RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Shelsy Katalina Álvarez Peñaranda Geraldin Alejandra Martínez Jaime
FACULTAD	Ingenierías
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil
DIRECTOR	Dibrey Paola Quintero Criado
CODIRECTOR (si aplica)	No aplica
TÍTULO DE LA TESIS	Análisis técnico de los usos del agua, dotación, consumo y sus implicaciones para la planificación y gestión eficiente de los recursos hídricos
TITULO EN INGLES	Technical analysis of water uses, supply, consumption, and their implications for the planning and efficient management of water resources.

RESUMEN

El manejo eficiente del agua representa un desafío crucial en la planificación sostenible de los recursos hídricos. La crisis que enfrentan diversos países está influenciada por múltiples factores, como el crecimiento poblacional y los efectos del cambio climático. Esto hace necesario un análisis que abarque el estudio de la normativa vigente, y la implementación de estrategias efectivas para posibles crisis hídricas, mitigar el desabastecimiento y los impactos ambientales asociados.

RESUMEN EN INGLES

Efficient water management represents a crucial challenge in sustainable water resource planning. The crisis facing various countries is influenced by multiple factors, such as population growth and the effects of climate change. This requires an analysis that encompasses the review of current regulations and the implementation of effective strategies to address potential water crises, mitigate shortages, and the associated environmental impacts.

PALABRAS CLAVES	Dotación, consumo, usos del agua, cambio climático, precipitación, temperatura, gradiente.
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Supply, consumption, water uses, climate change, precipitation, temperature, gradient.

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 158	PLANOS:	ILUSTRACIONES:44	CD-ROM:

Análisis técnico de los usos del agua, dotación, consumo y sus implicaciones para la planificación y gestión eficiente de los recursos hídricos

Geraldin Alejandra Martínez Jaime

Shelsy Katalina Álvarez Peñaranda

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Civil

Ing. Dibrey Paola Quintero Criado

16 de Mayo de 2025

Nota

El Comité Curricular del Plan de Estudios de Ingeniería Civil, según consta en el Acta No 0052 de fecha 19 de diciembre de 2024, acordó asignar como jurados de la presente monografía a los docentes Susana María Plata Jiménez y Agustín Armando Macgregor Torrado.

Dedicatoria

Al finalizar este proceso tan importante quiero agradecer principalmente a Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y la oportunidad de alcanzar este sueño de convertirme en ingeniera civil. Gracias por escuchar cada una de mis oraciones y permitirme llegar hasta aquí.

A mis padres, Freddy Martínez y Ana Ilse Jaime, por ser mi mayor inspiración, por su amor incondicional y por cada sacrificio que hicieron para apoyarme en este camino. Su guía y su apoyo han sido fundamentales, especialmente en los momentos más difíciles.

A mi novio, Juan Diego Mora, por acompañarme en gran parte de este proceso, por motivarme a dar siempre lo mejor de mí y por recordarme con sus palabras que soy capaz de lograr todo lo que me proponga.

A mis hermanos y a toda mi familia, por su cariño, su apoyo y por ser una parte esencial en este recorrido. Gracias por impulsarme a seguir adelante y por celebrar conmigo cada logro.

Geraldin Alejandra Martínez Jaime

Dedicatoria

Dedico este logro a Dios, quien ha sido mi guía constante, iluminando mi camino y brindándome la fortaleza y perseverancia necesarias para alcanzar mis metas.

A mis pilares, Leonar Álvarez y Luz Ayda Peñaranda, por ser mi ejemplo a seguir. Gracias por todo lo que han hecho y continúan haciendo por mí. Su amor incondicional y su entrega han sido fundamentales para que pueda culminar este proceso académico.

A mi hermana, MariaPaz Álvarez, por ser mi motivación y darme la fuerza en los momentos más difíciles.

A mi tía, Monica Peñaranda,a su esposo Jhon Arévalo y a mis primas Nikolle y Sarah, por acogerme como una hija en su hogar, brindándome su cariño y apoyo en todo momento.

A mis abuelos, tíos y demás familiares, por estar siempre a mi lado y tenerme presente en sus oraciones.

Shelsy Katalina Álvarez Peñaranda

Agradecimientos

A nuestra directora, la ingeniera Dibrey Paola Quintero, por su esfuerzo, dedicación y compromiso en la dirección de este proyecto. Su profesionalismo y entrega fueron fundamentales en cada etapa del proceso, brindándonos siempre su apoyo y orientación cuando más lo necesitamos.

A todos los profesores que, con su conocimiento y vocación, fueron parte esencial de nuestra formación como futuras ingenieras. Gracias por ser los pilares que construyeron las bases de nuestra carrera y por compartir con nosotros su experiencia y enseñanzas, impulsándonos a ser mejores cada día.

