



# Disponibilidad hídrica y cambio climático en el DMQ

Abril - 2026

Autores:

Estudio hidrológico base:

- Alexander Gualli - Especialista hidrólogo

Desarrollo analítico, modelación complementaria y construcción del informe

- María Belén Proaño - Directora Ejecutiva
- Jefferson Revelo - Director de análisis de datos
- María Isabel Velásquez - Especialista en análisis de datos



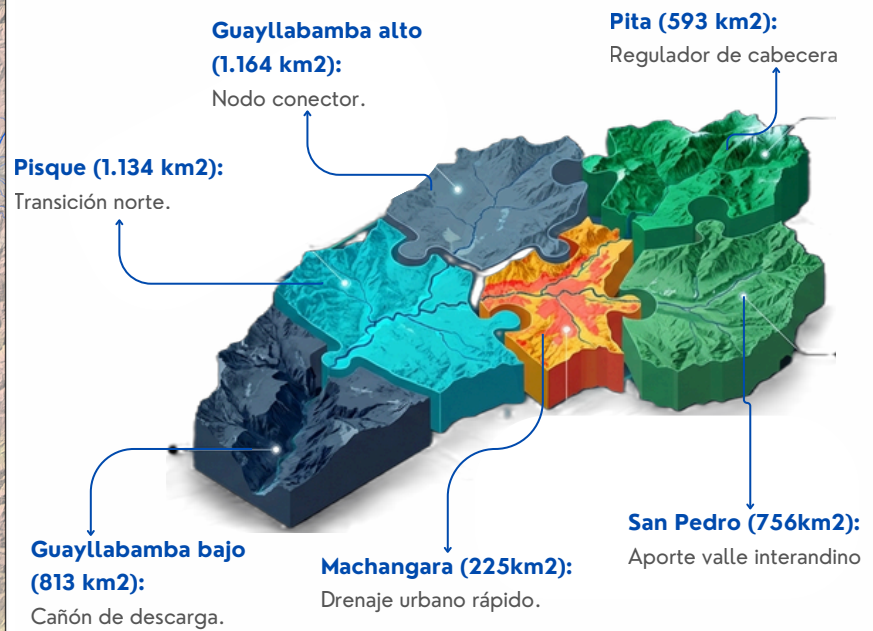
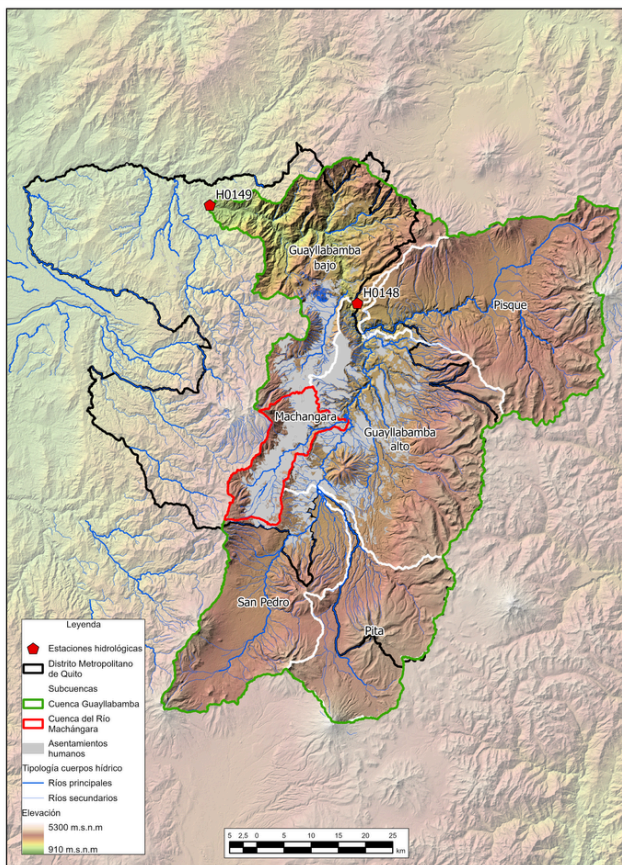
# Introducción

La gestión del agua en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se ha convertido en un desafío estratégico en un contexto de cambio climático, crecimiento urbano y presión sobre los recursos naturales. La planificación hídrica debe superar la planificación basada en patrones históricos estables, e incorporar la incertidumbre climática y las dinámicas territoriales en sus proyecciones de largo plazo.

Esta investigación tiene como propósito generar evidencia técnica especializada para comprender la disponibilidad hídrica actual y futura del DMQ, integrando modelación hidrológica, análisis territorial y proyecciones de demanda. Con ello, se identifican riesgos emergentes que transforman la manera de entender la seguridad hídrica en la ciudad.

Uno de los hallazgos centrales es la denominada “paradoja de la abundancia hídrica”, donde la oferta promedio de agua podría incrementarse en el futuro, pero acompañada de una mayor intensidad de eventos extremos, lo que incrementa el riesgo de inundaciones y presión sobre la infraestructura urbana.

