

Análisis comparativo de metodologías normativas para la estimación del caudal de diseño en sistemas de alcantarillado sanitario en América Latina

Comparative Analysis of Regulatory Methodologies for Estimating Design Flow in Sanitary Sewer Systems in Latin America

Diego Enrique Fernández Sánchez¹, Alfonso Arellano²

¹Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador
dfernandez2333@uta.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-0272-8917>

²Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador
aarellano@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7369-0071>

Correspondencia: dfernandez2333@uta.edu.ec

Recibido: 29/01/2026

Aceptado: 02/04/2026

Publicado: 04/05/2026

Resumen

Objetivo: Se analizaron comparativamente las metodologías normativas empleadas para la estimación del caudal sanitario de diseño en Ecuador, Colombia, Chile, México y Argentina, con el propósito de identificar convergencias y divergencias que dificultan la comparabilidad técnica entre proyectos de saneamiento en la región. **Metodología:** Se desarrolló un análisis documental comparativo centrado en las expresiones matemáticas, los parámetros hidráulicos y los coeficientes normativos utilizados para determinar el caudal medio, el máximo diario y horario y el de diseño, según las normativas técnicas oficiales de los cinco países seleccionados. **Resultados:** Se identificaron similitudes en la estimación del caudal medio, basadas en la relación entre la dotación per cápita, la población atendida y el coeficiente de retorno. Sin embargo, se evidenciaron diferencias en los métodos empleados, especialmente en la incorporación de factores de variación temporal, coeficientes máximos, infiltración y aportes no domésticos. **Conclusiones:** Las diferencias identificadas reflejan

distintos niveles de complejidad normativa y márgenes de seguridad hidráulica adoptados en cada país. Estos hallazgos evidencian la necesidad de fortalecer la coherencia técnica en el diseño sanitario a nivel regional. Asimismo, constituyen un insumo relevante para proyectos financiados por organismos multilaterales de desarrollo que requieren marcos técnicos comparables.

Palabras clave: Alcantarillado sanitario; caudal de diseño; normativas técnicas; análisis comparativo; América Latina.

Abstract

Objective: The normative methodologies employed for estimating the design sanitary flow in Ecuador, Colombia, Chile, Mexico, and Argentina were comparatively analyzed, with the purpose of identifying convergences and divergences that hinder technical comparability between sanitation projects in the region. **Methodology:** A comparative documentary analysis was developed focusing on the mathematical expressions, hydraulic parameters, and normative coefficients used to determine the average flow, the maximum daily and hourly flow, and the design flow, according to the official technical regulations of the five selected countries. **Results:** Similarities were identified in the estimation of the average flow, based on the relationship between per capita supply, the served population, and the return coefficient. However, differences were evident in the methods employed, especially in the incorporation of temporal variation factors, maximum coefficients, infiltration, and non-domestic contributions. **Conclusions:** The identified differences reflect varying levels of regulatory complexity and hydraulic safety margins adopted in each country. These findings highlight the need to strengthen technical coherence in sanitary design at the regional level. Likewise, they constitute a relevant input for projects funded by multilateral development organizations that require comparable technical frameworks.

Keywords: Sanitary sewer; design flow; technical standards; comparative analysis; Latin America.

Introducción

El diseño de los sistemas de alcantarillado sanitario constituye un componente esencial para la protección de la salud pública y la gestión sostenible del entorno urbano. Una adecuada planificación y operación de estas infraestructuras contribuye directamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente del ODS 6 (Agua limpia y saneamiento) y el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), al garantizar la recolección y conducción eficiente de aguas residuales domésticas, reduciendo riesgos sanitarios y fortaleciendo la resiliencia urbana en Latinoamérica [1], [2]

Cuando estos valores se calculan con metodologías inconsistentes o con coeficientes no representativos de las condiciones reales, pueden generarse fallas operativas, sobrecargas hidráulicas, retornos de flujo, infiltraciones excesivas o disminución de la vida útil del sistema [3]. Estas deficiencias se agravan en entornos urbanos latinoamericanos, donde la heterogeneidad socioeconómica, la informalidad y la variabilidad climática influyen directamente en el comportamiento de variables sanitarias fundamentales.

La magnitud del caudal de diseño debe considerar las situaciones demográficas y socioeconómicas y proyectarlas a un futuro cercano de acuerdo con la vida útil prevista. Además, debe considerar los materiales y técnicas de construcción vigentes e incorporarlas en los modelos matemáticos directa o indirectamente. Si los modelos matemáticos no incorporan las variables necesarias, sus resultados podrían arrojar valores que no representan las condiciones reales ni futuras.

Diversos estudios en la región evidencian que los parámetros tradicionalmente utilizados en el cálculo del caudal sanitario como la dotación per cápita, el coeficiente de retorno y los factores de punta presentan una alta variabilidad práctica, con desviaciones significativas frente a los valores normativos teóricos [4]. Investigaciones realizadas en la región evidencian que en Ciudad de México la dotación per cápita disminuyó hasta un 40 % entre 2010 y 2019 debido a factores de desigualdad, densidad urbana, acceso irregular a la red y políticas de restricción [5]. Asimismo, el coeficiente de retorno muestra gran heterogeneidad, especialmente en periferias y asentamientos informales donde la eficiencia

hídrica es menor [6], [7]. Los factores de punta también presentan variaciones importantes asociadas a eventos climáticos extremos, olas de calor e islas de calor urbanas, provocando demandas máximas superiores a las contempladas en normativas tradicionales [8], [9].

Según [10] la normativa ecuatoriana [11] que estandariza los estudios de agua potable y alcantarillado deberían ser actualizados porque los grupos demográficos y sus dotaciones han cambiado de tal manera que cuando se calculan los caudales de diseño podrían no satisfacer la demanda de la población. Tal es así que la Empresa Metropolitana de agua potable y alcantarillado de Quito ha emitido su propia norma para esos diseños ante la desactualización de la norma nacional [12] Así mismo, esa normativa usa el Coeficiente de máximo consume diario para calcular el Caudal máximo diario con el que se diseñan los componentes de agua potable y de alcantarillado, pero su vigencia está cuestionada porque esos valores (K_d entre 1.3 y 1.5) está cuestionada según [13].

