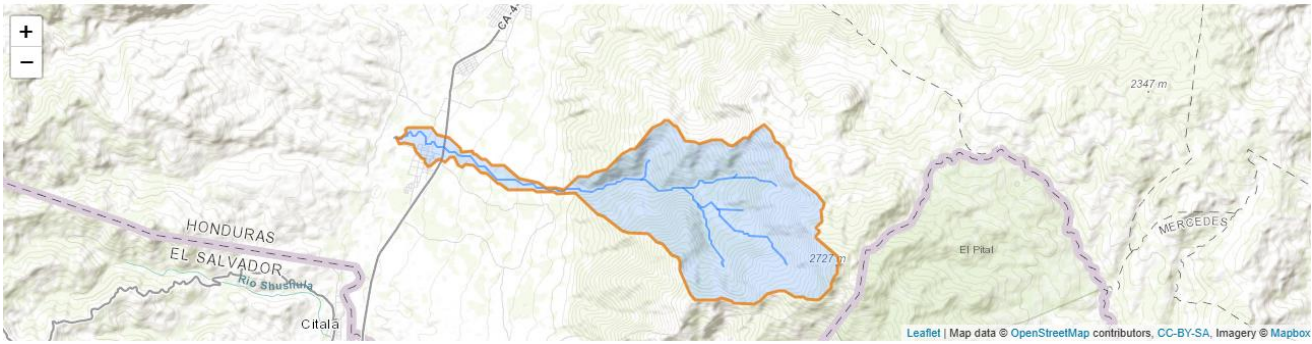


Figura 1. Límite de la microcuenca Marchala

Los suelos predominantes en la microcuenca presentan una textura franco-arenosa, con buen drenaje, pero alta susceptibilidad a la erosión, especialmente en zonas sin cobertura vegetal. El contenido de materia orgánica varía ampliamente, lo que refleja diferencias en el manejo y conservación del suelo. Además, el número de curva promedio (58) indica una condición intermedia entre infiltración y escorrentía, que podría mejorarse con prácticas de manejo del paisaje. La Tabla 2 presenta un resumen de estos indicadores clave en la microcuenca.

Tabla 2. Características biofísicas de la microcuenca Marchala

Característica	Mínimo	Promedio	Máximo
Elevación (m)	725.70	1,691.56	2,718.98
Pendiente (%) ⓘ	0.14	53.98	186.19
Arena (%)	35.79	43.33	50.35
Limo (%)	22.02	34.09	40.74
Arcilla (%)	16.37	22.59	35.27
Materia orgánica (%)	2.69	6.89	13.39
Número de curva (I, II y III) ⓘ	38.96	58.30	76.72

La topografía de la microcuenca es sumamente variada, con elevaciones que oscilan entre 726 m y 2,720 m sobre el nivel del mar. Esta diversidad altitudinal influye en los patrones de uso del suelo, la biodiversidad y el comportamiento hidrológico del territorio. Su morfología alargada y estrecha, con un bajo factor de forma (0.13) y un coeficiente de compacidad de 1.90, le confiere una configuración tipo embudo, propiciando una rápida concentración de escorrentía hacia las partes bajas de la cuenca, con alto riesgo de inundaciones (ver Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros morfométricos de la microcuenca Marchala.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área	A	ha	1,061.22
Perímetro	P	km	21.95
Longitud del cauce	L	km	8.98
Coeficiente de compacidad	K _c	-	1.90
Diferencia de elevación	DE	m	1,993.28
Altura máxima	HM	m	2,718.98
Altura mínima	Hm	m	725.70
Densidad de drenaje	D _d	m/m ²	1.24E-3
Factor de forma	K _f	-	0.13

La baja densidad de drenaje (1.24E-3 m/m²) evidencia una red hidrográfica poco ramificada, lo cual destaca la importancia de proteger las zonas de recarga hídrica y reducir el escurrimiento superficial mediante estrategias integradas de conservación de suelos, restauración forestal y manejo del agua.

Principales amenazas identificadas

Durante el análisis de campo y revisión técnica en la microcuenca del río Marchala, se identificaron tres amenazas principales (ver Figura 2) que afectan de manera significativa la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, así como la estabilidad ambiental y social del territorio.

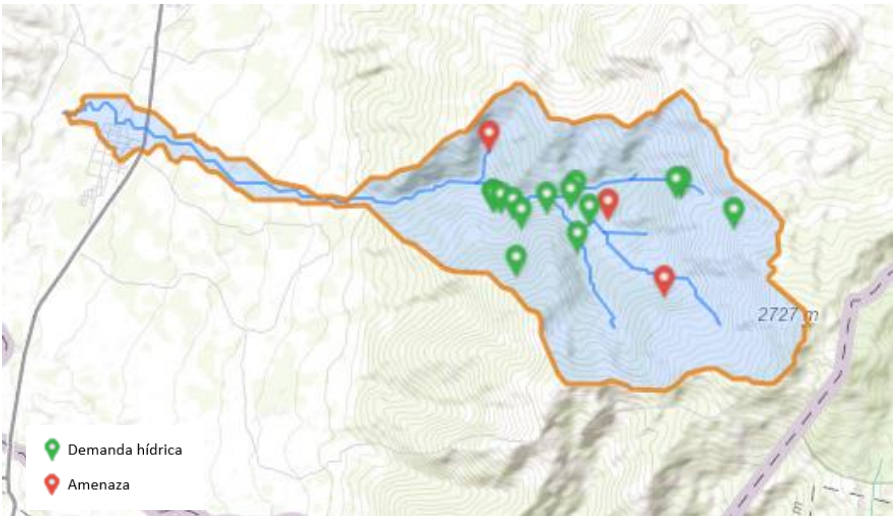


Figura 2. Ubicación de amenazas en la microcuenca

- **Falla geológica – Deslizamiento:** Se localiza en un área de gran visibilidad en la microcuenca y representa un riesgo alto debido al movimiento de grandes volúmenes de grava y rocas. Este material puede formar represamientos temporales que generan inundaciones aguas abajo y afectan infraestructura y medios de vida.
- **Deforestación generalizada:** Es una amenaza de alta magnitud que se presenta a lo largo de toda la microcuenca, pero que se manifiesta con mayor intensidad en ciertos sectores. Las causas principales incluyen el avance de la frontera agrícola y prácticas de uso del suelo sin medidas de conservación, lo cual provoca pérdida de cobertura vegetal, incremento de la escorrentía, erosión, menor recarga hídrica y mayor vulnerabilidad ante sequías e inundaciones.
- **Ampliación de la frontera agrícola:** Esta amenaza se concentra especialmente en los bordes de la zona núcleo del área protegida El Pital, donde se ha observado el avance de actividades agropecuarias hacia zonas sensibles. Esta expansión genera pérdida de vegetación, erosión en laderas y sedimentación en fuentes de agua.