## CUENCA HIDROGRÁFICA Y SUBCUENCAS QUE COMPONEN EL MODELO SEMIDISTRIBUIDO

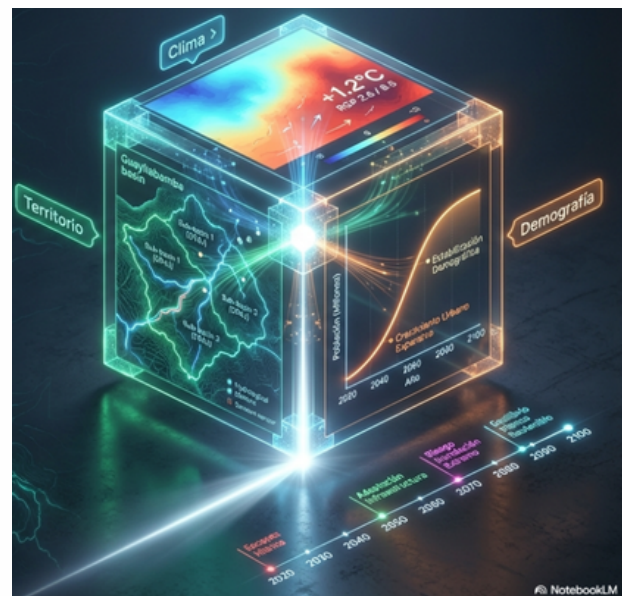


\*Ilustración didáctica de la conformación del área de estudio

# Objetivo y metodología

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la disponibilidad hídrica y la resiliencia urbana del DMQ mediante la implementación de un modelo hidrológico y proyecciones de demanda a largo plazo, con el fin de generar una herramienta técnica para la toma de decisiones estratégicas frente al cambio climático. El análisis no se limita únicamente a cuantificar la oferta de agua, sino que busca comprender la dinámica integral del sistema hídrico, incorporando tanto factores climáticos como presiones antrópicas que inciden en su comportamiento futuro.

Se desarrolló mediante una metodología integral que combina análisis de datos hidroclimáticos, modelación hidrológica y proyección de escenarios futuros. En primer lugar, se consolidó una base de datos hidroclimática (2000–2025) con información de precipitación, temperatura y caudales, proveniente de estaciones terrestres y datos satelitales. Estos datos fueron depurados, completados y estructurados para garantizar consistencia en el análisis, incorporando además procesos de validación que permiten mejorar la confiabilidad de las simulaciones.



Posteriormente, se implementó un modelo hidrológico semi-distribuido (GR4J) que permite simular el comportamiento del agua en la cuenca del río Guayllabamba, considerando seis subcuencas con características diferenciadas. Este modelo fue calibrado y validado para reproducir tanto caudales promedio como eventos extremos, logrando representar de manera adecuada la dinámica del sistema. Adicionalmente, se incorporaron componentes clave como la evapotranspiración y los aportes externos, lo que permite aproximarse de forma más realista al funcionamiento del sistema hídrico.

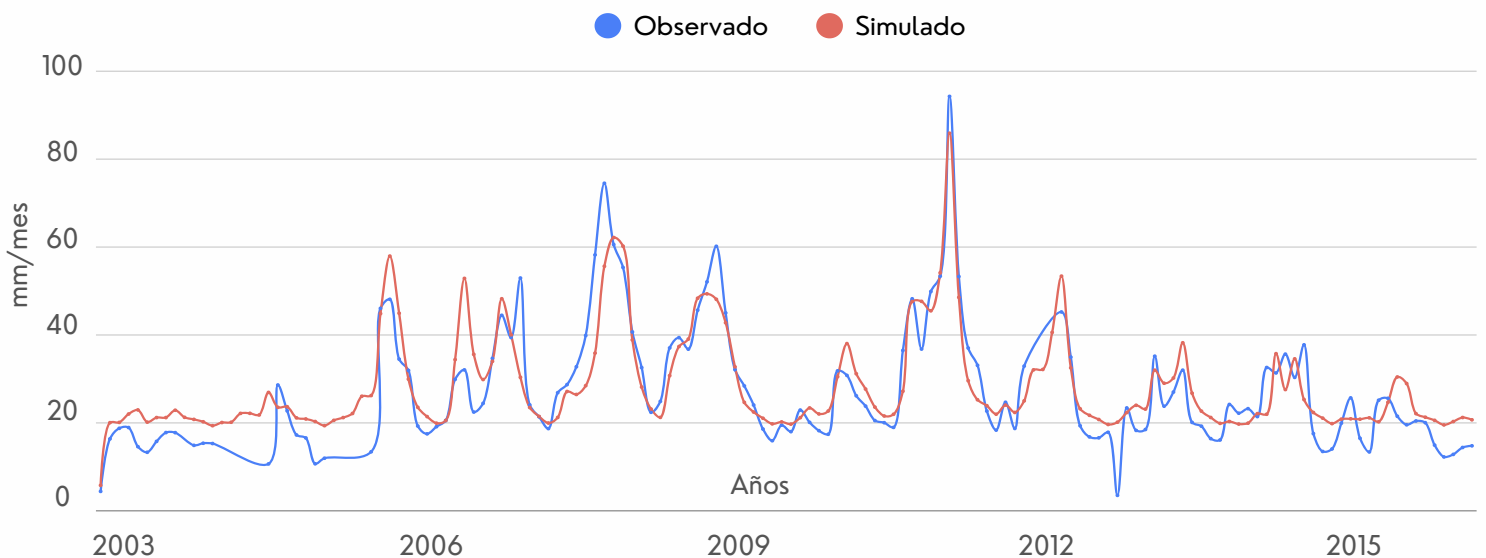
Finalmente, se desarrollaron escenarios futuros combinando proyecciones climáticas (RCP 2.6 - Moderado y RCP 8.5 - Intenso / Calentamiento alto), modelos de crecimiento poblacional y escenarios de eficiencia en el consumo de agua. Esto permitió estimar la disponibilidad y demanda hídrica hasta el año 2100, generando una visión prospectiva que integra incertidumbre climática, dinámica territorial y presión demográfica en un mismo marco analítico.