Índice

Introducción 14

Capítulo 1. Análisis bibliométrico 16

1.1 Análisis de la Producción Científica 16

1.2 Fuentes Relevantes 17

1.3 Autores Relevantes 18

1.4 Afiliaciones Importantes 19

1.5 Nube de Palabras 20

1.6 Mapa de Árboles 21

1.7 Documentos Más Citados 22

1.8 Red de Concurrencia 23

1.9 Producción Científica Por País 24

Capítulo 2. Generalidades 26

2.1 Tipos de Agua 26

2.1.1 Según su ubicación y procedencia 27

2.1.2 Según su Composición y Tratamiento 28

2.2 Usos del Agua 30

2.2.1 Sector Agrícola 30

2.2.2 Sector Industrial 31

2.2.3 Sector Institucional 31

2.2.4 Sector Pecuario 32

2.2.5 Sector Energía 32

2.2.6 Sector Doméstico 33

2.3 Mínimo Vital de Agua en Colombia 37
2.3.1 Medellín 39
2.3.2 Bogotá 39
2.3.3 Pasto 39
2.3.4 La Estrella 39
2.3.5 Cúcuta 39
2.3.6 Manizales 40
2.3.7 Bucaramanga 40
Capítulo 3. Marco normativo 42
3.1 Marco Normativo Internacional 42
3.1.1 Ecuador 42
3.1.2 Perú 43
3.1.3 Bolivia 44
3.1.4 Costa Rica 45
3.1.5 Nicaragua 46
3.1.6 Brasil 48
3.1.7 Venezuela 49
3.1.8 México 50
3.1.9 España 51
3.2 Marco Normativo Nacional 52
3.2.1 Leyes 53
3.2.2 Decretos 54
3.2.3 Normas 58
3.2.4 Resoluciones 59