Estas variaciones se relacionan con múltiples condicionantes territoriales, como desigualdad socioeconómica, morfología urbana, expansión no planificada, acceso diferenciado a servicios básicos y vulnerabilidad climática [2], [3], [14], lo que dificulta la aplicación uniforme de metodologías convencionales diseñadas en contextos europeos o norteamericanos. Los estudios recientes evidencian que no existen lineamientos normativos regionales consensuados para estos parámetros, y que la información existente continúa siendo limitada en muchos países de la región [6], [7], [15], [16], [17]

Las insuficiencias metodológicas y la coexistencia de normas desactualizadas contribuyen a generar sobredimensionamientos, que incrementan costos de inversión y operación, o subdimensionamientos, que elevan riesgos sanitarios, hidráulicos y ambientales [3], [4]. Además, la falta de monitoreo de alta frecuencia, la limitada integración de datos socioeconómicos y la fragmentación institucional dificultan la calibración adecuada de los coeficientes utilizados en el diseño sanitario [18], [19], [20], [21].

A nivel regional, factores como la falta de armonización normativa, la escasa participación ciudadana y la débil articulación entre entidades reguladoras complican la estandarización de los métodos de cálculo. No obstante, emergen iniciativas basadas en análisis espacial, sensores de alta frecuencia, modelos híbridos y metodologías participativas que buscan

mejorar la evaluación de dotación, coeficiente de retorno y factores de punta, evidenciando el potencial para modernizar los criterios sanitarios de la región [21], [22].

La creciente movilidad profesional en el contexto de la globalización ha permitido que ingenieros y consultores participen en estudios y diseños de sistemas de alcantarillado sanitario en distintos países latinoamericanos, independientemente de su país de origen. Esta situación es particularmente frecuente en proyectos financiados por instituciones financieras regionales de desarrollo, como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Corporación Andina de Fomento (CAF), que promueven la formulación y ejecución de obras de saneamiento en países en desarrollo mediante esquemas de financiamiento, cooperación técnica y asistencia institucional. No obstante, en este escenario regional, los equipos técnicos suelen enfrentarse a divergencias significativas en los parámetros y criterios de diseño establecidos por las normativas nacionales, lo que dificulta la aplicación uniforme de metodologías hidráulicas y la comparación técnica entre proyectos desarrollados en distintos países [23], [24].

Diversos estudios señalan que estas divergencias normativas influyen directamente en la formulación, evaluación técnica y estructuración financiera de los proyectos de saneamiento apoyados por organismos multilaterales, ya que los parámetros de diseño condicionan los costos de inversión, la viabilidad económica, la sostenibilidad operativa y los niveles de servicio esperados. En este contexto, la ausencia de criterios armonizados a nivel regional representa un desafío para las instituciones financiadoras, que requieren marcos técnicos comparables para la priorización y evaluación de proyectos. Esta problemática refuerza la necesidad de análisis comparativos que identifiquen convergencias y divergencias entre metodologías de cálculo del caudal de diseño sanitario, como base para avanzar hacia criterios técnicos más coherentes y compatibles con los esquemas de financiamiento regional y los objetivos de desarrollo sostenible en América Latina [25], [26].

En síntesis, la alta variabilidad de parámetros sanitarios, la diversidad normativa y la ausencia de criterios estandarizados representan un desafío crítico para el diseño confiable de sistemas de alcantarillado de aguas residuales en Latinoamérica. En consecuencia, se vuelve indispensable realizar un análisis comparativo que identifique convergencias y divergencias entre las metodologías de cálculo empleadas en Ecuador, Perú, Colombia,

Chile, Argentina y México, con el fin de aportar insumos técnicos que fortalezcan la confiabilidad, exactitud y sostenibilidad de los sistemas sanitarios en la región.

Metodología

El presente estudio se desarrolló mediante un análisis comparativo de carácter documental, orientado a identificar convergencias y divergencias en las metodologías utilizadas para la estimación del caudal de diseño en sistemas de alcantarillado de aguas residuales en países de América Latina. El análisis se centró exclusivamente en los criterios metodológicos, fórmulas de cálculo y parámetros de diseño, sin realizar aplicaciones numéricas ni simulaciones hidráulicas.

Como unidades de análisis se seleccionaron las normativas técnicas, guías de diseño y documentos oficiales vigentes relacionados con el cálculo del caudal sanitario en Ecuador, Colombia, Chile, México, Argentina y Perú, por tratarse de países con marcos normativos formalizados y de uso frecuente en proyectos de saneamiento urbano. La inclusión de estos países respondió a su representatividad regional, a la diversidad de enfoques normativos existentes y a su utilización recurrente como referencia técnica en estudios financiados por organismos multilaterales de desarrollo.

La recolección de información se realizó exclusivamente a partir de fuentes documentales de carácter normativo y técnico, incluyendo normas nacionales de alcantarillado sanitario, guías oficiales de diseño y documentos institucionales emitidos por los organismos competentes de cada país. Para cada normativa se identificaron las expresiones matemáticas empleadas para la determinación del caudal medio diario, caudal máximo diario, caudal máximo horario y caudal de diseño, así como los parámetros asociados a dichas expresiones, tales como dotación, coeficiente de retorno, factores de variación y criterios normativos para la consideración de infiltración y aportes extraordinarios.

Una vez recopiladas las metodologías, se elaboraron matrices comparativas que permitieron organizar de forma homogénea las fórmulas, denominaciones técnicas y coeficientes utilizados en cada país. A partir de estas matrices se realizó un análisis cualitativo comparativo, identificando elementos comunes (convergencias), tales como el uso del

caudal medio como base de diseño, y diferencias metodológicas (divergencias), principalmente relacionadas con la forma de incorporar factores de punta, componentes no domésticos, criterios de infiltración y coeficientes de seguridad.