# Resultados

## Capacidad del modelo para reproducir el comportamiento hidrológico del sistema

El modelo hidrológico desarrollado logra reproducir de manera consistente el comportamiento del agua en el sistema del DMQ, explicando aproximadamente el 62% de la variabilidad de los caudales y mostrando un buen equilibrio entre precisión y coherencia física. Esto significa que el modelo logra imitar cómo se comportan los ríos en la realidad, y puede ser usado como una herramienta confiable para anticipar escenarios futuros.

### HIDROGRAMA: CAUDALES SIMULADOS Y CAUDALES OBSERVADOS (MODELO HIDROLÓGICO)



Fuente: Instituto de Investigaciones de la Ciudad, 2025

Esto es clave porque, sin un modelo, la gestión del agua se basa únicamente en datos históricos, que ya no son suficientes en un contexto de cambio climático y expansión urbana. El modelo permite ir más allá de lo que ya ocurrió, ayudando a entender qué podría pasar y dónde están los principales riesgos del sistema.

Para esta modelación fue necesario primero corregir y reconstruir la información disponible. En el territorio existen zonas con poca medición de lluvia, lo que genera una visión incompleta del sistema hídrico. Al ajustar estos datos, se evita que el modelo parta de errores y se garantiza que represente de mejor manera la realidad. Además, el modelo evidencia que el sistema hídrico del DMQ no funciona únicamente de forma natural; existe un aporte adicional de agua que no está completamente medido, proveniente tanto de procesos naturales (como la humedad en zonas altas) o de actividades humanas (como fugas o retornos del sistema urbano). Esto implica que los caudales observados no dependen solo de la lluvia, sino que una parte importante del agua que abastece a Quito proviene de trasvases desde otras cuencas. Estos aportes externos sostienen el sistema, especialmente en periodos secos, y permiten mantener el suministro de agua en la ciudad.

# Resultados

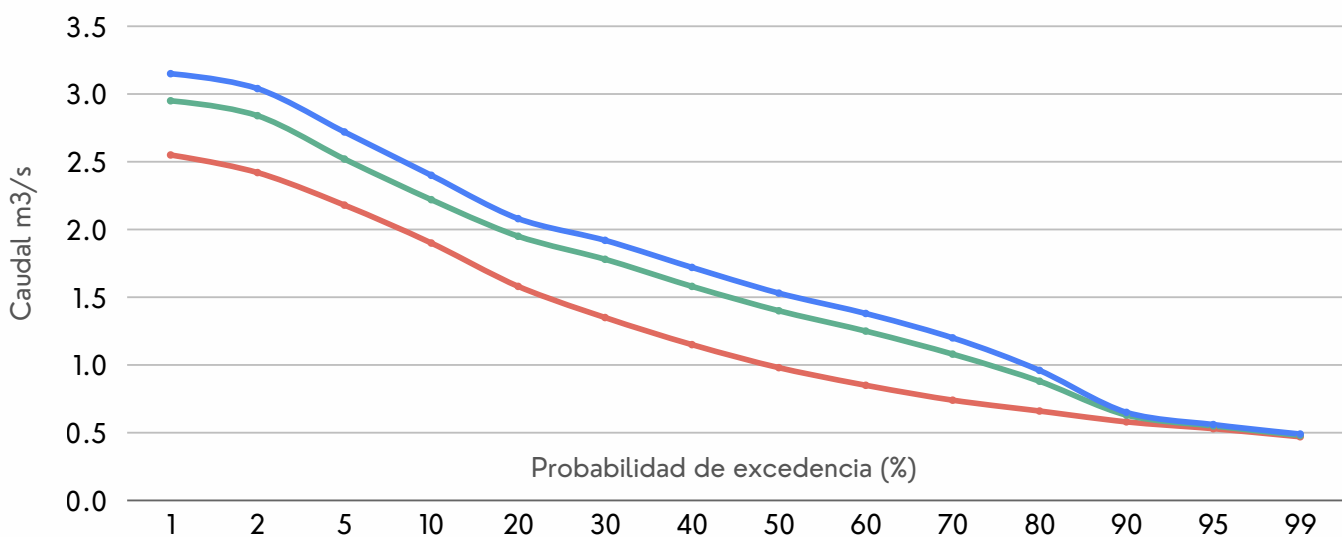
## Dinámica de caudales y disponibilidad hídrica

El gráfico de curvas de duración de caudales muestra cómo cambia la magnitud del caudal para una misma probabilidad de ocurrencia. Por ejemplo, un evento poco frecuente (como aquellos que ocurren solo el 5% del tiempo) históricamente presenta un determinado caudal (~2.5m<sup>3</sup>/s). En los escenarios futuros, ese mismo evento mantiene su frecuencia relativa, pero se asocia a un mayor volumen de agua. En contraste, los caudales más frecuentes (aquellos que ocurren la mayor parte del tiempo + 85%) presentan variaciones menores, manteniéndose relativamente estables frente a los escenarios proyectados. En términos simples, el cambio no se da en la frecuencia con la que ocurren los eventos, sino en su intensidad. Es decir, cuando ocurren eventos de caudal alto, estos tienden a ser más fuertes.