3.3 Comparativo 67

Capítulo 4. Cambio climático 70

4.1 Temperatura 70

4.1.1 Cambio de gradiente Térmico 71

4.1.2 Sequías 84

4.2 Precipitación 86

4.2.1 Cambio en el gradiente de precipitación 87

4.3 Consumo Humano. 102

Capítulo 5. Análisis de Casos 110

5.1 Análisis de Riesgos del Consumo de Agua Proveniente de Fuentes Superficiales 110

5.1.1 Efectos adversos en la salud humana 114

5.2 Implementación de Planes para Reducción de Pérdidas técnicas en los Sistemas de Acueductos. 116

5.2.1 Caso de Estudio. 116

Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones 124

Referencias 130

Lista de figuras

Figura 1 Producción Científica Anual 17

Figura 2 Autores Relevantes 19

Figura 3 Nube de palabras 21

Figura 4 Mapa de árboles 22

Figura 5 Red de concurrencia 24

Figura 6 Marco Normativo de Ecuador 43

Figura 7 Marco Normativo de Perú 44

Figura 8 Marco normativo de Bolivia 45

Figura 9 Marco Normativo de Costa Rica 46

Figura 10 Marco Normativo de Nicaragua 47

Figura 11 Marco Normativo de Brasil 48

Figura 12 Marco Normativo de Venezuela 49

Figura 13 Marco Normativa de México 50

Figura 14 Marco Normativo de España 51

Figura 15 Marco Normativo de Colombia 65

Figura 16 Temperatura registrada en los departamentos de la Región Caribe 73

Figura 17 Temperatura media de la Región Caribe 74

Figura 18 Temperatura registrada en los departamentos de la Región Andina 75

Figura 19 Temperatura media de la Región Andina 77

Figura 20 Temperatura registrada en los departamentos de la Región 78

Figura 21 Temperatura media de la Región Orinoquía 79

Figura 22 Temperatura registrada en los departamentos de la Región Pacífico 80

Figura 23 Temperatura media de la Región Pacífica 81

Figura 24 Temperatura en los departamentos de la Región Amazonas 82

Figura 25 Temperatura media de la Región Amazonas 83

Figura 26 Precipitación en los departamentos de la Región Caribe.....89

Figura 27 Precipitación media de la Región Caribe.....90

Figura 28 Precipitación en los departamentos de la Región Andina.....91

Figura 29 Precipitación media Región Andina 93

Figura 30 Precipitación en los departamentos Orinoquía 94

Figura 31 Precipitación media de la Región Orinoquía 95

Figura 32 Precipitación en los departamentos de la Región Pacífico 96

Figura 33 Precipitación media Región Pacífico.....97

Figura 34 Precipitación en los departamentos de la Región Amazonas.....99

Figura 35 Temperatura media Región Amazonas.....100

Figura 36 Consumo de agua pércapita Anual 2021 102

Figura 37 Demanda de Agua por sectores en Colombia.....103

Figura 38 Consumo de Agua en los hogares.....105

Figura 39 Departamentos que más consumen agua en Colombia.....106

Figura 40 Pérdidas de Agua Potable en los Sectores de Colombia.....108

Figura 41 Pérdidas de Agua Potable de los departamentos.....108

Figura 42 Acueducto Metropolitano San José de Cúcuta 118

Figura 43 Gestión de Pérdidas Aparentes Sistema de Acueductos Cúcuta.....119

Figura 44 Gestión de Pérdidas reales del Sistema de Acueducto Cúcuta 121

Lista de Tablas

Tabla 1 Documentos relevantes 16

Tabla 2 Fuentes relevantes 18

Tabla 3 Afiliaciones 20

Tabla 4 Documentos citados 22

Tabla 5 Producción científica por País 25

Tabla 6 Distribución del agua en el mundo 26

Tabla 7 Porcentaje de usos del agua en viviendas en Colombia 35

Tabla 8 Consumo de agua promedio 2003-2008 en Colombia 36

Tabla 9 Rango de consumo básico por clima 37

Tabla 10 Rangos de consumo básico actualizados 37

Tabla 11 Comparativo de dotaciones 68

Tabla 12 Comparativo de Temperatura en Colombia año 1994 y año 2024 84

Tabla 13 Comparativo de precipitación año 1994 año 2024 101

Tabla 14 Consumo de Agua en cultivos 104

Tabla 15 Características físicas 111

Tabla 16 Características químicas que tienen efectos adversos en la salud humana 111

Tabla 17 Características químicas que tienen consecuencias sobre la salud humana 112

Tabla 18 Balance hídrico 117

Tabla 19 Evaluación del consumo 126

Resumen

El manejo eficiente del agua representa un desafío crucial en la planificación sostenible de los recursos hídricos. La crisis hídrica que enfrentan diversos países está influenciada por múltiples factores, como el crecimiento poblacional, la urbanización acelerada y los efectos del cambio climático. Esto hace necesario un análisis integral que abarque el estudio de la normativa vigente, sus posibles mejoras y la implementación de estrategias efectivas para posibles crisis hídricas, mitigar el desabastecimiento y los impactos ambientales asociados.

Este estudio se desarrolla en cinco capítulos. En primer lugar, se realiza un análisis bibliométrico mediante una búsqueda en la base de datos Scopus, con el propósito de identificar tendencias y antecedentes clave sobre la distribución del agua según su consumo y uso.

Posteriormente, el capítulo de generalidades establece un marco conceptual que incluye definiciones fundamentales, antecedentes históricos, la clasificación de los diferentes tipos de agua, sus usos y el mínimo vital de consumo de agua potable.

El tercer capítulo aborda el marco normativo relacionado con la dotación y el consumo de agua, analizando tanto regulaciones internacionales en distintos países, así como la legislación colombiana. Se presenta un análisis comparativo mediante tablas para evaluar las diferentes formas en que regula cada país el consumo de agua.

En el cuarto capítulo, se examina el impacto del cambio climático en el consumo de agua, analizando variaciones en temperatura y precipitación, así como sus repercusiones en la disponibilidad y demanda del recurso. Se estudian fenómenos como el cambio de gradiente

térmico, las sequías y las alteraciones en los patrones de precipitación, identificando sus efectos sobre los sistemas de abastecimiento.

Finalmente, el quinto capítulo desarrolla un análisis de casos a nivel internacional, destacando estrategias exitosas en la gestión del agua que podrían adaptarse a Colombia. Se examinan riesgos asociados al consumo de agua superficial y se estudian planes de reducción de pérdidas técnicas en sistemas de acueductos, con un caso específico en San José de Cúcuta. A partir de estos hallazgos, se formulan recomendaciones para optimizar la eficiencia en la dotación del agua mediante una matriz de dotaciones según diferentes usos.

Introducción

La siguiente monografía analiza la importancia de la gestión eficiente del agua, su dotación y consumo, así como sus implicaciones en la planificación sostenible de los recursos hídricos. Además, examina los desafíos que enfrentan distintas regiones de Colombia y otros países, presentando casos de estudio con problemáticas específicas y proponiendo recomendaciones para mitigar las crisis relacionadas con el recurso hídrico.

El agua es un recurso esencial para la vida y el desarrollo humano, pues su uso abarca desde actividades domésticas básicas hasta procesos industriales de gran magnitud. No obstante, a nivel global, la accesibilidad y distribución del agua han enfrentado diversos desafíos, especialmente en América Latina, donde, a pesar de contar con grandes reservas hídricas, persisten desigualdades significativas en su acceso y disponibilidad (Mahlknecht et al., 2020).

El aumento de la demanda de agua debido al crecimiento poblacional, la urbanización y los efectos del cambio climático ha intensificado la presión sobre los sistemas de abastecimiento. Aunque la cantidad de agua en el planeta se mantiene constante, su uso desmedido y la contaminación han provocado situaciones de estrés hídrico en diversas regiones. Estos factores hacen evidente la necesidad de implementar estrategias de gestión más sostenibles que optimicen la distribución del recurso y garanticen su disponibilidad a largo plazo.