Estas amenazas requieren ser abordadas de manera integral y participativa, articulando esfuerzos comunitarios, institucionales y técnicos. Solo así será posible garantizar la sostenibilidad hídrica, ecológica y social de la microcuenca Marchala a largo plazo.

4. Caracterización Climática

El clima de la microcuenca del río Marchala se caracteriza por una marcada estacionalidad, con una estación seca que se extiende de enero a abril, y una temporada lluviosa que comprende los meses de mayo a noviembre (ver Figura 3). Esta distribución estacional de la lluvia condiciona de forma significativa la disponibilidad hídrica y la planificación de actividades agrícolas y domésticas.

- Precipitación anual promedio: 2,108 mm
- Mes más lluvioso: Junio, con un promedio de 341 mm de precipitación mensual.
- Mes más seco: Febrero, con apenas 26 mm de precipitación.
- Rango de precipitación durante la estación seca (enero a abril): Entre 39 y 52 mm mensuales, evidenciando una disponibilidad muy limitada de agua superficial en ese período.

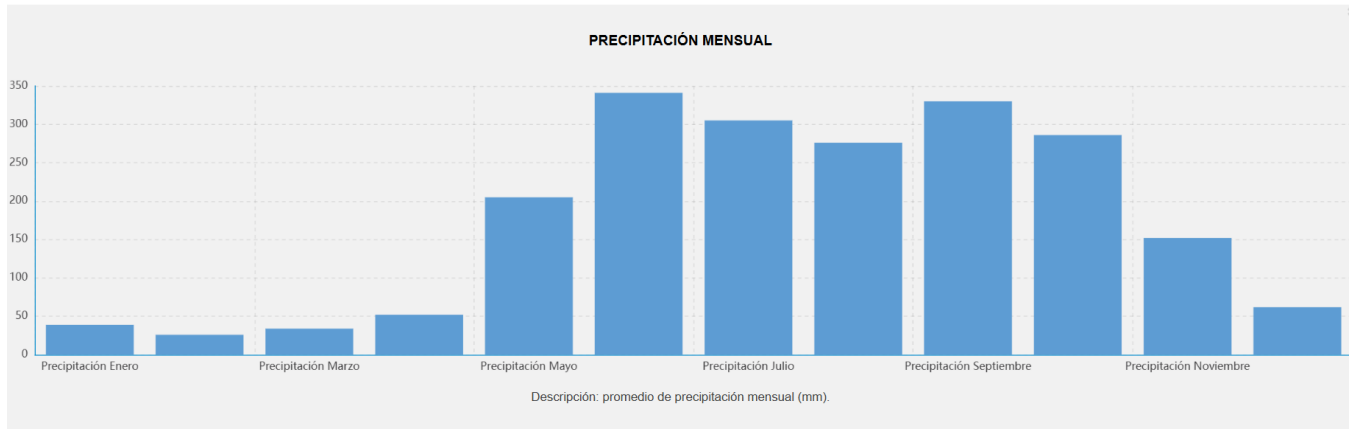


Figura 3. Grafica de precipitación mensual durante el año

Los datos muestran que la mayor parte del agua (50.79%) se infiltra al suelo, lo que podría indicar una buena capacidad de recarga subterránea en la microcuenca. La evapotranspiración representa un 43.49%, reflejando condiciones climáticas y cobertura vegetal que favorecen el retorno de agua a la atmósfera. Por otro lado, la escorrentía superficial apenas representa el 5.71%, lo cual podría ser indicativo de una buena capacidad de retención del agua en el suelo, aunque también puede reflejar la necesidad de monitorear cambios en el uso del suelo (como deforestación o ampliación agrícola) que podrían aumentar este porcentaje y generar mayores riesgos de erosión o pérdida de suelo fértil (ver Figura 4).

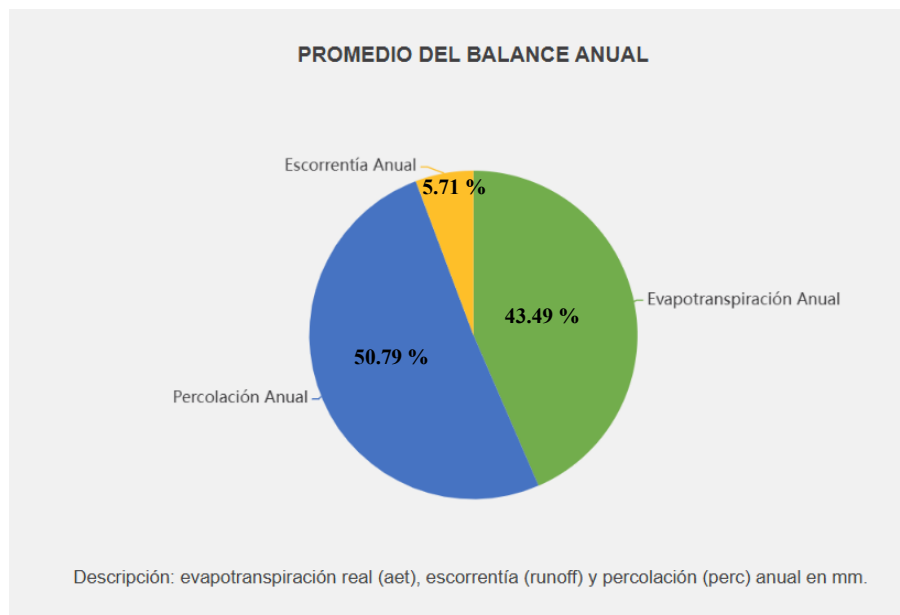


Figura 4. Grafica del promedio del balance anual

En conjunto, estos datos revelan un comportamiento hídrico balanceado pero sensible a cambios en cobertura y uso del suelo, por lo que es clave mantener prácticas de conservación que favorezcan la infiltración y reduzcan la escorrentía superficial.