Como resultado, el sistema presenta una mayor diferencia entre condiciones normales y extremas, lo que refleja un incremento en la variabilidad hidrológica y en los niveles de riesgo asociados.

### CURVAS DE DURACIÓN DE CAUDALES

● Histórico ● RCP2.6 ● RCP8.5



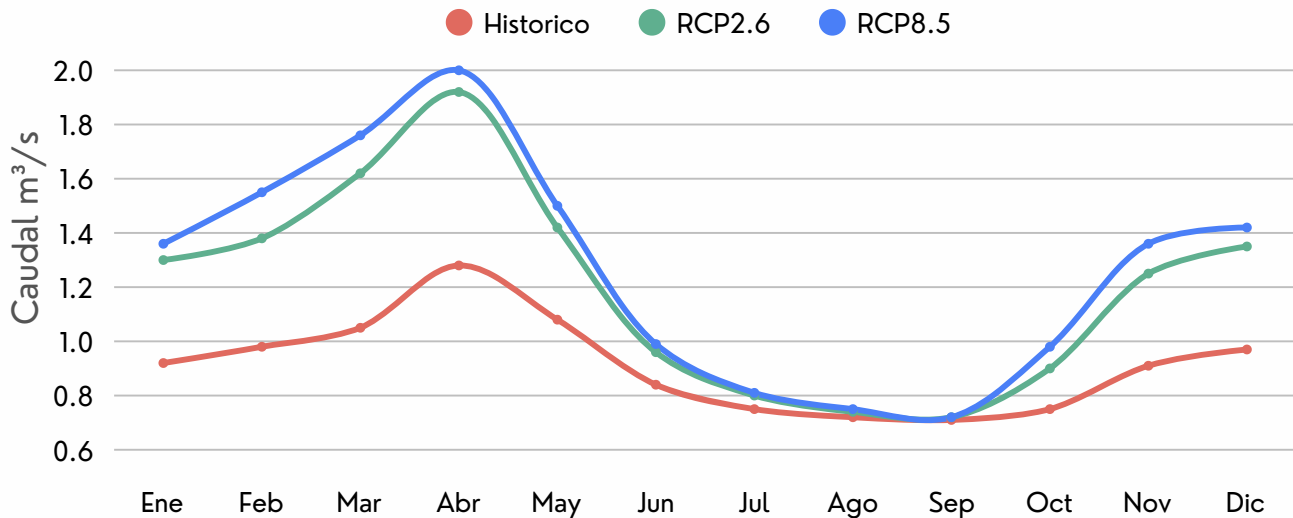
Fuente: Instituto de Investigaciones de la Ciudad, 2025

## Variación estacional del caudal hacia el 2100

Las proyecciones hacia el año 2100 muestran que el incremento en los caudales no ocurre de forma uniforme a lo largo del año, sino que se concentra principalmente en los meses asociados a la temporada lluviosa (meses de febrero a abril y noviembre, diciembre). Esto quiere decir que el aumento de agua no es constante, sino que se intensifica en determinados meses. Por lo tanto, el sistema tendrá más agua en promedio, pero distribuida de manera desigual a lo largo del año. En este sentido, se evidencia una intensificación de la estacionalidad del sistema hidrológico: los meses húmedos presentan incrementos significativos en los caudales, con aumentos proyectados entre el +30% y +40%, mientras que los periodos secos se mantienen relativamente estables y con cambios menos pronunciados.