La intención de este trabajo se basa en la compilación y el análisis de los distintos usos del agua —doméstico, agrícola, industrial, comercial e institucional—, evaluando los patrones de consumo y las metodologías empleadas para medir y reducir las pérdidas a lo largo del proceso de captación, transporte y distribución. Asimismo, se examinarán las normativas vigentes en

distintos países, como España, Nicaragua, Perú, México, Brasil, Bolivia y Costa Rica, con el fin de identificar buenas prácticas y oportunidades de mejora en la regulación del recurso hídrico.

Finalmente, se presentará un análisis comparativo que permitirá proponer lineamientos para una planificación hídrica más eficiente, considerando la situación actual de escasez y los retos futuros. De esta manera, la investigación contribuirá a la formulación de estrategias que fortalezcan la gestión del agua y promuevan su uso responsable, garantizando su sostenibilidad para las generaciones futuras (Sadoff, C. W., & Muller, M., 2010).

Capítulo 1. Análisis bibliométrico

Con el objetivo de realizar un análisis bibliográfico referente al tema de estudio se hizo una recolección de información teniendo la siguiente ecuación de búsqueda "supply AND of AND water AND for AND consumption AND by AND uses" en la base de datos Scopus en donde se encontraron un total de 11512 documentos. Posteriormente se delimitó la búsqueda de estudios realizados en el área de ingeniería entre los años 1980 al 2024, además de las siguientes palabras claves: Water Supply, Water consumption, Water Conservation, Water Use, Irrigation.

Después de aplicar los filtros, la búsqueda se redujo a 2137 resultados los cuales se tuvieron en cuenta para realizar el análisis en bibliometrix. Se encontraron diferentes documentos como artículos, libros y documentos de conferencia como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Documentos relevantes

Tipo de documento	**Resultados**
Artículos	1576
Libros y capítulos de libros.	58
Documentos de conferencia y demás	503

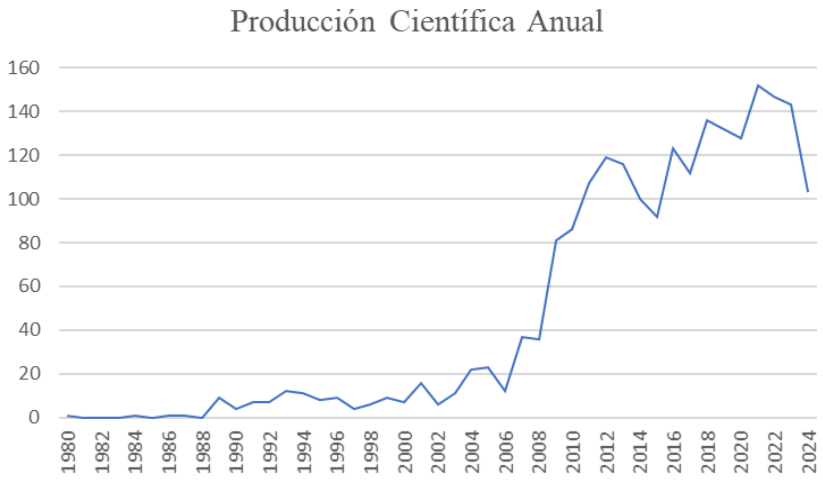
Nota. Datos obtenidos de Scopus.

1.1 Análisis de la Producción Científica:

La producción científica anual que se ha realizado a través del tiempo nos indica que desde 1980 hasta el 2008 fue baja ya que solo se producían menos de cuarenta investigaciones al año, pero a partir del 2009 se ha evidenciado un aumento significativo que se ha mantenido hasta la fecha como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Producción Científica Anual



Nota. Gráfico obtenido de Bibliometrix.

1.2 Fuentes Relevantes:

La Tabla 2 muestra las fuentes más relevantes que han realizado aportes científicos significativos, destacando en primer lugar la Revista “Journal of Cleaner Production” que cuenta con un total de 224 artículos publicados.

Tabla 2

Fuentes relevantes

Fuente	Artículos
JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	224
WATER RESOURCES MANAGEMENT	131
NONGYE GONGCHENG XUEBAO/TRANSACTIONS OF THE CHINESE SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING	126
DESALINATION	86
WATER RESEARCH	78
JOURNAL OF WATER RESOURCES PLANNING A	64
APPLIED ENERGY	62
NONGYE JIXIE XUEBAO/TRANSACTIONS OF THE CHINESE SOCIETY FOR AGRICULTURAL MACHINERY	59
DESALINATION AND WATER TREATMENT	47
ADVANCED MATERIALS RESEARCH	31

Nota. Datos obtenidos de Bibliometrix.