En cuanto a la temperatura la microcuenca Marchala presenta un clima templado, con una temperatura promedio anual de 21.44 °C, lo cual es favorable para diversos cultivos y la comodidad humano. La temperatura máxima promedio alcanza los 26.14 °C, mientras que la mínima promedio desciende a 16.70 °C, indicando una amplitud térmica moderada. Estas condiciones reflejan un entorno climático estable, aunque sensible a cambios en cobertura vegetal o altitud.

5. Balance Hídrico

5.1. Oferta hídrica mensual (l/s y m³/s)

La oferta hídrica presentada en esta sección ha sido obtenida de la Plataforma Agua de Honduras, la cual se fundamenta en información oficial del país y emplea una base de datos histórica con una línea base de 15 años (2000–2014). Este periodo prolongado de análisis otorga mayor representatividad y confiabilidad a los datos, constituyendo un insumo clave para la planificación hídrica y la toma de decisiones en la microcuenca.

La oferta hídrica corresponde al volumen de agua superficial disponible naturalmente en la microcuenca del río Marchala, expresada en dos unidades diferentes (l/s y m³/s) (ver Tabla 4). Esta información permite identificar las variaciones estacionales del recurso a lo largo del año, lo cual es esencial para planificar el uso del agua según los distintos sectores de demanda.

Tabla 4. Estimación mensual promedio de la oferta hídrica

Mes	Oferta hídrica (l/s)	Oferta hídrica (m³/s)
Enero	370.86	0.37086
Febrero	288.50	0.28850
Marzo	226.48	0.22648
Abril	179.67	0.17967
Mayo	217.00	0.21700
Junio	442.67	0.44267
Julio	531.30	0.53130
Agosto	579.44	0.57944
Septiembre	706.21	0.70621
Octubre	745.27	0.74527
Noviembre	631.66	0.63166
Diciembre	494.46	0.49446

Como se observa, los meses con mayor oferta hídrica corresponden a los meses de junio a diciembre (muy similar a la temporada lluviosa), alcanzando su punto máximo en octubre con 745.27 l/s. Por otro lado, los meses de menor disponibilidad coinciden con la estación seca, siendo abril el mes más crítico con apenas 179.67 l/s. Esta variabilidad estacional debe ser considerada al momento de diseñar estrategias de gestión y distribución del recurso hídrico en la microcuenca.

5.2. Demanda hídrica mensual (l/s y m³/s)

Para **estimar** la demanda hídrica de la microcuenca se implementó el [Protocolo para la Caracterización de Demanda Hídrica por Microcuenca](#), el cual combina herramientas participativas y trabajo técnico de campo. Como parte del proceso, se llevaron a cabo talleres de socialización y cartografía social con actores clave de la microcuenca (ver Figura 5), que permitieron identificar y comprender de forma participativa los distintos tipos de usuarios del agua, sus principales usos, obras toma, sistemas de almacenamiento y zonas con conflictos o problemáticas relacionadas con el recurso hídrico.



Figura 5. Taller de socialización y cartografía social

Con base en este proceso metodológico, se consolidó una estimación mensual de la demanda hídrica total, la cual se distribuye según diferentes usos: doméstico, agrícola, pecuario, comercial, turístico, industrial e institucional. La Tabla 5 muestra el desglose mensual de la demanda total en litros por segundo (l/s), desagregada por tipo de uso:

[illegible]

		Demanda Total de Agua (l/s)												
Microcuenca	Uso	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2401026	Turístico	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2401026	Industrial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2401026	Institucional	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Total		76.34	92.60	127.26	118.98	101.39	66.95	72.87	76.20	60.81	56.54	60.76	66.51	81.44

Como se muestra en la Tabla 5, el uso agrícola representa aproximadamente el 81% de la demanda total de agua en la microcuenca, seguido por el uso doméstico con un 19%. Los demás usos (comercial, institucional) presentan una participación mínima, prácticamente imperceptible en los porcentajes reportados. No se reportan usos turísticos, industriales ni pecuarios en la zona.

Este comportamiento se explica por las condiciones productivas de la microcuenca, donde existen aproximadamente 153 manzanas bajo riego dedicadas principalmente al cultivo de hortalizas, así como diez (10) comunidades abastecidas (El Guarín, Santa Rita, Los Morros, San Francisco, Pie del Cerro, La Antigua, Azacualpa, Nueva Esperanza, Bella Vista y El Cipresal), con una población total estimada de 5,429 personas y la presencia de al menos ocho (8) centros educativos.

La Figura 7 muestra visualmente la distribución porcentual de la demanda hídrica por tipo de uso, destacando la significativa presión que ejerce la actividad agrícola sobre los recursos hídricos locales.

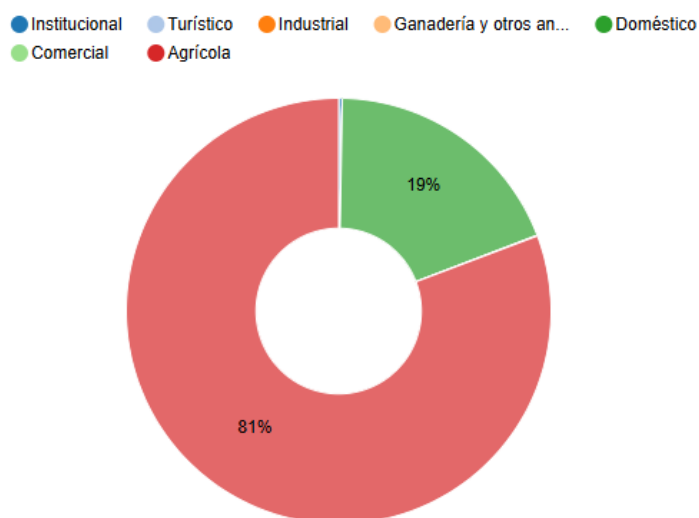


Figura 7. Gráfico de demanda hídrica por tipo de uso

5.3. Resultados del balance mensual (m³/s)

El balance hídrico mensual se calcula como la diferencia entre la oferta hídrica disponible y la demanda total registrada (ver Tabla 6). Este balance permite identificar los meses con excedentes o posibles tensiones en la disponibilidad del recurso.