# Resultados

## HIDROGRAMA MENSUAL MEDIO (GUAYLLABAMBA BAJO)

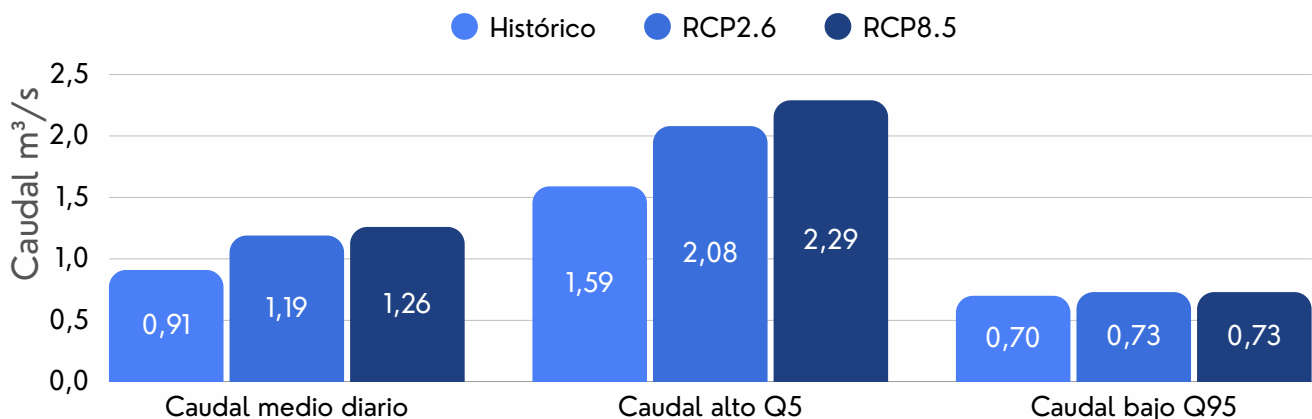


Fuente: Instituto de Investigaciones de la Ciudad, 2025

Los indicadores permiten cuantificar los cambios observados en el sistema hidrológico bajo escenarios futuros, complementando la lectura temporal del hidrograma. Se evidencia que los mayores incrementos se concentran en los caudales altos (Q5), que pasan de aproximadamente 1,59 m<sup>3</sup>/s a valores superiores a 2,0 m<sup>3</sup>/s, reflejando una intensificación en los eventos de mayor magnitud. En contraste, los caudales bajos (Q95) presentan variaciones mínimas, manteniéndose cercanos a 0,70–0,73 m<sup>3</sup>/s, lo que indica que las condiciones más frecuentes del sistema no experimentan cambios significativos.

Por su parte, el caudal medio muestra un incremento moderado, evidenciando que el aumento en la disponibilidad hídrica no es uniforme, sino que está principalmente impulsado por el comportamiento de los eventos extremos. En conjunto, estos resultados confirman que el sistema no cambia de manera homogénea, sino que amplifica sus extremos, lo que incrementa la diferencia entre condiciones normales y eventos de alta magnitud.

## INDICADORES DE CAUDAL PARA EL PERIÓDICO HISTÓRICO Y ESCENARIOS SINTÉTICOS (GUAYLLABAMBA BAJO)



Fuente: Instituto de Investigaciones de la Ciudad, 2025

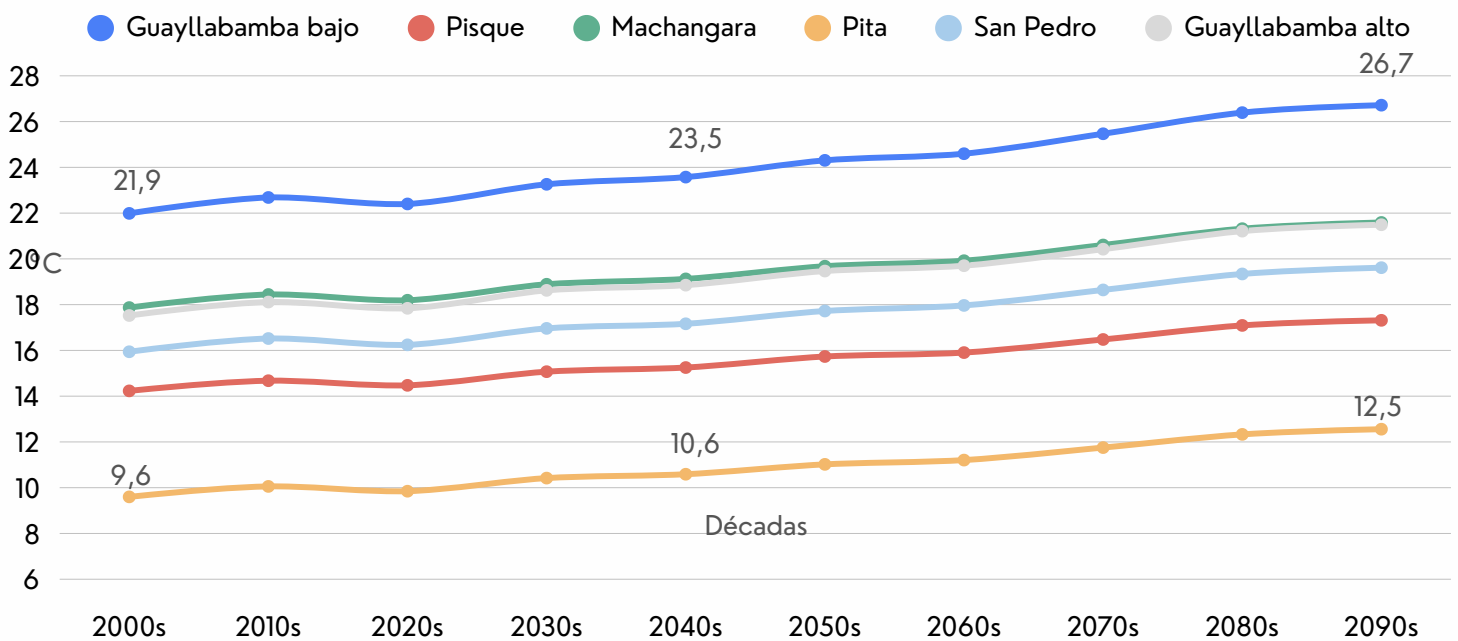
# Resultados

## El aumento de temperatura reduce la disponibilidad real del agua

La proyección de temperatura máxima hacia el año 2100 se basa en escenarios climáticos futuros, particularmente el RCP 8.5, que representa un escenario de altas emisiones de gases de efecto invernadero y mayor calentamiento global. Bajo este escenario, se estiman incrementos progresivos de temperatura en el territorio, los cuales son incorporados en el modelo hidrológico para evaluar su impacto en la disponibilidad hídrica.