El análisis no evaluó la validez hidráulica ni el desempeño cuantitativo de las fórmulas, sino que se enfocó en la estructura metodológica, la coherencia conceptual de los criterios de diseño y la consistencia terminológica empleada para describir caudales equivalentes bajo diferentes denominaciones normativas.

Finalmente, los resultados del análisis comparativo fueron interpretados considerando el contexto regional de movilidad profesional y financiamiento internacional de proyectos de saneamiento, en el que participan organismos multilaterales de desarrollo. Este enfoque permitió sustentar la discusión sobre la necesidad de contar con criterios técnicos comparables y metodologías coherentes que faciliten la formulación, evaluación y revisión de estudios de alcantarillado sanitario en América Latina.

Resultados

En esta sección se presentan los resultados del análisis comparativo de las metodologías normativas empleadas para el cálculo del caudal de diseño sanitario en los países seleccionados. Se exponen de manera estructurada las expresiones matemáticas y variables utilizadas para la determinación del caudal medio, caudal máximo diario, caudal máximo horario y caudal de diseño, con el fin de identificar convergencias y divergencias metodológicas.

Caudal medio

El caudal medio constituye la base estructural del diseño sanitario en todos los países analizados (Tabla 1). A continuación, se presentan las expresiones normativas utilizadas para su determinación.

Tabla 1

Expresiones normativas del caudal medio sanitario

País	Expresión
Ecuador	$Q_{med} = \frac{q * N * C_r}{86400}$
Colombia	$Q_d = C_r * D_{NETAF} * A$
	$Q_d = \frac{C_r * P_s * D_{NETA}}{30}$
	$Q_d = \frac{C_r * P * D_{NETA}}{86400}$
Chile	$Q_{mdAS} = \frac{P * D * R * C}{86400}$
México	$Q_{MED} = \frac{A_p * P}{86400}$
Argentina	$Q_{MC} = C_a * C_v * C_i * P$

Como se observa en la Tabla 1, en todos los países el cálculo parte de un aporte unitario asociado al consumo o dotación de agua y una variable poblacional. No obstante, se identifican diferencias en la forma de incorporar coeficientes de retorno, variables adicionales como área tributaria o número de suscriptores, así como en la inclusión de componentes industriales desde la etapa inicial del cálculo.

Además de las diferencias estructurales observadas en las expresiones matemáticas del caudal medio, se identificaron variaciones en la simbología, denominación normativa y definición técnica de los parámetros utilizados en cada país. Con el fin de facilitar la interpretación comparativa y asegurar la coherencia conceptual entre las expresiones presentadas, la Tabla 2 resume el significado, unidad y ámbito de aplicación de los parámetros y variables empleados en las normativas analizadas.

Tabla 2

Definición de parámetros y variables empleadas en las expresiones del caudal medio

Símbolo	Denominación normativa	Definición	Unidad	País
Q_{med}	Caudal medio diario	Caudal medio de aguas residuales domésticas	L/s	Ecuador

Q_d	Caudal doméstico	Caudal de aguas residuales domésticas	L/s	Colombia
Q_{mdAS}	Caudal medio diario de aguas servidas	Caudal medio de aguas residuales	L/s	Chile
Q_{MED}	Gasto medio de aguas residuales	Caudal medio de aguas residuales	L/s	México
Q_{MC}	Caudal medio cloacal	Caudal medio de efluentes cloacales	L/s	Argentina
q	Dotación	Consumo unitario de agua potable	L/hab·día	Ecuador
N	Número de habitantes	Población proyectada	hab	Ecuador
C_r	Coeficiente de retorno	Fracción del agua consumida que retorna como residual	–	Ecuador, Colombia
D_{NETAF}	Demanda neta de agua potable por unidad de área tributaria	Consumo proyectado por habitante o suscriptor	L/s.hab	Colombia
D_{NETA}	Demanda neta de agua potable	Consumo proyectado por suscriptor	m ³ /suscriptor/mes	Colombia
D_{NETA}	Demanda neta de agua potable	Consumo proyectado por habitante	L/hab·día	Colombia
A	Área tributaria	Área de drenaje considerada en el diseño	ha	Colombia
P_s	Número de suscriptores	Usuarios proyectados al período de diseño	suscriptores	Colombia
P	Población	Número de habitantes proyectados	hab	Colombia, Chile, México, Argentina,
D	Dotación	Consumo de agua potable por habitante	L/hab·día	Chile
R	Coeficiente de recuperación	Fracción recuperada en el sistema	–	Chile
C	Factor de capacidad	Factor de ajuste normativo	–	Chile
A_p	Aportación de aguas residuales	Descarga residual por habitante por día	L/hab·día	México
C_a	Consumo de agua	Consumo unitario de agua potable	L/hab·día	Argentina
C_v	Coeficiente de vuelco	Fracción de descarga al sistema cloacal	–	Argentina
C_i	Coeficiente industrial	Factor de ajuste por componente industrial	–	Argentina

Como se observa en la Tabla 2, aunque los países analizados estiman conceptualmente el mismo parámetro hidráulico, existen diferencias en la denominación normativa del caudal medio y en la forma de definir sus variables asociadas. En algunos casos, las expresiones incorporan explícitamente coeficientes de retorno o recuperación, mientras que en otros estos factores se encuentran implícitos dentro del concepto de aportación o consumo. Asimismo, se evidencia la inclusión de variables adicionales como área tributaria, número

de suscriptores o coeficientes industriales, lo que refleja enfoques normativos diferenciados en la estructuración del cálculo sanitario.

Entre las variables identificadas, la dotación per cápita constituye el parámetro base para la estimación del caudal medio sanitario. Por ello, se procedió a analizar los valores normativos establecidos en cada país. Este parámetro condiciona directamente la magnitud de los caudales de diseño y refleja los criterios técnicos adoptados en función de variables como tamaño poblacional, condición climática, nivel de complejidad del sistema o disponibilidad hídrica. La Tabla 3 presenta los rangos de dotación definidos en las normativas oficiales vigentes de Ecuador, Colombia, Chile, México y Argentina.