Tabla 6. Balance hídrico mensual en la microcuenca del río Marchala

Mes	Oferta hídrica de cuenca de aporte (l/s)	Oferta hídrica (l/s)	Demanda hídrica (l/s)	Balance hídrico (l/s)
Enero	370.86	370.86	76.34	294.52
Febrero	288.50	288.50	92.60	195.90
Marzo	226.48	226.48	123.98	102.50
Abril	179.67	179.67	127.26	52.41
Mayo	217.00	217.00	101.39	115.61
Junio	442.67	442.67	66.95	375.72
Julio	531.30	531.30	72.87	458.43
Agosto	579.44	579.44	76.20	503.23
Septiembre	706.21	706.21	60.81	645.40
Octubre	745.27	745.27	56.54	688.73
Noviembre	631.66	631.66	60.76	570.90
Diciembre	494.46	494.46	66.51	427.95

En todos los meses del año, el balance hídrico es positivo, lo que indica que la microcuenca cuenta con disponibilidad de agua para atender la demanda registrada. Sin embargo, los meses de marzo y abril presentan los márgenes más reducidos (ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.), por lo que cualquier incremento en la demanda o disminución en la oferta futura podría poner en riesgo el abastecimiento, especialmente para usos domésticos y agrícolas.

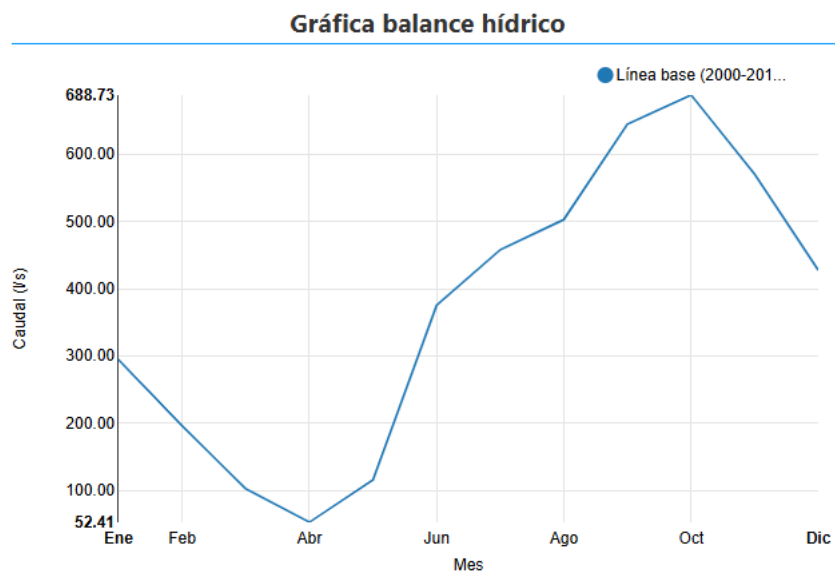


Figura 8. Comportamiento del balance hídrico de la microcuenca

5.4. Análisis de estacionalidad

El análisis del balance hídrico mensual de la microcuenca del río Marchala muestra una marcada variabilidad estacional a lo largo del año. La oferta hídrica es significativamente mayor en los meses de temporada lluviosa (junio a noviembre), alcanzando su punto máximo en octubre (745.27 l/s), mientras que los valores más bajos se registran en la época seca, especialmente en marzo (226.48 l/s) y abril (179.67 l/s) (ver Figura 9).

Esta variación es crucial para la planificación y gestión del recurso hídrico, ya que la demanda se mantiene relativamente constante o incluso se incrementa en los meses secos debido al requerimiento de riego para cultivos. Si bien el balance hídrico mensual es positivo durante todo el año, los márgenes se reducen significativamente en los meses de marzo y abril, donde el balance neto es de apenas 102.5 l/s y 52.41 l/s, respectivamente.

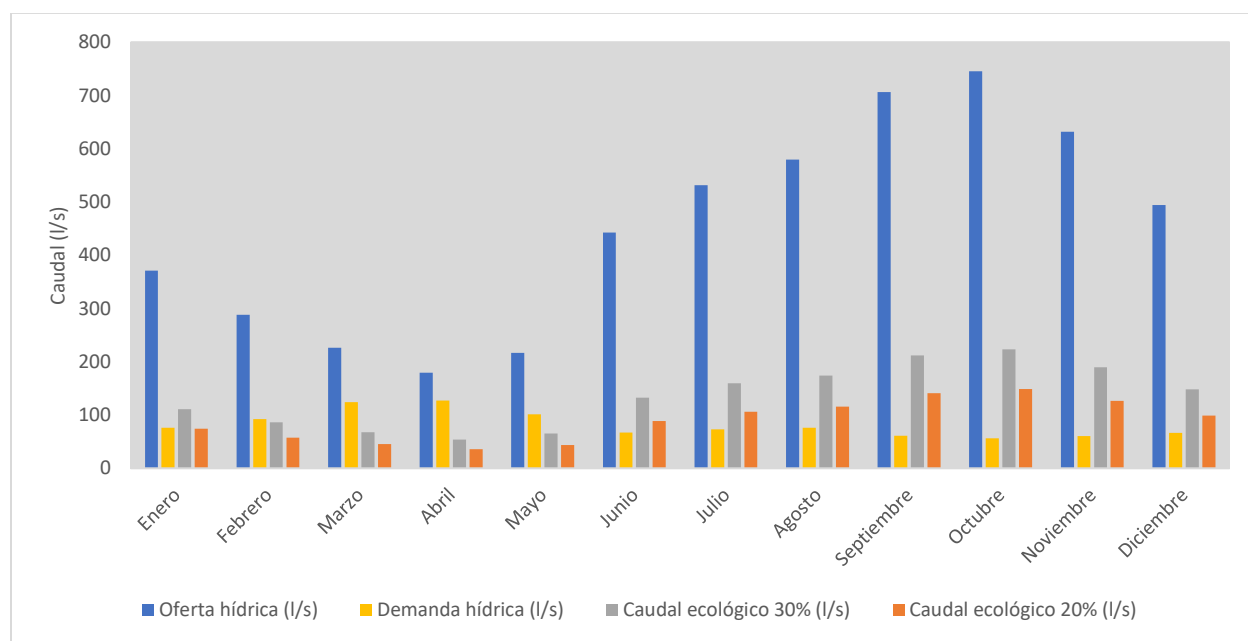


Figura 9 Comparativo de oferta, demanda y caudal ecológico por mes

La gráfica también incorpora dos umbrales de caudal ecológico, estimados como el 20 % y 30 % de la oferta hídrica mensual, que representan flujos mínimos necesarios para mantener las funciones ecológicas básicas del ecosistema acuático.