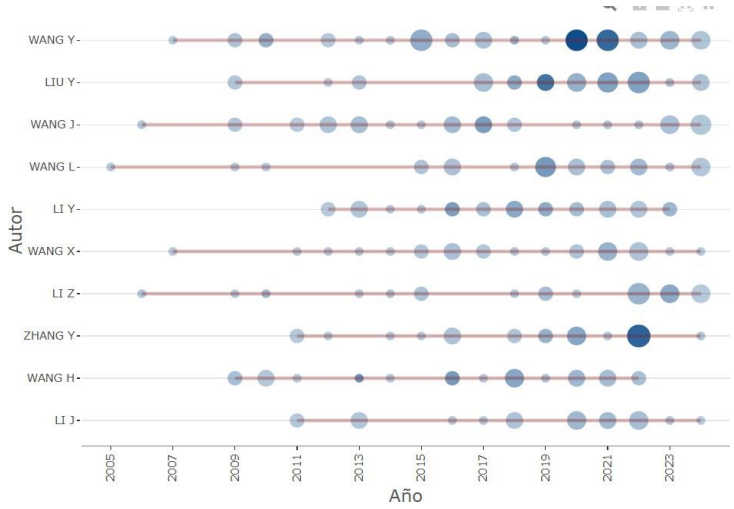
1.3 Autores Relevantes:

Wang Y es el autor con más producción de artículos relacionados con el tema en estudio como se muestra en el gráfico 1. La mayoría de sus contribuciones científicas se han realizado en

los últimos cinco años, lo que destaca su creciente influencia en el desarrollo y experiencia en el área.

Figura 2

Autores Relevantes



Nota. Gráfico obtenido de Bibliometrix.1.

1.4 Afiliaciones Importantes:

La tabla 3 muestra las diez universidades con mayor producción académica en el mundo. La Universidad NORTHWEST AADF ubicada en Yangling, Shaanxi, China lidera la lista con 81 artículos, luego la Universidad CHINA AGRICULTURAL con 48 artículos. Es importante destacar que siete instituciones que se encuentran en el Ranking son chinas lo que refleja el impacto de este país en la investigación científica a nivel mundial.

Tabla 3

Afiliaciones

Afiliación	Artículos
NORTHWEST AANDF UNIVERSITY	81
CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY	48
CHINA INSTITUTE OF WATER RESOURCES AND HYDROPOWER RESEARCH	42
HOHAI UNIVERSITY	35
TSINGHUA UNIVERSITY	32
BEIJING NORMAL UNIVERSITY	31
NOTREPORTED	27
GRIFFITH UNIVERSITY	26
UNIVERSITY OF CHINESE ACADEMY OF SCIENCES	25
UNIVERSITY OF CALIFORNIA	23

Nota. Datos obtenidos de Bibliometrix.

1.5 Nube de Palabras:

La nube de palabras ilustra los términos más importantes que se encuentran en la bibliografía seleccionada, entre los cuales Water supply (suministro de agua), Water consumption (consumo de agua) entre otros, se destacan como conceptos claves para la gestión, uso y acceso del agua.

Figura 3

Nube de palabras



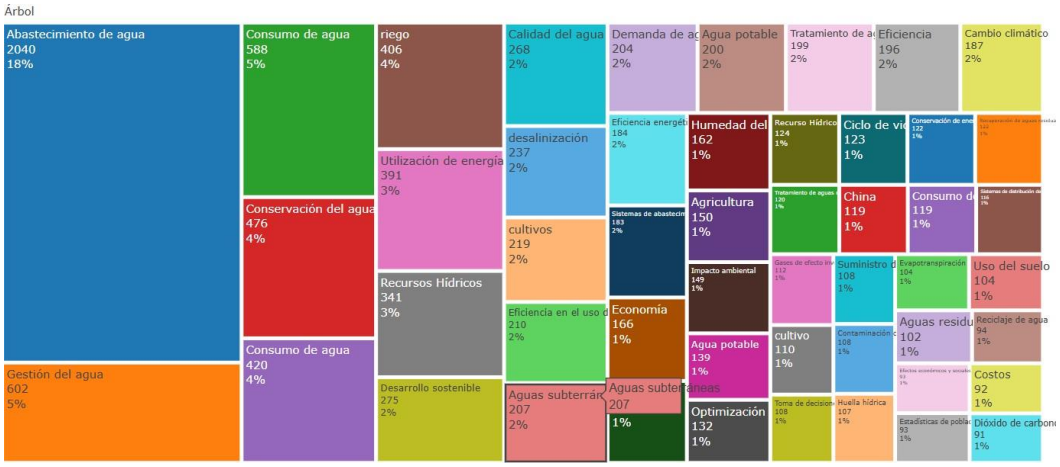
Nota. Gráfico obtenido de Bibliometrix.