Tabla 3

Valores normativos de dotación según criterios de clasificación por país

País	Criterio normativo	Clasificación	Dotación (L/hab·día)
Ecuador	Tamaño poblacional y clima	Hasta 5000 hab – Frío	120–150
		Hasta 5000 hab – Templado	130–160
		Hasta 5000 hab – Cálido	170–200
		5000–50000 hab – Frío	180–200
		5000–50000 hab – Templado	190–220
		5000–50000 hab – Cálido	200–230
		>50000 hab – Frío	>200
		>50000 hab – Templado	>220
		>50000 hab – Cálido	>230
Colombia	Nivel de complejidad del sistema	Bajo	90 (templado/frío)–100 (cálido)
		Medio	115 (templado/frío)–125 (cálido)
		Medio alto	125 (templado/frío)–135 (cálido)
		Alto	140 (templado/frío)–150 (cálido)
Chile	Agua potable rural (Manual SUBDERE)	Valor recomendado	100 –140
México	Condición climática y grado urbano	Cálido húmedo – Bajo	198
		Cálido húmedo – Medio	206
		Cálido húmedo – Alto	243
		Cálido subhúmedo – Bajo	175
		Cálido subhúmedo – Medio	203
		Cálido subhúmedo – Alto	217
		Seco o muy seco – Bajo	184
		Seco o muy seco – Medio	191
		Seco o muy seco – Alto	202
		Templado o frío – Bajo	140
		Templado o frío – Medio	142
		Templado o frío – Alto	145
Argentina	Balance hídrico anual	Determinada según estudio técnico específico	Variable

Como se observa en la Tabla 3, los países analizados emplean enfoques normativos heterogéneos para la determinación de la dotación per cápita. Ecuador clasifica los valores en función del tamaño poblacional y la zona climática, Colombia establece rangos asociados al nivel de complejidad del sistema, mientras que México define valores diferenciados según condición climática y grado de desarrollo urbano. En el caso de Chile, la dotación recomendada para sistemas rurales se establece en un manual técnico específico, y en Argentina la determinación del consumo unitario depende de balances hídricos y estudios particulares del sistema. Estas diferencias evidencian la ausencia de un criterio regional unificado para la estimación del aporte unitario base del diseño sanitario.

Además de la dotación per cápita, el coeficiente de retorno constituye un parámetro fundamental en la estimación del caudal medio sanitario, ya que representa la fracción del agua consumida que retorna al sistema de alcantarillado. Su definición y rango de valores presentan variaciones normativas entre los países analizados, tanto en su denominación como en su forma de incorporación dentro de las expresiones de cálculo. La Tabla 4 sintetiza los valores establecidos y el criterio adoptado en cada caso.

Tabla 4

Valores normativos del coeficiente de retorno (o equivalente) por país

País	Denominación normativa	Rango / Valor	Forma de incorporación en el cálculo
Ecuador	Coeficiente de retorno	0,70–0,80 (NEC-11) 0,80–0,85 (EMAAP-Q)	Se aplica explícitamente como fracción del consumo que retorna como agua residual. Puede variar según complejidad del sistema y criterios locales.
Colombia	Coeficiente de retorno	0,80–0,85	Se incorpora explícitamente en la expresión del caudal doméstico. Valores definidos según nivel de complejidad del sistema y ajustables por el prestador del servicio.
Chile	Coeficiente de recuperación	0,70–1,00	Se incorpora explícitamente. El proyectista debe justificar técnicamente el valor adoptado según condiciones urbanas y socioeconómicas.
México	Aportación de aguas residuales	0,70–0,75	No define coeficiente independiente. Se expresa como porcentaje de la dotación, funcionando como coeficiente de retorno implícito.
Argentina	Coeficiente de vuelco	0,80	Valor único adoptado directamente en la expresión del caudal medio cloacal.

Como se observa, aunque el concepto hidráulico es equivalente en todos los países, existen diferencias en la denominación normativa y en la estructura de aplicación del coeficiente.

Ecuador, Colombia y Chile lo incorporan de manera explícita dentro de sus expresiones de cálculo, mientras que México lo integra de forma implícita como porcentaje de la dotación. Argentina, por su parte, adopta un valor único fijo. Estas variaciones reflejan distintos niveles de estandarización y flexibilidad normativa en la determinación del aporte efectivo al sistema de alcantarillado.

Caudal máximo diario

Una vez determinado el caudal medio, las normativas incorporan la variabilidad diaria del consumo mediante el cálculo del caudal máximo diario (Tabla 5). Este parámetro representa la demanda promedio correspondiente al día de mayor consumo dentro del período de análisis y se utiliza para el dimensionamiento hidráulico de determinados componentes del sistema de alcantarillado sanitario. A continuación, se presentan las expresiones normativas identificadas en los países analizados.

Tabla 5

Expresiones normativas del caudal máximo diario

País	Expresión normativa
Ecuador	$Q_{max.día} = K_{max.día} * Q_{med}$
Colombia	$Q_{MD} = Q_D + Q_I + Q_C + Q_{IN}$
Chile	No se define como etapa independiente del cálculo
México	No se define como etapa independiente del cálculo
Argentina	No se define como etapa independiente del cálculo

Como se observa en la Tabla 5, únicamente Ecuador y Colombia incorporan explícitamente el cálculo del caudal máximo diario dentro de su metodología de diseño. Ecuador lo determina mediante la aplicación de un coeficiente multiplicativo de variación diaria sobre el caudal medio previamente definido, mientras que Colombia estructura el cálculo como una suma de aportes sectoriales (domésticos, industriales, comerciales e institucionales). En contraste, Chile, México y Argentina no contemplan el caudal máximo diario como una variable independiente dentro de su procedimiento normativo, lo que evidencia diferencias metodológicas en la representación de la variabilidad temporal del consumo.