Durante la época seca (especialmente entre febrero y mayo), se observa que los niveles de demanda hídrica superan el umbral del 30 %, lo que indica un riesgo para el mantenimiento del caudal ecológico, así como también el abastecimiento doméstico y agrícola. En cambio, entre junio y noviembre, la demanda hídrica es superada por ambos umbrales ecológicos, garantizando una mayor resiliencia de los ecosistemas acuáticos.

En el mes de abril se presenta un caso crítico, donde el balance hídrico disponible (52.41 l/s) es inferior al caudal ecológico del 30% (53.90 l/s) (ver Figura 10). Esta situación representa una señal de alerta, ya que, ante una posible reducción en la oferta o un incremento de la demanda, podría no garantizarse el caudal necesario para el ecosistema ni para los usos de las poblaciones.

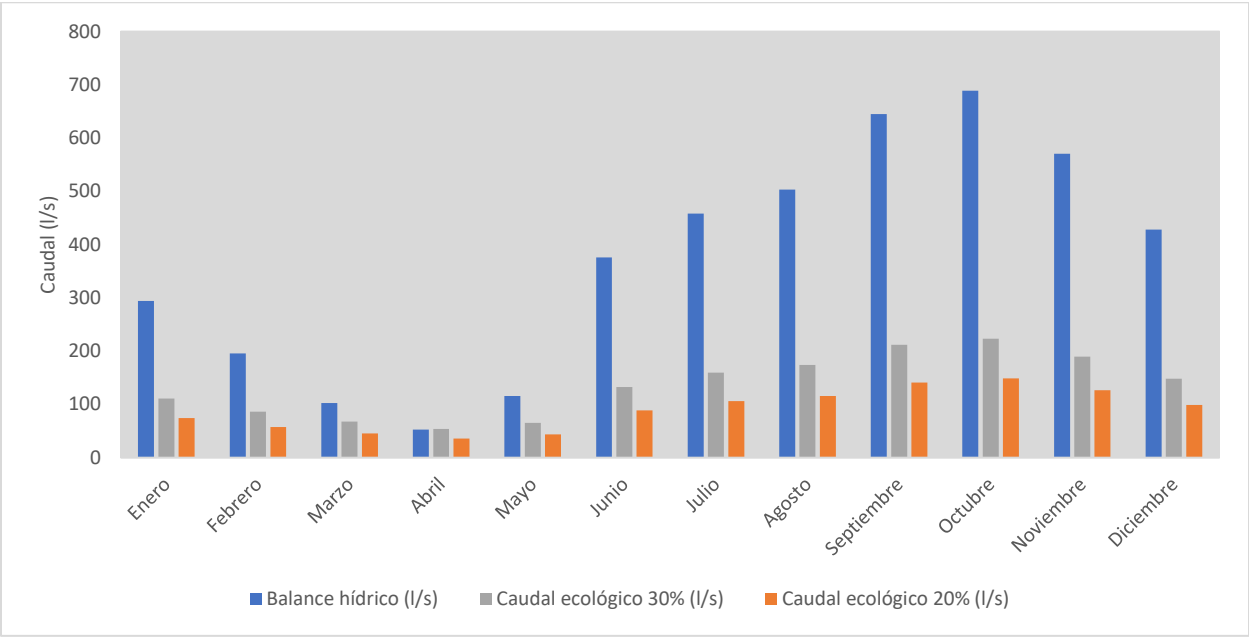


Figura 10. Comparativo balance hídrico y caudal ecológico

Esta información permite identificar meses críticos no solo para el abastecimiento humano, sino también para la conservación ambiental, aportando evidencia útil para la implementación de planes de manejo integral del recurso hídrico.

Para fortalecer este análisis y avanzar hacia una gestión hídrica más adaptativa, es fundamental el monitoreo periódico del caudal, tanto en la época seca como en la lluviosa. Esto permitirá validar los datos modelados, detectar cambios en la disponibilidad del agua a lo largo del tiempo y tomar decisiones oportunas para proteger el recurso y los ecosistemas asociados.

6. Índice de Escasez Hídrica

Con base en el balance hídrico mensual multianual de la microcuenca del río Marchala y aplicando la [metodología](#) del Índice de Escasez Hídrica del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), se identifica una condición de escasez **moderada** (ver

Tabla 7), ya que la demanda hídrica representa entre el 10% y el 20% de la oferta mensual disponible.

Tabla 7. Categorización y valoración del índice de escasez (fuente IDEAM 2004)

Categoría del índice de escasez	Porcentaje de la oferta hídrica utilizada	Color	Explicación
Alto	> 40 %	Rojo	Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico, denota una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y la demanda. En estos casos la baja disponibilidad de agua es un factor limitador del desarrollo económico.
Medio	20 – 40%	Naranja	Cuando los límites de presión exigen entre el 20 y el 40% de la oferta hídrica disponible es necesario el ordenamiento tanto de la oferta como de la demanda. Es menester asignar prioridades a los distintos usos y prestar particular atención a los ecosistemas acuáticos para garantizar que reciban el aporte hídrico requerido para su existencia. Se necesitan inversiones para mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos hídricos
Moderado	10 – 20%	Amarillo	Indica que la disponibilidad de agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo
Bajo	<10%	Verde	No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico

Esta categoría señala que la disponibilidad de agua comienza a ser un factor limitante para el desarrollo, especialmente en los meses de verano, como marzo y abril, donde se observa una mayor presión sobre el recurso.

Aunque el balance general es positivo, la tendencia de aumento en la demanda, combinada con factores como la variabilidad climática y la disminución de la cobertura vegetal, podría comprometer la sostenibilidad del recurso en el mediano plazo.

7. Escenarios de cambio

El análisis de escenarios permite anticipar cómo podría variar la disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río Marchala ante condiciones climáticas extremas, bajo proyecciones de cambio climático y cualquier otro cambio que pudiera darse en la microcuenca (aumento de la demanda, deforestación y reforestación, etc.). Esta información resulta clave para orientar la toma de decisiones sobre las acciones a implementar en la microcuenca, fortaleciendo así una gestión integral, preventiva y adaptativa del recurso hídrico.

7.1 Escenarios de eventos extremos: año húmedo y año seco

En la Figura 11 se representa el comportamiento del caudal mensual ante eventos climáticos extremos, tomando como referencia los años hidrológicos representativos de un año húmedo (2003) y un año seco (2006), en comparación con la línea base histórica (2000–2014).