1.6 Mapa de Árboles:

El mapa de árboles de la figura es una representación visual que contiene los porcentajes de los términos más relevantes en la documentación seleccionada, donde el abastecimiento y la gestión del agua son las áreas más discutidas y en base a esto podemos evidenciar la disponibilidad del recurso hídrico y su calidad; además de la necesidad de adoptar nuevas soluciones entre ellas algunas tecnológicas como la desalinización, y aspectos ambientales y agrícolas como el tratamiento de agua y su conservación.

Figura 4

Mapa de árboles



Nota. Gráfico obtenido de Bibliometrix.

1.7 Documentos Más Citados:

El artículo más citado es "Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability" con 1205 citas. Este estudio aborda el proceso de desalinización y sus costos, un tratamiento que ha ganado relevancia debido al crecimiento poblacional y la creciente escasez de agua en diversas regiones.

Tabla 4

Documentos citados

Nombre, Año, Articulo	**DOI**	**Citas totales**
GHAFFOUR N, 2013, DESALINATION	10.1016/j.desal.2012.10.015	1205

Nombre, Año, Articulo	DOI	Citas totales
MEYER C, 2009, CEM CONCR COMPOS	10.1016/j.cemconcomp.2008.12.010	1195
HOEKSTRA AY, 2007, WATER RESOUR MANAGE	10.1007/s11269-006-9039-x	1146
ALKLAIBI AM, 2005, DESALINATION	10.1016/j.desal.2004.03.024	665
BASTIAANSSEN WGM, 2005, J IRRIG DRAIN ENG	10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(85)	624
GUDE VG, 2016, WATER RES	10.1016/j.watres.2015.11.012	399
PEÑATE B, 2012, DESALINATION	10.1016/j.desal.2011.09.010	399
ZHANG H, 2013, APPL ENERGY	10.1016/j.apenergy.2013.02.019	395
ELSER JJ, 2012, CURR OPIN BIOTECHNOL	10.1016/j.copbio.2012.03.001	264
ANAND A, 2018, DESALINATION	10.1016/j.desal.2017.12.012	262

Nota. Datos obtenidos de Bibliometrix.

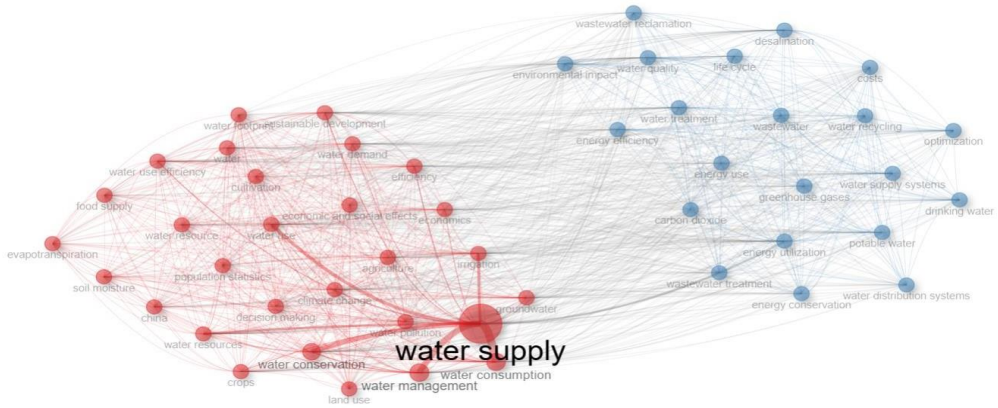
1.8 Red de Concurrencia

Una red de concurrencia visualiza la interrelación entre múltiples términos como se muestra en la imagen 5, donde se vinculan conceptos del agua, divididos en dos grandes grupos con diferentes enfoques, siendo el más importante el suministro de agua, que se encuentra enfocado en la relación entre el agua y el medio ambiente, la agricultura, y los recursos naturales

y su conexión con el tratamiento de aguas residuales, reutilización de agua, desalinización, impacto ambiental, y calidad del agua, éste último grupo se centra en la infraestructura, el procesamiento y la sostenibilidad del agua, especialmente en términos de tratamiento y reutilización.

Figura 5

Red de concurrencia



Nota. Gráfico obtenido de Bibliometrix.

1.9 Producción Científica Por País

La siguiente tabla nos muestra los diez países que más contribuyen en la investigación científica, siendo China el número uno en la lista con el 23,6 % de los artículos publicados, luego sigue Estados Unidos con un 7,3%, reflejando el papel crucial de estas naciones en la generación de conocimiento científico a nivel mundial. Además, se recalca que ningún país de Latinoamérica se encuentra, lo que nos muestra la necesidad de fortalecer el apoyo en la investigación científica.

Tabla 5

Producción científica por País

País	**Artículo**	**%Artículos**
China	505	23.6
Estados Unidos	157	7.3
España	68	3.2
Australia	67	3.1
Reino Unido	58	2.7
Irán	56	2.6
Canadá	50	2.3
Italia	49	2.3
India	46	2.2
Alemania	36	1.7

Nota. Datos obtenidos de Bibliometrix.