En el caso ecuatoriano (Tabla 6), el coeficiente $K_{max.día}$ presenta un rango normativo definido entre 1,3 y 1,5, lo que permite ajustar el caudal medio a condiciones de máxima

demanda diaria mediante un enfoque simplificado y multiplicativo. Por su parte, Colombia adopta un esquema desagregado basado en la suma de aportes sectoriales sin incorporar un coeficiente diario explícito. La ausencia de una etapa formal de máximo diario en Chile, México y Argentina refleja diferencias en la estructuración metodológica del cálculo sanitario, particularmente en la forma de representar la variabilidad diaria del consumo.

Tabla 6

Valores normativos de coeficientes asociados al caudal máximo diario

País	Parámetro	Rango / Valor	Criterio normativo
Ecuador	$K_{max.día}$	1,3 – 1,5	Coeficiente de variación del consumo máximo diario aplicado al caudal medio
Colombia	—	—	No emplea coeficiente multiplicativo diario; el caudal se obtiene por suma de aportes
Chile	—	—	No define coeficiente de variación diaria independiente
México	—	—	No define coeficiente de variación diaria independiente
Argentina	—	—	No define coeficiente de variación diaria independiente

Caudal máximo horario

Además del análisis de la variabilidad diaria del consumo, las normativas incorporan la variabilidad horaria mediante el cálculo del caudal máximo horario (Tabla 7). Este parámetro representa la condición instantánea de mayor demanda dentro del día crítico y resulta determinante para el dimensionamiento hidráulico de colectores y estructuras sometidas a picos de flujo. A continuación, se presentan las expresiones normativas identificadas en los países analizados.

Tabla 7

Expresiones normativas del caudal máximo horario

País	Expresión normativa
Ecuador	$Q_{max.hor} = K_{max.hor} * Q_{med}$
Colombia	$Q_{MH_f} = F * Q_{D_f} + Q_{I_f} + Q_{C_f} + Q_{IN_f}$
Chile	$Q_{máx.HAS} = M * Q_{md_{AS}}$
México	$Q_{Inst} = M * Q_{MED}$

Argentina No define caudal máximo horario independiente

Como se observa, Ecuador determina el caudal máximo horario mediante un coeficiente multiplicativo aplicado directamente al caudal medio. Colombia emplea un factor de mayoración aplicado al componente doméstico y posteriormente incorpora los aportes sectoriales. Chile y México utilizan el coeficiente de Harmon (M) como factor de variación horaria dependiente de la población servida. Argentina no establece una etapa específica para el cálculo del máximo horario como variable independiente dentro de su metodología normativa.

Con el fin de profundizar en las diferencias metodológicas identificadas, se analizaron los valores y criterios normativos asociados a los coeficientes empleados en el cálculo del caudal máximo horario. La Tabla 8 resume los parámetros y rangos establecidos en cada país.

Tabla 8

Valores normativos y coeficientes asociados al máximo horario

País	Parámetro	Rango / Valor	Criterio normativo
Ecuador	$K_{\max, \text{hor}}$	2 - 2.3	Coeficiente fijo de variación horaria
Colombia	F	Según ecuaciones empíricas (Flores, Los Ángeles, Gaines)	Factor de mayoración dependiente del caudal medio
Chile y México	M (Harmon)	$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{P}{1000}}}$	Depende de la población servida
Argentina	—	—	No define coeficiente horario independiente

Para facilitar la interpretación de las expresiones anteriores, se presentan a continuación las definiciones de los parámetros involucrados en el cálculo del máximo horario (Tabla 9).

Tabla 9

Definición de parámetros empleados en el cálculo del máximo horario

Símbolo	Denominación	Definición	Unidad	País
$Q_{\max, \text{hor}}$	Caudal máximo horario	Demanda instantánea máxima del sistema	L/s	Ecuador
$K_{\max, \text{hor}}$	Coeficiente de variación horaria	Relación entre caudal máximo horario y caudal medio	—	Ecuador
F	Factor de mayoración	Coeficiente empírico de ajuste horario	—	Colombia
M	Coeficiente de Harmon	Factor de variación horaria dependiente de población	—	Chile, México

P Población Número de habitantes servidos hab Chile, México

El análisis evidencia diferencias metodológicas más marcadas en el tratamiento del máximo horario en comparación con etapas previas del cálculo. Ecuador adopta un coeficiente fijo simplificado, Colombia emplea ecuaciones empíricas dependientes del caudal, mientras que Chile y México utilizan el modelo de Harmon basado en la población servida. La ausencia de una formulación explícita en Argentina y la diversidad de enfoques observados reflejan distintos modelos para representar la variabilidad instantánea del consumo sanitario, lo que puede incidir directamente en el dimensionamiento hidráulico y en los márgenes de seguridad adoptados en el diseño.

Caudal de diseño

El caudal de diseño constituye el valor hidráulico definitivo adoptado para el dimensionamiento del sistema de alcantarillado sanitario (Tabla 10). Este parámetro integra las condiciones de máxima demanda previamente estimadas y, en algunos casos, factores adicionales asociados a seguridad hidráulica, infiltración o aportes extraordinarios.

Tabla 10

Expresiones normativas del caudal de diseño

País	Expresión normativa
Ecuador	$Q_{diseño} = K * Q_{max}$
Colombia	$Q_{DT} = Q_{MHf} + Q_{INF} + Q_{CEf}$
Chile	$Q_{DT} = Q_{máx,HAS} + Q_{riles} + Q_{inf}$
México	$Q_{Mext} = CS * Q_{Minst}$
Argentina	$Q_p = Q_{mc} * C_p + Q_{inf}$

Aunque las notaciones difieren, todas las expresiones corresponden al caudal final adoptado para diseño hidráulico.

Como se observa (Tabla 11), el caudal de diseño se obtiene mediante estructuras metodológicas diferenciadas. Ecuador adopta un coeficiente global multiplicativo aplicado al caudal máximo, mientras que Colombia y Chile incorporan explícitamente componentes adicionales como infiltración y descargas industriales. México introduce un coeficiente de seguridad aplicado al gasto máximo instantáneo, y Argentina incorpora factores de punta y componentes de infiltración en la determinación del caudal pico. Estas diferencias

evidencian distintos enfoques para integrar seguridad hidráulica y aportes extraordinarios en el diseño final (Tabla 12).