Si bien los resultados previos evidencian un incremento de caudales asociado a mayores precipitaciones, este aumento no se traduce necesariamente en una mayor disponibilidad efectiva del recurso. Esto se debe a que el incremento de temperatura intensifica los procesos de evapotranspiración, generando mayores pérdidas de agua hacia la atmósfera.

### PROYECCIÓN DE TEMPERATURA MÁXIMA POR DÉCADAS EN LA CUENCA DEL RÍO GUAYLLABAMBA\*



Fuente: Instituto de Investigaciones de la Ciudad, 2025

\*Se han representado las modelaciones del cambio de temperatura máxima

Adicionalmente, el aumento de temperatura tiene implicaciones en la calidad del agua. Temperaturas más altas pueden favorecer la proliferación de contaminantes, reducir los niveles de oxígeno disuelto y afectar las condiciones ecológicas de los cuerpos hídricos, especialmente en sistemas urbanos como el río Machángara.

En términos simples, aunque podría haber más agua en el sistema, no toda será utilizable. Parte se pierde por evaporación y otra parte puede ver reducida su calidad, lo que limita su uso efectivo. En este sentido, el cambio climático no solo modifica la cantidad de agua disponible, sino también su calidad, configurando un escenario donde la disponibilidad hídrica debe entenderse de manera integral.

# Resultados

## ¿Qué implicaciones tiene esto para Quito?

Aunque se proyecta un incremento del caudal medio anual entre +30% y +40%, este aumento se caracteriza por una mayor concentración de los flujos en eventos de alta magnitud, con crecidas que pueden incrementarse hasta en un +44%.

Lo que sugiere que el sistema no tendrá agua de manera uniforme a lo largo del tiempo. **El agua tenderá a concentrarse en eventos intensos y de corta duración**, lo que incrementa la variabilidad del sistema y eleva el nivel de riesgo.

El modelo evidencia que aproximadamente el **14% del agua del sistema proviene de aportes externos o no medidos**, lo que revela una dependencia estructural de infraestructuras como los sistemas de trasvase (Mica y Papallacta).

El incremento de caudales en **escenarios futuros puede generar una mayor movilización de contaminantes acumulados en el entorno urbano**, afectando la calidad del agua en ríos como el Machángara.

Esto implica que el sistema pierde parte de su capacidad de amortiguamiento, ya que los **flujos más intensos superarán la capacidad natural del suelo para absorber y regular el agua**.

## Realidad territorial diferenciada

La intensificación de eventos extremos **incrementa la probabilidad de inundaciones urbanas, especialmente en subcuencas de respuesta rápida como el Machángara**, donde la impermeabilización del suelo acelera la escorrentía superficial.



Por otra parte subcuencas como las del **Río Pita tienen un mayor nivel de permeabilización y capacidad de infiltración**. Funcionando así como reguladores naturales