Capítulo 2. Generalidades

2.1 Tipos de Agua

El agua es un recurso natural presente en el planeta Tierra que alberga el 70% de la superficie terrestre en una capa denominada hidrosfera. La hidrosfera incluye todas las masas de agua, tanto dulces como saladas, que se encuentran en el mundo, distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 6

Distribución del agua en el mundo

Fuente	**Volumen (10^3 km^3)**
Océano	1.338.000
Aguas subterráneas (gravedad y capilaridad)	234.001
Aguas subterráneas dulces	10.530
Humedad del suelo	16,5
Glaciares y nieves perpetuas	24.064
Lagos	76,4
Marismas y pantanos	11,5
Ríos	2,12
Biológica	1,12
Atmósfera	12,9

Nota. Datos tomados de (UNESCO, 2016)

Como se muestra en la tabla 1 “el agua, a diferencia de otros recursos naturales , circula y puede distribuirse de manera desigual en el tiempo y el espacio a lo largo de su ciclo” (Yano et al., 2020, p.2) permitiendo que esta misma se encuentre en diferentes estados y con propiedades variables, lo que se ve reflejado también en los tipos de agua que existen, los cuales varían de acuerdo a su origen, características físicas, químicas y usos.

2.1.1 Según su ubicación y procedencia:

2.1.1.1 Agua Superficial. Según (Murphy & Ramsey, 2007) es la cantidad de agua líquida que fluye o reposa en la superficie terrestre y está abierta a la atmósfera, incluye cuerpos de agua que no tienen un flujo continuo (lagos, estanques, lagunas, embalses artificiales) y cuerpos de agua en movimiento como ríos, arroyos y acequias. Además se origina a lo largo de los años por las precipitaciones y ascenso de aguas subterráneas. Debido a su exposición directa con la atmósfera es más susceptible a cambios estacionales, contaminación microbiológicamente causada por metales pesados, productos químicos y cargas orgánicas.

2.1.1.2 Agua Subterránea. Es el agua que se infiltra en la superficie terrestre a través de espacios porosos del suelo o fisura de rocas y se almacena en depósitos de agua denominados acuíferos. El agua subterránea es fundamental para los ecosistemas ya que permite el mantenimiento del caudal de los ríos, lagos y humedales durante los períodos secos (Alley, 2009).

2.1.1.3 Agua Meteorológica. Es el agua procedente de las precipitaciones de nieve y lluvia.

2.1.2 Según su Composición y Tratamiento:

2.1.2.1 Agua Salada. Es aquella que contiene una variedad de elementos y compuestos como minerales y gases. Su propiedad química principal es la concentración de sales, entre las que se incluyen cloruros, carbonatos y sulfatos, estos porcentajes pueden cambiar geográficamente debido a las precipitaciones, la escorrentía terrestre y el derretimiento del hielo (Talley, 2002). De acuerdo a su salinidad el agua salada se clasifica en:

2.1.2.2 Agua de Mar. Es la solución iónica acuosa más grande de la Tierra que se conformada aproximadamente por un de 3,5% de sales disueltas y siete iones Na (sodio), Mg (magnesio), Ca (calcio), K (potasio), Cl (cloro), S (azufre) y Br (bromo) (Curcio & Profio, 2019).

2.1.2.3 Agua Salobre. Es una solución semisalina con concentraciones de sales intermedias que oscilan entre 0,05 y 3,0 %. Las aguas salobres se presentan en estuarios y áreas deltas, donde se combina el agua salada con agua dulce o en acuíferos con presencia de rocas salinas.

2.1.2.4 Agua Dulce. Es aquella que proviene de fuentes hídricas superficiales o subterráneas y se caracteriza por su baja cantidad de sales y sólidos.

2.1.2.5 Agua Cruda. En el decreto 1575 por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano se define el agua cruda como el “agua natural que no ha sido sometida a proceso de tratamiento para su potabilización" (Presidencia de la República de Colombia, 2007, Artículo 2).

2.1.2.6 Agua Potable. Es la que ha pasado por un proceso de tratamiento adecuado, cumpliendo con las características físicas, químicas y microbiológicas establecidas en las Guías de Calidad de la Organización Mundial de la Salud (OMS), siendo apta para el consumo humano ya que no representa riesgo para la salud humana y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal. Cabe resaltar que las composiciones químicas del agua potable dependen de la fuente de agua, el método de tratamiento y el sistema de distribución que se utilice (Sheibani & Mohammadi, 2018).