Tabla 11

Valores normativos y coeficientes asociados al caudal de diseño

País	Parámetro	Valor / Rango	Criterio normativo
Ecuador	K	4	Coeficiente global multiplicativo aplicado al caudal máximo horario o máximo adoptado.
Colombia	Q_{inf}	Según coeficiente C_i y características del sistema	Considera infiltración explícita
Chile	Q_{riles}	Variable según descargas industriales	Incorpora descargas no domésticas
México	CS	1 – 1,5	Coeficiente de seguridad
Argentina	C_p	Variable según coeficiente de punta	Factor de ajuste para caudal pico

Tabla 12

Definición de parámetros empleados en el cálculo del caudal de diseño

Símbolo	Denominación	Definición	Unidad	País
K	Coeficiente global	Factor multiplicativo de seguridad	–	Ecuador
Q_{inf}	Caudal de infiltración	Aporte adicional por ingreso de aguas externas	L/s	Colombia, Chile
Q_{riles}	Descargas industriales	Aporte de residuos industriales líquidos	L/s	Chile
CS	Coeficiente de seguridad	Factor multiplicativo aplicado al caudal máximo	–	México
C_p	Coeficiente de punta	Factor de mayoración aplicado al caudal medio base.	–	Argentina

El análisis comparativo del caudal de diseño evidencia la mayor divergencia metodológica entre los países estudiados. Mientras Ecuador adopta un enfoque simplificado mediante un coeficiente global fijo, Colombia y Chile incorporan explícitamente componentes adicionales como infiltración y descargas industriales, incrementando el nivel de desagregación del cálculo. México introduce un coeficiente de seguridad aplicado al gasto máximo instantáneo, y Argentina aplica factores de punta específicos asociados al caudal pico. Estas diferencias reflejan distintos niveles de complejidad estructural y distintos márgenes de seguridad hidráulica, lo que puede generar variaciones significativas en los resultados de dimensionamiento entre países.

Discusión

Divergencias metodológicas en la estimación del caudal sanitario

Los resultados obtenidos evidencian que, aunque los países analizados buscan estimar el mismo concepto hidráulico el caudal de diseño para sistemas de alcantarillado sanitario existen diferencias importantes en la estructura metodológica empleada para su determinación. Estas divergencias se manifiestan tanto en la forma de calcular los caudales intermedios (caudal medio, caudal máximo diario y caudal máximo horario) como en los coeficientes y parámetros adoptados en cada normativa.

En el caso del caudal medio sanitario, se observa una convergencia conceptual entre los países analizados, ya que todos parten de la estimación del aporte unitario de aguas residuales asociado a la población servida. Sin embargo, las normativas difieren en la forma de estructurar este cálculo. Mientras Ecuador y México utilizan formulaciones relativamente simplificadas basadas en dotación y población, Colombia incorpora variables adicionales como área tributaria o número de suscriptores, y Argentina integra coeficientes asociados a componentes industriales o factores de descarga desde etapas tempranas del cálculo. Estas diferencias reflejan distintos niveles de desagregación metodológica en la estimación del caudal base del sistema.

La dotación per cápita constituye otro parámetro fundamental dentro de la estimación del caudal medio sanitario. La dotación y el retorno sanitario pueden variar significativamente según las condiciones climáticas, socioeconómicas y urbanas de cada región. Esta variabilidad se refleja en las normativas analizadas, donde algunos países establecen rangos normativos explícitos según tamaño poblacional o condiciones climáticas, mientras que otros adoptan enfoques más flexibles basados en estudios específicos o balances hídricos locales.

Las divergencias metodológicas se acentúan al analizar la variabilidad temporal del consumo. En el cálculo del caudal máximo diario, únicamente Ecuador y Colombia incorporan explícitamente esta etapa dentro de su metodología normativa. Ecuador utiliza un coeficiente de variación diaria aplicado directamente al caudal medio, mientras que

Colombia desagrega el cálculo considerando diferentes tipos de aportes al sistema sanitario. En contraste, Chile, México y Argentina no consideran el máximo diario como una etapa independiente dentro del proceso de cálculo, lo que sugiere una simplificación metodológica o una integración implícita de este efecto en etapas posteriores del dimensionamiento.

Las diferencias se vuelven aún más evidentes en la estimación del caudal máximo horario, que representa la condición instantánea de mayor demanda dentro del sistema. Ecuador adopta un coeficiente fijo de variación horaria aplicado al caudal medio, mientras que Colombia emplea ecuaciones empíricas dependientes del caudal medio sanitario, como las propuestas por Flores, Los Ángeles o Gaines. Por su parte, Chile y México utilizan un coeficiente que relaciona el caudal máximo horario con la población servida, introduciendo una dependencia directa con el tamaño del sistema. Estas variaciones reflejan distintos enfoques para representar la variabilidad instantánea del consumo sanitario y la forma en que cada normativa incorpora los factores de punta dentro del diseño hidráulico.

Finalmente, el análisis del caudal de diseño evidencia el mayor grado de divergencia metodológica entre las normativas analizadas. Ecuador adopta un enfoque simplificado mediante un coeficiente global multiplicativo aplicado al caudal máximo, mientras que Colombia y Chile desagregan explícitamente componentes adicionales como infiltración y descargas industriales. México introduce un coeficiente de seguridad aplicado al gasto máximo instantáneo, y Argentina incorpora factores de punta asociados al caudal pico. Estas diferencias indican que cada país integra de manera distinta los márgenes de seguridad hidráulica y los aportes extraordinarios dentro del cálculo final.

Implicaciones para la comparabilidad técnica en proyectos de saneamiento

Las divergencias metodológicas identificadas en este estudio tienen implicaciones directas en la formulación y evaluación técnica de proyectos de alcantarillado sanitario en América Latina. En un contexto de creciente movilidad profesional y de participación de organismos multilaterales de financiamiento, la existencia de metodologías de cálculo significativamente diferentes puede dificultar la comparabilidad técnica entre proyectos desarrollados en distintos países.