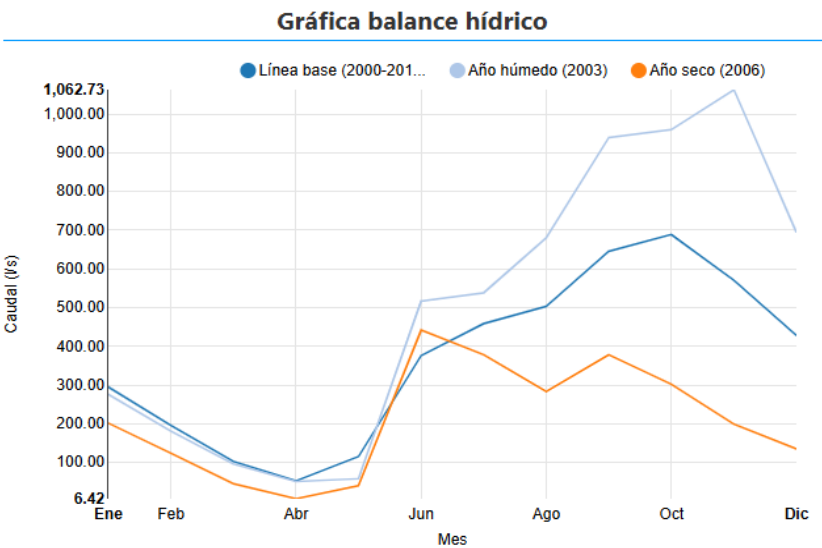


Figura 11. Comparación del caudal mensual: línea base vs. año húmedo y año seco

Los valores específicos de diferencia en litros por segundo (l/s) y porcentaje (%) para cada mes se detallan en la Tabla 8, la cual permite observar con precisión el aumento (↑) o disminución (↓) de la oferta hídrica respecto a la línea base.

Tabla 8. Diferencias mensuales en la disponibilidad de agua bajo escenarios de año húmedo y año seco respecto a la línea base (2000–2014)

Escenario	Unidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Línea base (2000-2014)	l/s	294.521	195.900	102.502	52.409	115.609	375.719	458.428	503.232	645.399	688.728	570.905	427.949
Año húmedo (2003)	l/s	-18.362	-14.690	-6.610	-1.495	-57.623	140.690	79.730	176.941	293.678	270.595	491.827	266.198
Año húmedo (2003)	%	↓ 6.23	↓ 7.5	↓ 6.45	↓ 2.85	↓ 49.84	↑ 37.45	↑ 17.39	↑ 35.16	↑ 45.5	↑ 39.29	↑ 86.15	↑ 62.2
Año seco (2006)	l/s	-93.152	-71.956	-57.568	-45.990	-75.570	66.587	-80.454	-220.144	-267.342	-386.448	-371.686	-292.800
Año seco (2006)	%	↓ 31.63	↓ 36.73	↓ 56.16	↓ 87.75	↓ 65.37	↑ 17.72	↓ 17.55	↓ 43.75	↓ 41.42	↓ 56.11	↓ 65.1	↓ 68.42

Principales hallazgos:

- En el escenario de año húmedo, se presentan aumentos notables de caudal durante la temporada lluviosa, con incrementos de hasta el 86.15% en noviembre, lo que puede favorecer la recarga hídrica, pero también aumenta el riesgo de escorrentía superficial e inundaciones.
- En contraste, el año seco muestra reducciones drásticas en la oferta hídrica, sobre todo entre marzo y mayo, destacando una pérdida de hasta 87.75% en abril, lo cual representa una amenaza directa al abastecimiento humano y agrícola.

7.2 Escenarios de cambio climático: RCP 2.6 y RCP 8.5 al año 2030

Para evaluar el posible impacto del cambio climático sobre la oferta hídrica, se analizaron dos trayectorias de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés) proyectadas al año 2030 (ver Figura 12):

- **RCP 2.6:** Escenario optimista que asume acciones globales de mitigación.
- **RCP 8.5:** Escenario pesimista que proyecta un aumento continuo de emisiones.

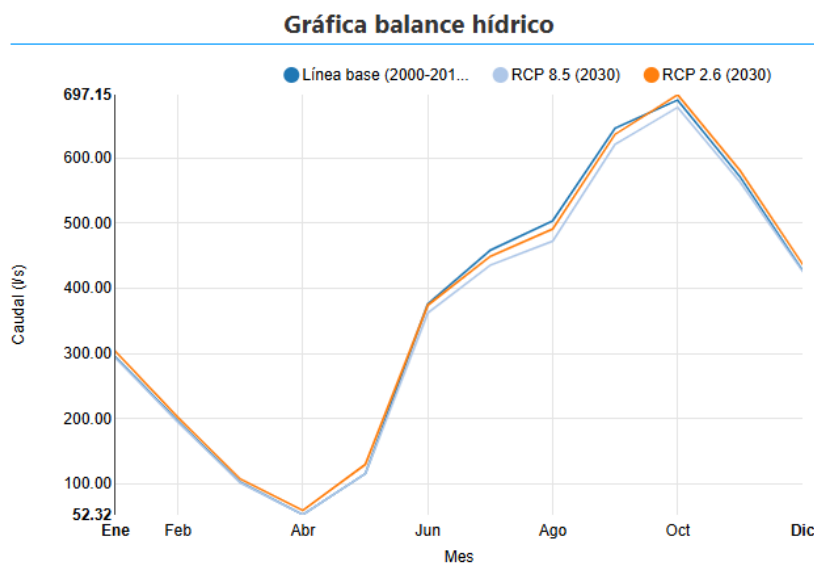


Figura 12. Comparación mensual de caudales: RCP 2.6, RCP 8.5 y línea base.

Las variaciones específicas de caudal bajo estos escenarios se presentan en la Tabla 9, en la cual se muestran los valores absolutos y porcentuales de diferencia respecto a la línea base.