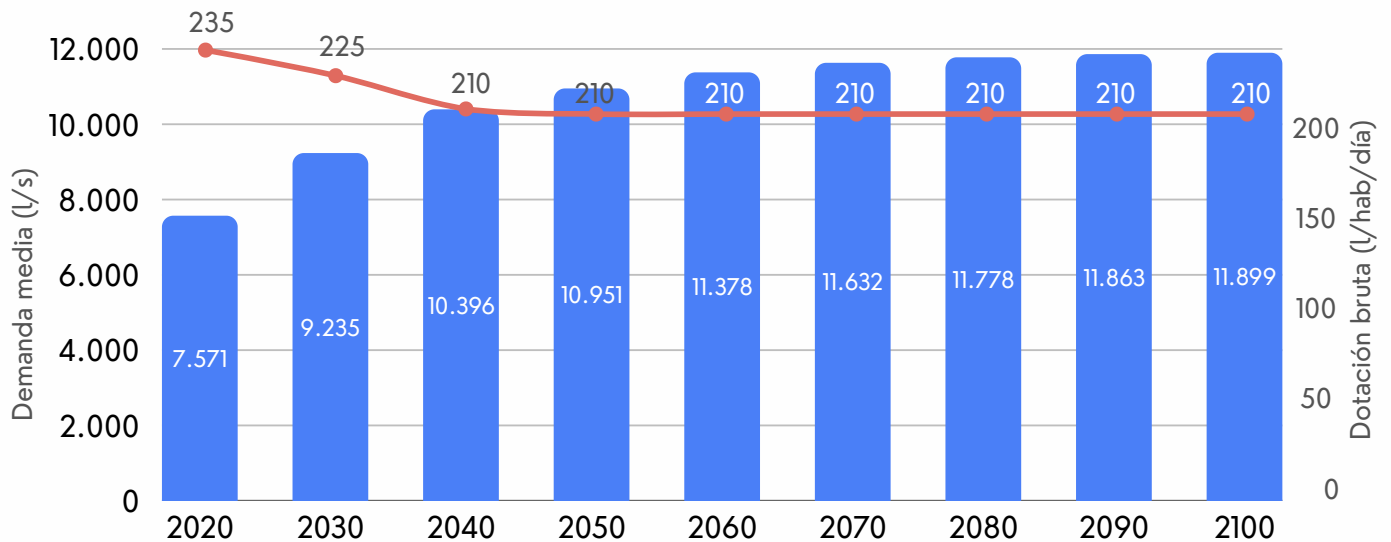


# Resultados

## Presión demográfica y demanda futura

La disponibilidad hídrica no puede analizarse únicamente desde la oferta de agua, sino también desde la presión que ejerce la dinámica demográfica sobre el sistema. Las proyecciones realizadas en el estudio estiman que la población del DMQ podría alcanzar un nivel cercano a los 4.9 millones de habitantes hacia el año 2100, con una desaceleración progresiva del crecimiento a partir de la década de 2050, lo que configura un escenario de saturación urbana en el largo plazo. Este incremento poblacional implica una mayor demanda de agua; sin embargo, el comportamiento futuro del sistema no dependerá únicamente de cuánta población exista, sino de cómo se gestione el recurso.

### PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE CAUDAL MEDIO DE AGUA POTABLE EN EL DMQ (2020 - 2100)\*



Fuente: Instituto de Investigaciones de la Ciudad, 2025

\*Proyecciones de dotación no consideran nuevas obras de infraestructura futura

Bajo un escenario de optimización, donde el consumo de agua por persona se reduce mediante un uso más eficiente del recurso (como la disminución de pérdidas, el consumo responsable y mejoras en la gestión), la dotación per cápita podría estabilizarse en aproximadamente 210 litros por habitante al día. Esto permitiría que la demanda total se mantenga en torno a los 11.899 litros por segundo hacia finales de siglo, evitando la necesidad de incorporar nuevas fuentes de abastecimiento en el corto plazo.

En este sentido, el problema no es únicamente cuánta agua requiere la ciudad, sino cómo se utiliza. Un sistema eficiente puede sostener el crecimiento poblacional sin necesidad de incrementar proporcionalmente la oferta hídrica, mientras que un sistema ineficiente podría generar déficits incluso en escenarios de mayor disponibilidad. Así, la presión demográfica se consolida como un factor determinante en la sostenibilidad del sistema hídrico, al incidir no solo en la cantidad demandada, sino también en la generación de presiones adicionales sobre el recurso.


# Conclusiones

El análisis integral de la disponibilidad hídrica en el DMQ evidencia que el sistema no enfrenta un escenario tradicional de escasez bajo condiciones de cambio climático. Los resultados muestran que la oferta hídrica media anual podría incrementarse entre un 30% y 40% hacia el año 2100; sin embargo, este aumento está acompañado por una intensificación de los eventos extremos, con crecidas de hasta un 44%, lo que introduce riesgos significativos para la infraestructura urbana y la seguridad territorial.

De este modo, el sistema hídrico se vuelve más variable, con mayores volúmenes de agua concentrados en periodos cortos y una distribución temporal más irregular. Esta condición se refuerza por el incremento de temperatura, que intensifica la evapotranspiración y reduce la disponibilidad efectiva del recurso. En términos simples, habrá más agua en el sistema, pero también mayores pérdidas.

Esto configura una paradoja de la abundancia hídrica: a pesar de contar con más agua en términos promedio, el sistema no necesariamente mejora su disponibilidad real, sino que se vuelve más variable e incierto, con mayores volúmenes concentrados en periodos específicos y mayores pérdidas asociadas al incremento térmico. Como resultado, el sistema no se vuelve necesariamente más abundante, sino más complejo en su funcionamiento.

El estudio evidencia una dependencia estructural, ya que aproximadamente el 14% del agua proviene de aportes externos no medidos, como los sistemas de trasvase (Mica y Papallacta). Esto implica que la seguridad hídrica del DMQ no es completamente autónoma y depende del funcionamiento continuo y la adecuada gestión de estas infraestructuras estratégicas. Desde el enfoque de la demanda, el crecimiento poblacional proyectado hasta cerca de 4,9 millones de habitantes hacia el 2100 genera una presión sostenida sobre el sistema hídrico, aunque con tendencia a estabilizarse desde mediados de siglo.



**Desafío  
Futuro:  
Manejar  
Excesos Hídricos  
Violentos e  
Inundaciones**

En este contexto, el desafío no radica en incrementar la oferta, sino en mejorar la eficiencia mediante la reducción de pérdidas, la concientización en el consumo y una mejor operación de la infraestructura existente, lo que permitiría mantener la demanda en torno a los 11.899 l/s sin necesidad de expandir la infraestructura. Finalmente, el análisis territorial confirma que el comportamiento hidrológico no es homogéneo. Mientras subcuencas como el Pita cumplen funciones de regulación natural, zonas urbanas como el Machángara presentan respuestas más rápidas y mayores niveles de riesgo debido a la impermeabilización del suelo. En conjunto, estos hallazgos confirman que el desafío hídrico del DMQ no es únicamente la disponibilidad de agua, sino su variabilidad, su calidad y su gestión eficiente en un contexto de creciente presión climática y antrópica.