Los parámetros utilizados para estimar los caudales de diseño influyen directamente en el dimensionamiento hidráulico de las redes de alcantarillado, en los diámetros de colectores, en las pendientes adoptadas y, en consecuencia, en los costos de inversión y operación de los sistemas de saneamiento. Diferencias en los coeficientes de variación, en la forma de incorporar infiltración o en los márgenes de seguridad adoptados pueden generar resultados de diseño significativamente distintos incluso bajo condiciones demográficas similares.

En este contexto, la identificación de convergencias y divergencias metodológicas entre normativas nacionales representa un paso relevante para mejorar la comprensión técnica de los criterios de diseño utilizados en la región. Este tipo de análisis comparativo puede contribuir al desarrollo de marcos metodológicos más consistentes y comparables, facilitando la evaluación técnica de proyectos de saneamiento y promoviendo una mayor armonización de criterios de diseño en América Latina.

Conclusiones

El análisis comparativo de las normativas de Ecuador, Colombia, Chile, México y Argentina evidenció que, aunque todos los países buscan estimar el mismo parámetro hidráulico el caudal de diseño para sistemas de alcantarillado sanitario existen diferencias importantes en la estructura metodológica empleada para su determinación. Estas diferencias se manifiestan principalmente en la forma de calcular los caudales intermedios, en los coeficientes utilizados y en la incorporación de componentes adicionales dentro de las expresiones de cálculo, lo que refleja distintos enfoques normativos para el diseño de sistemas de alcantarillado en la región.

En la estimación del caudal medio sanitario se identificó una convergencia conceptual entre los países analizados, ya que todos parten de la relación entre población servida, dotación per cápita y coeficiente de retorno. Sin embargo, se observaron divergencias en la forma de estructurar las expresiones matemáticas y en la inclusión de variables adicionales como área tributaria, número de suscriptores o aportes industriales, lo que evidencia distintos niveles de desagregación metodológica en el cálculo base del sistema.

En relación con los parámetros asociados al caudal medio, particularmente la dotación per cápita y el coeficiente de retorno, se evidenció una alta variabilidad normativa entre los países. Algunos establecen rangos explícitos vinculados a condiciones climáticas o tamaño poblacional, mientras que otros adoptan criterios más flexibles basados en estudios específicos o balances hídricos. Esta diversidad refleja las distintas condiciones territoriales, demográficas y socioeconómicas presentes en los contextos urbanos latinoamericanos.

El análisis de la variabilidad temporal del consumo mostró diferencias metodológicas relevantes en el tratamiento del caudal máximo diario y del caudal máximo horario. Mientras algunas normativas incorporan coeficientes de variación aplicados al caudal medio, otras utilizan ecuaciones empíricas dependientes del caudal o de la población servida, y en algunos casos estas etapas no se consideran explícitamente dentro del procedimiento de cálculo. Estas variaciones reflejan distintos enfoques para representar los picos de demanda dentro del sistema sanitario.

Finalmente, el análisis del caudal de diseño evidenció el mayor nivel de divergencia metodológica entre las normativas analizadas. Mientras algunos países utilizan coeficientes globales simplificados aplicados al caudal máximo, otros incorporan explícitamente componentes adicionales como infiltración, descargas industriales o coeficientes de seguridad. Estas diferencias pueden influir directamente en el dimensionamiento hidráulico de los sistemas de alcantarillado y en los costos asociados a su implementación, lo que resalta la importancia de desarrollar estudios comparativos que contribuyan a una mejor comprensión de los criterios de diseño utilizados en América Latina y a una mayor coherencia técnica en la planificación de infraestructura de saneamiento.

Referencias

- [1] D. Maschio Gastelaars, “El Objetivo de Desarrollo Sostenible 6,” Barcelona, 2019.
- [2] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), “ODS 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles en América Latina y el Caribe,” pp. 1–4, 2019.

- [3] M. N. Khaliq, “Estimation of instantaneous peak flows in Canadian rivers: an evaluation of conventional, nonlinear regression, and machine learning methods,” *Water Science and Technology*, vol. 89, no. 9, pp. 2225–2239, May 2024, doi: 10.2166/wst.2024.096.
- [4] N. S. Al-Amri, H. A. Ewea, and A. M. Elfeki, “Stochastic Rational Method for Estimation of Flood Peak Uncertainty in Arid Basins: Comparison between Monte Carlo and First Order Second Moment Methods with a Case Study in Southwest Saudi Arabia,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 6, Mar. 2023, doi: 10.3390/su15064719.
- [5] C. M. Medina-Rivas, J. A. Morales-Novelo, L. Rodríguez-Tapia, and D. A. Revollo-Fernández, “Mexico city’s decline in per capita domestic water use: a comprehensive spatial-temporal study,” *Urban Water J.*, vol. 22, no. 1, pp. 1 – 15, 2025, doi: 10.1080/1573062X.2024.2423400.
- [6] J. A. Silva Rodríguez de San Miguel, M. M. Trujillo Flores, and F. Lambarry-Vilchis, “Improving urban water supply in Mexico: a systematic review,” *Management of Environmental Quality: An International Journal*, vol. 29, no. 5, pp. 859–876, 2018, doi: 10.1108/MEQ-01-2018-0011.
- [7] D. Rivera-Bravo, C. del Río-López, L. F. García-Castillo, F. Arenas-Vásquez, and F. Godoy-Soto, “Water and municipal ordinances in Chile. Local diagnosis for a scarce resource in a diverse geography; [Aguas y ordenanzas municipales en Chile. Diagnóstico local de un recurso escaso en una geografía diversa],” *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, vol. 51, no. 200, pp. 341 – 360, 2019, [Online]. Available: <https://scopus.puce.elogim.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85069488215&partnerID=40&md5=cbfa4bf6e9af04bf260aa4fd20fb1de9>
- [8] P. Barría *et al.*, “Water allocation under climate change: A diagnosis of the Chilean system,” *Elementa*, vol. 9, no. 1, May 2021, doi: 10.1525/elementa.2020.00131.
- [9] S. A. Rentería-Guevara, J. G. Rangel-Peraza, A. J. Sanhouse-García, F. García-Páez, Y. A. Bustos-Terrones, and C. Franco-Ochoa, “Unsustainable use of surface water

due to water balance miscalculation: the Culiacán River basin, Mexico,” *Int. J. Water Resour. Dev.*, vol. 39, no. 5, pp. 746–772, 2023, doi: 10.1080/07900627.2022.2136144.