Tabla 9. Diferencias mensuales de caudal proyectadas bajo los escenarios de cambio climático RCP 2.6 y RCP 8.5 al año 2030

Escenario	Unidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Línea base (2000-2014)	l/s	294.521	195.900	102.502	52.409	115.609	375.719	458.428	503.232	645.399	688.728	570.905	427.949
RCP 8.5 (2030)	l/s	-1.570	-1.387	-0.879	-0.091	-0.063	-13.551	-22.936	-30.836	-24.558	-11.079	-7.678	-1.825
RCP 8.5 (2030)	%	↓ 0.53	↓ 0.71	↓ 0.86	↓ 0.17	↓ 0.05	↓ 3.61	↓ 5	↓ 6.13	↓ 3.81	↓ 1.61	↓ 1.34	↓ 0.43
RCP 2.6 (2030)	l/s	8.508	6.237	4.910	6.614	13.900	-1.606	-9.633	-12.231	-9.058	8.418	9.935	9.312
RCP 2.6 (2030)	%	↑ 2.89	↑ 3.18	↑ 4.79	↑ 12.62	↑ 12.02	↓ 0.43	↓ 2.1	↓ 2.43	↓ 1.4	↑ 1.22	↑ 1.74	↑ 2.18

Análisis clave:

- Bajo **RCP 8.5**, se prevén reducciones leves pero constantes en la disponibilidad de agua a lo largo del año, lo que podría agravar las condiciones en meses ya críticos como marzo y abril, incrementando la vulnerabilidad hídrica.
- En **RCP 2.6**, se estiman ligeros aumentos de caudal en la mayoría de los meses, con especial énfasis durante la estación seca, lo cual resalta la importancia de adoptar medidas que permitan aprovechar esa ganancia en el recurso que se tendría de acuerdo con las proyecciones de este escenario de cambio climático.

7.3 Escenarios combinados: Cambio climático + cobertura vegetal + demanda hídrica

En este apartado se presentan los resultados de dos escenarios prospectivos que combinan los efectos del cambio climático (según la proyección RCP 8.5 al año 2030) con modificaciones en la cobertura del suelo y en la demanda hídrica. Los escenarios modelados son los siguientes:

- **Escenario 1:** Cambio climático RCP 8.5 al 2030, combinado con una **disminución de la cobertura boscosa** y un **aumento del área destinada a pastos y cultivos** (ver Tabla 10 y Figura 13).

Tabla 10. Distribución de porcentajes de coberturas para el escenario

Cobertura (ICF, 2014)	Área actual (%)	Área escenario (%)
Pastos y/o Cultivos	34.1	44.09
Vegetación Secundaria Húmeda	27.09	27.09
Bosque Latifoliado Húmedo	25.39	15.39
Bosque Latifoliado Seco	5.22	5.22
Vegetación Secundaria Seca	2.18	2.18
Suelos Desnudos Continentales	1.82	1.82
Bosque Mixto	1.77	1.77
Zonas Urbanizadas Discontinuas	1.72	1.72
Café	0.38	0.38
Árboles Dispersos	0.2	0.20
Pino Denso	0.14	0.14
Total		100.00 %

Escenario 2: Cambio climático RCP 8.5 al 2030, combinado con un aumento del 30% en la demanda hídrica, manteniendo las coberturas vegetales de la línea base (ver Tabla 11 y Figura 13).

Con el objetivo de anticipar posibles escenarios de presión sobre el recurso hídrico, se realizó una proyección de la demanda hídrica actual con un incremento del 30% hacia el año 2030. Este valor se basa en una estimación de crecimiento combinado de la población, expansión de las actividades agrícolas y aumento de la cobertura de servicios básicos en la microcuenca.

La proyección considera que, bajo condiciones actuales de uso y tendencias socioeconómicas, la demanda de agua podría incrementarse de forma significativa en la próxima década. Este 30% fue aplicado de forma uniforme a cada valor mensual de la demanda hídrica (ver Tabla 11), lo cual permite simular un escenario de mayor presión sobre el recurso y evaluar su sostenibilidad en el tiempo.

Tabla 11. Balance hídrico con cambio climático RCP 8.5 al 2030 y aumento del 30% de demanda hídrica

Mes	Oferta hídrica de cuenca de aporte (l/s)	Oferta hídrica (l/s)	Demanda hídrica actual(l/s)	Demanda hídrica escenario(l/s)	Balance hídrico (l/s)
Enero	369.29	369.29	76.34	99.24	270.05
Febrero	287.11	287.11	92.6	120.38	166.73
Marzo	225.6	225.6	123.98	161.17	101.62
Abril	179.58	179.58	127.26	165.44	52.32
Mayo	216.94	216.94	101.39	131.81	115.55
Junio	429.12	429.12	66.95	87.04	362.17

Mes	Oferta hídrica de cuenca de aporte (l/s)	Oferta hídrica (l/s)	Demanda hídrica actual(l/s)	Demanda hídrica escenario(l/s)	Balance hídrico (l/s)
Julio	508.36	508.36	72.87	94.73	435.49
Agosto	548.6	548.6	76.2	99.06	472.4
Septiembre	681.65	681.65	60.81	79.05	620.84
Octubre	734.19	734.19	56.54	73.50	677.65
Noviembre	623.99	623.99	60.76	78.99	563.23
Diciembre	492.63	492.63	66.51	86.46	426.12

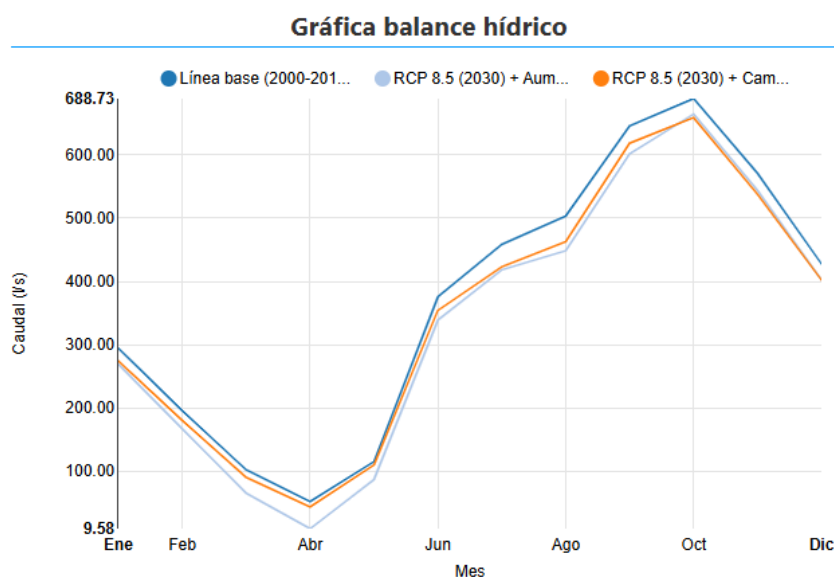


Figura 13. Comparación mensual de caudales: RCP 8.5 2030 más reducción de bosque, RCP 8.5 2030 más aumento de demanda y línea base

Para ambos casos, se comparan los resultados con la línea base del periodo 2000–2014. La Tabla 12 resume las variaciones mensuales en el balance hídrico (en litros por segundo y en porcentaje), evidenciando las pérdidas netas que se podrían generar bajo dichos escenarios.