# Glosario

Concepto	Definición*
<b>Cambio climático</b>	Alteración de las condiciones climáticas a largo plazo que modifica variables como temperatura y precipitación, afectando el ciclo hidrológico.
<b>Disponibilidad hídrica</b>	Cantidad de agua efectivamente disponible, considerando oferta, pérdidas y presiones humanas.
<b>Resiliencia hídrica</b>	Capacidad del sistema para adaptarse a cambios y eventos extremos sin perder su funcionalidad.
<b>Cuenca hidrográfica</b>	Territorio donde el agua drena hacia un mismo río o punto de salida.
<b>Subcuenca</b>	Unidad menor dentro de una cuenca con comportamiento hidrológico propio.
<b>Modelo hidrológico</b>	Herramienta que simula el comportamiento del agua en un territorio.
<b>GR4J</b>	Modelo hidrológico semi-distribuido utilizado para simular caudales y dinámica del agua.
<b>Escenarios RCP</b>	Proyecciones climáticas según emisiones: RCP 2.6 (moderado) y RCP 8.5 (alto calentamiento).
<b>Evapotranspiración (ETP)</b>	Proceso combinado mediante el cual el agua se transfiere desde la superficie terrestre hacia la atmósfera, tanto por evaporación del suelo y cuerpos de agua como por la transpiración de la vegetación.
<b>Caudal</b>	Volumen de agua que fluye por un río en un tiempo determinado (m <sup>3</sup> /s).
<b>Curva de duración de caudales</b>	Relación entre magnitud del caudal y su frecuencia de ocurrencia.
<b>Hidrograma</b>	Representación del comportamiento del caudal a lo largo del tiempo.
<b>Estacionalidad</b>	Variación del caudal entre épocas húmedas y secas.
<b>Eventos extremos</b>	Fenómenos de alta intensidad como crecidas o inundaciones.
<b>Variabilidad hídrica</b>	Cambios en los caudales en el tiempo; mayor variabilidad implica menor predictibilidad.
<b>Balance hídrico</b>	Relación entre el agua que entra (precipitación) y la que sale (evapotranspiración y escorrentía).
<b>Escorrentía</b>	Flujo superficial de agua hacia ríos o quebradas.
<b>Aportes externos</b>	Agua que proviene de fuera del sistema natural (trasvases o flujos no medidos).
<b>Trasvase</b>	Transferencia de agua entre cuencas para abastecimiento.
<b>Dotación per cápita</b>	Cantidad de agua utilizada por persona al día (l/hab/día).
<b>Demanda hídrica</b>	Cantidad de agua requerida por la población y actividades humanas.
<b>Presión antrópica</b>	Impacto de la actividad humana sobre el sistema hídrico.
<b>Impermeabilización del suelo</b>	Reducción de la capacidad del suelo para infiltrar agua debido a urbanización.
<b>Infiltración</b>	Proceso mediante el cual el agua se filtra en el suelo.

\*Nota: Las definiciones presentadas permiten interpretar los resultados del estudio desde un enfoque integral, considerando tanto la dinámica natural del sistema hídrico como las presiones climáticas y antrópicas que condicionan su comportamiento futuro.

# Referencias

- Buytaert, W., Vuille, M., Dewulf, A., Urrutia, R., Karmalkar, A., & Célleri, R. (2010).
- Uncertainties in climate change projections and regional downscaling in the tropical Andes: Implications for water resources management. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 1247–1258. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1247-2010>
- Cannon, A. J., Sobie, S. R., & Murdock, T. Q. (2015).
- Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve changes in quantiles and extremes? *Journal of Climate*, 28, 6938–6959. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00754.1>
- Craig, J. R., Brown, G., Chlumsky, R., Jenkinson, R. W., Jost, G., Lee, K., et al. (2020).
- Flexible watershed simulation with the Raven hydrological modelling framework. *Environmental Modelling & Software*, 129, 104728. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104728>
- Fernandez-Palomino, C. A., Hattermann, F. F., Krysanova, V., Lobanova, A., Vega-Jácome, F., & Lavado, W. (2022).
- A novel high-resolution gridded precipitation dataset for Peruvian and Ecuadorian watersheds: Development and hydrological evaluation. *Journal of Hydrometeorology*, 23, 309–336. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0285.1>
- FONAG. (2006).
- Apoyo a la conservación en la cuenca alta del río Pita.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., et al. (2015).
- The climate hazards infrared precipitation with stations (CHIRPS): A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2, 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Giorgi, F., Coppola, E., Jacob, D., Teichmann, C., Omar, S. A., Ashfaq, M., et al. (2022).
- The CORDEX-CORE EXP-I initiative: Description and highlight results from the initial analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 103, E293–E310. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0119.1>
- Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & Martinez, G. F. (2009).
- Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, 377, 80–91.
- Gutowski, W. J., Giorgi, F., Timbal, B., Frigon, A., Jacob, D., Kang, H. S., et al. (2016).
- WCRP coordinated regional downscaling experiment (CORDEX): A diagnostic MIP for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9, 4087–4095.





Instituto de  
Investigaciones  
de la Ciudad



**Quito**  
Alcaldía Metropolitana



<https://investigaciones.quito.gob.ec/>



@InvestigacionesUIO



@InvestigaUIO



@INVESTIGAUIO