- [10] A. Arellano, A. Bayas, A. Meneses, and T. Castillo, “Los consumos y las dotaciones de agua potable en poblaciones ecuatorianas con menos de 150 000 habitantes Drinking water consumption and endowment in Ecuadorian towns with less than 150 000 inhabitants,” *NovaSinergia*, vol. 1, no. 1, pp. 23–32, 2018, Accessed: Jul. 31, 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/326408947_Los_consumos_y_las_dotaciones_de_agua_potable_en_poblaciones_ecuatorianas_con_menos_de_150_000_habitantes_Drinking_water_consumption_and_endowment_in_Ecuadorian_towns_with_less_than_150_000_inhabitant
- [11] Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, *Norma ecuatoriana de la construcción NEC-11 capítulo 16*. Ecuador: Decreto ejecutivo, 2011. Accessed: Feb. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.studocu.com/ec/document/escuela-politecnica-nacional/instalaciones-hidrosanitarias-en-edificios/nec2011-cap16-norma-hidrosanitaria-nhe-agua-021412/5282459>
- [12] EMAAP-Quito, “NORMAS_ALCANTARILLADO_EMAAP,” 2009. Accessed: Sep. 26, 2022. [Online]. Available: https://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2017/08/NORMAS_ALCANTARILLADO_EMAAP.pdf
- [13] A. Arellano, A. Congacha, Lady Espinoza, C. Izurieta, and M. Zuñiga, *Enfoque interdisciplinario para la gestión sustentable del agua potable y de los desechos sólidos en el Ecuador*, Primera. Riobamba: Editorial UNACH, 2024.
- [14] G. F. dos Santos *et al.*, “Socioeconomic Urban Environment in Latin America: Towards a Typology of Cities,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 8, Apr. 2023, doi: 10.3390/su15086380.
- [15] S. Fernández-Alberti, R. Abarca-del-Río, C. Bornhardt, and A. Ávila, “Development and Validation of a Model to Evaluate the Water Resources of a Natural Protected

- Area as a Provider of Ecosystem Services in a Mountain Basin in Southern Chile,” *Front. Earth Sci. (Lausanne)*, vol. 8, Jan. 2021, doi: 10.3389/feart.2020.539905.
- [16] A. C. M. Silva, M. J. M. Cruz, I. H. de S. Azevedo, and A. D. D. Milazzo, “Investigation of geochemical quality of water from public fountains of Salvador,” *Aguas Subterraneas*, vol. 34, no. 1, Jan. 2020, doi: 10.14295/ras.v34i1.29877.
- [17] A. J. Devinentis *et al.*, “Bright and blind spots of water research in Latin America and the Caribbean,” *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 25, no. 8, pp. 4631–4650, Aug. 2021, doi: 10.5194/hess-25-4631-2021.
- [18] E. A. Sánchez Ruiz, L. V. Cremades, and S. Villanueva Benites, “Inequalities in Drinking Water Access in Piura (Peru): Territorial Diagnosis and Governance Challenges,” Aug. 01, 2025, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/su17167542.
- [19] D. Marchetti, R. Oliveira, and A. R. Figueira, “Are global north smart city models capable to assess Latin American cities? A model and indicators for a new context,” *Cities*, vol. 92, pp. 197–207, 2019, doi: 10.1016/j.cities.2019.04.001.
- [20] A. S. Magalhães, A. C. de Souza Andrade, B. de Souza Moreira, A. A. dos Santos Lopes, and W. T. Caiaffa, “Physical and social neighborhood disorder in Latin American cities: a scoping review,” 2023, *Fundacao Oswaldo Cruz*. doi: 10.1590/0102-311XEN038423.
- [21] J. Guzmán Sánchez, M. Perevochtchikova, and M. Kolb, “Wastewater in Latin American urban peripheries: Identifying research trends and challenges through a systematic literature review,” Jun. 25, 2024, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.173019.
- [22] J. Silva, “Rural water access and supply in Mexico and Brazil,” *Tecnologia y Ciencias del Agua*, vol. 15, no. 3, pp. 349–390, May 2024, doi: 10.24850/j-tyca-2024-03-08.

- [23] R. Herrera-Navarrete, A. Colín-Cruz, H. J. Arellano-Wences, M. L. Sampedro-Rosas, J. L. Rosas-Acevedo, and A. L. Rodríguez-Herrera, “Municipal Wastewater Treatment Plants: Gap, Challenges, and Opportunities in Environmental Management,” *Environ. Manage.*, vol. 69, no. 1, pp. 75–88, 2022, doi: 10.1007/s00267-021-01562-y.
- [24] N. Reis, “Between development and banking: the KfW Development Bank in Latin America’s water sector,” *Water Int.*, vol. 47, no. 5, pp. 810–836, 2022, doi: 10.1080/02508060.2022.2105533.
- [25] W. Narzetti, F. S. Pinto, D. Narzetti, and T. Cetrulo, “Reaching Universal Coverage of Water and Sanitation Services: Is Regionalization a Sustainable Path for Developing Countries?,” *Water (Switzerland)*, vol. 15, no. 15, Aug. 2023, doi: 10.3390/w15152756.
- [26] Y. C. Herrera, R. R. Gutierrez, and C. Pacheco-Bustos, “Parsimonious cumulative process-based workflow for early sanitation infrastructure evaluation (CPESI): Case study of Riohacha, Colombia,” Sep. 01, 2024, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.cesys.2024.100203.

Los autores no tienen conflicto de interés que declarar. La investigación fue financiada por los autores.

Copyright (2026) © Diego Enrique Fernández Sánchez, Alfonso Arellano

Este texto está protegido bajo una licencia
[Creative Commons de Atribución Internacional 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