Tabla 12. Diferencias mensuales de caudales bajo los escenarios de RCP 8.5 2030 más reducción de bosque, RCP 8.5 2030 más aumento de demanda y línea base

Escenario	Unidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Línea base (2000-2014)	l/s	294.521	195.900	102.502	52.409	115.609	375.719	458.428	503.232	645.399	688.728	570.905	427.949
RCP 8.5 (2030) + Reducción de bosque	l/s	-20.038	-15.665	-12.018	-8.858	-5.276	-21.798	-35.152	-40.427	-27.086	-30.079	-33.065	-25.444
RCP 8.5 (2030) + Reducción de bosque	%	↓6.8	↓8	↓11.72	↓16.9	↓4.56	↓5.8	↓7.67	↓8.03	↓4.2	↓4.37	↓5.79	↓5.95
RCP 8.5 (2030) + 30% de aumento de demanda	l/s	-25.229	-28.790	-36.904	-42.831	-28.672	-36.603	-40.067	-54.631	-43.748	-24.538	-26.920	-25.314
RCP 8.5 (2030) + 30% de aumento de demanda	%	↓8.57	↓14.7	↓36	↓81.72	↓24.8	↓9.74	↓8.74	↓10.86	↓6.78	↓3.56	↓4.72	↓5.92

Análisis clave:

- **Escenario 1** evidencia que la combinación de cambio climático y pérdida de cobertura boscosa genera una disminución del balance hídrico de hasta **16.9% en abril**, siendo los meses secos (marzo y abril) los más afectados.
- **Escenario 2**, que simula un incremento del 30% en la demanda hídrica sobre un clima alterado, presenta impactos aún mayores, con reducciones superiores al **80% en los meses críticos** (marzo y abril), comprometiendo seriamente la disponibilidad del recurso hídrico.

7.4 Implicaciones para el uso doméstico y agrícola

Los escenarios proyectados evidencian riesgos significativos para los usos prioritarios del agua en la microcuenca:

- **Uso doméstico:** Con más de 5,400 personas distribuidas en diez comunidades, el acceso al agua para consumo humano, higiene y servicios básicos podría verse comprometido, especialmente durante los meses secos y en condiciones de disminución prolongada del caudal.
- **Uso agrícola:** Representando el 81% de la demanda total, el sector agrícola enfrenta un riesgo elevado ante reducciones de caudal, lo cual podría afectar la producción de hortalizas y otros cultivos estratégicos, así como los medios de vida rurales dependientes de esta actividad.

8. Conclusiones

El análisis del balance hídrico de la microcuenca del río Marchala revela que, en términos generales, existe una oferta de agua suficiente para satisfacer la demanda registrada a lo largo del año. Sin embargo, se identifican periodos críticos, particularmente durante los meses de marzo y abril, en los que el margen entre oferta y demanda se reduce significativamente, lo que representa una señal de alerta ante posibles incrementos en la demanda o disminuciones futuras en la oferta hídrica.

El uso agrícola representa el 81% de la demanda total, ejerciendo una fuerte presión sobre el recurso, especialmente en los meses secos. A esto se suma la existencia de amenazas relevantes como la deforestación, la expansión de la frontera agrícola y procesos geodinámicos como deslizamientos, los cuales comprometen tanto la disponibilidad como la calidad del agua.

El análisis del caudal ecológico muestra que, durante la época seca, especialmente en abril, la disponibilidad de agua en la microcuenca del río Marchala es tan baja que no alcanza ni el mínimo necesario para mantener saludables los ecosistemas acuáticos. Esto también representa un riesgo para el suministro de agua a las personas y a la agricultura.

El índice de escasez hídrica ubica a la microcuenca en una condición de escasez moderada, destacando la necesidad de monitoreo y gestión cuidadosa del recurso, particularmente bajo escenarios de cambio climático. Estos escenarios proyectan reducciones en la oferta hídrica, especialmente en el caso del RCP 8.5, que simula la ausencia de acciones de mitigación y donde los meses críticos podrían enfrentar reducciones acumuladas de hasta un 68%.

Finalmente, se destaca que el abastecimiento doméstico (más de 5,400 personas) y la producción agrícola (153 manzanas bajo riego) están particularmente en riesgo, por lo cual se hace necesario fortalecer la resiliencia de estos sistemas.

La precisión del balance hídrico está directamente relacionada con la calidad y representatividad de los datos utilizados. Una identificación detallada y actualizada de los usos del agua permite obtener estimaciones más realistas, identificar presiones específicas y orientar acciones más efectivas de planificación y manejo.

9. Recomendaciones

Implementar medidas de conservación del agua: Promover el uso eficiente del recurso en la agricultura mediante tecnologías de riego más eficientes, prácticas agroecológicas y manejo integrado del suelo y agua.

Incluir el caudal ecológico en la planificación: Establecer umbrales mínimos (20–30% de la oferta mensual) para garantizar el mantenimiento de funciones ecológicas de los ecosistemas acuáticos.

Fortalecer la gobernanza hídrica local, impulsando espacios de diálogo y toma de decisiones participativas que involucren a comunidades, instituciones locales y actores productivos.

Implementar proyectos de reforestación en zonas de recarga hídrica y establecer mecanismos para la protección de fuentes de agua, así como técnicas de manejo de suelos principalmente en zonas con alta susceptibilidad a la erosión y a deslizamientos.

Fortalecer la educación ambiental y la gestión comunitaria del agua, capacitando a líderes comunitarios, agricultores y estudiantes sobre la importancia de conservar el recurso hídrico y fomentar el uso responsable del mismo.

10. Anexos

Anexo 1. Imágenes de la jornada de socialización del análisis de balance hídrico de la microcuenca Marchala con la Corporación Municipal de Ocotepeque.



Anexo 2. Jornada de socialización de los resultados del balance hídricos con instituciones y actores comunitarios de la microcuenca Marchala.



Anexo 3. Proceso de socialización de resultados y capacitación con técnicos de instituciones locales, orientado a que conozcan la metodología y puedan replicar este tipo de análisis de balance hídrico en microcuencas de su territorio.