2.1.2.7 Agua Residual. Es el agua con diversos desechos contaminantes generados por actividades humanas, incluidas la contaminación industrial debido a la descarga de químicos y metales procedentes de los procesos utilizados, la contaminación viva que son los residuos domésticos y las fuentes de contaminación agrícola (heces de ganado, pesticidas y fertilizantes) (Liu et al., 2025). Asimismo, estas aguas pueden reutilizarse de forma beneficiosa a través de tratamientos dependiendo del uso previsto sin causar efectos adversos para el medio ambiente o la salud (Englande & Krenkel, 2003).

2.1.2.8 Aguas Grises. Son aguas provenientes del lavado, duchas, bañeras, cocina y lavadora compuestas por materia orgánica e inorgánica y microorganismos.

2.1.2.9 Aguas Negras. Son aquellas que están contaminadas con materia fecal, orina y material orgánico con concentraciones altas de patógenos representado un riesgo para la salud humana y el medio ambiente.

2.1.2.10 Agua Destilada. Es el agua que ha sido tratada por medio de un proceso químico de destilación para eliminar impurezas, minerales, contaminantes y microorganismos.

2.2 Usos del Agua:

El agua es un fluido vital en el funcionamiento de los ecosistemas y en el desarrollo de la sociedad humana. Su uso abarca diversos sectores fundamentales que contribuyen tanto a las actividades humanas, como a procesos industriales, ambientales, entre otros. De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) en su Estudio Nacional del Agua 2022 podemos mencionar los siguientes sectores:

2.2.1 Sector Agrícola.

El agua es un recurso esencial para la agricultura, su consumo se encuentra entre el 70% y el 86% mundialmente, siendo el sector con mayor extracción del recurso. El agua utilizada en la parte agrícola proviene de fuentes de agua superficiales, subterráneas y de las precipitaciones que contribuyen en una parte considerable (Liu et al., 2025). Su principal uso es el riego de cultivos, un proceso fundamental para garantizar la producción sostenible de alimentos, fibras y biocombustibles; Así como en procesos de preparación del suelo, fertilización, y mantenimiento de la biodiversidad en sistemas agroforestales. Por esta razón, la disponibilidad y calidad del agua impacta directamente en los rendimientos agrícolas y en la seguridad alimentaria global.

Se espera que el cambio climático impacte en el uso de la tierra, la demanda de agua y los recursos hídricos debido a la reducción de la oferta del mismo, aumentando la competencia por los recursos (Wilson et al., 2024),por tanto con el fin de optimizar el uso del agua y minimizar el desperdicio, se han desarrollado sistemas de riego eficientes, como el riego por goteo y por aspersión, que permiten una distribución precisa y uniforme del agua, adaptándose a las necesidades específicas de cada cultivo.

2.2.2 Sector Industrial:

Es un importante consumidor de agua a nivel mundial, representa aproximadamente el 22 % del uso en el mundo y su gasto se deriva de los procesos para la elaboración de productos y la utilización de equipos en plantas de fabricación, refinerías de mineral y petróleo, donde sirve, por ejemplo, como agente de enfriamiento, solvente, para la generación de vapor y como reactivo químico (Teo et al., 2025).

2.2.3 Sector Institucional:

Abarca el uso del agua en edificaciones e instalaciones destinadas a ofrecer servicios públicos y sociales esenciales, como educación, salud, administración gubernamental, justicia y culto. Este sector incluye colegios, universidades, hospitales, oficinas públicas, cárceles e instituciones religiosas, entre otras. El consumo de agua en estas entidades está relacionado con actividades como higiene, limpieza, preparación de alimentos, mantenimiento de áreas comunes y procesos específicos según la naturaleza de cada institución, como la esterilización en hospitales y oficios varios en instituciones educativas.

Según Bonet et al, (2001) los usos del agua en centros universitarios de gran tamaño son similares a los usos que se dan en ciudades de tamaño medio y que comprender esto es importante para realizar procesos de gestión ambiental en las instituciones. Por tanto, el manejo del agua en el sector institucional debe enfocarse en garantizar un uso racional, sostenible y en cumplimiento de normativas ambientales y de salud pública**.**

2.2.4 Sector Pecuario:

El decreto 3930 por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones establece que “se entiende por uso pecuario del agua, su utilización para el consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales, así como para otras actividades conexas y complementarias”(Presidencia de la República de Colombia, 2010, Artículo 14).

2.2.5 Sector Energía:

Comprende el uso del agua en la generación, transmisión y distribución de energía. Este sector incluye diversas tecnologías y procesos, como la generación hidroeléctrica, que utiliza grandes volúmenes de agua para mover turbinas; las plantas termoeléctricas, donde el agua es empleada para la refrigeración de equipos y procesos; y la energía nuclear, que también depende del agua como medio de enfriamiento. Además, el agua es utilizada en la extracción y refinamiento de combustibles fósiles, así como en la producción de biocombustibles.

El reto al que se enfrenta el Sector Eléctrico es conseguir la mayor eficiencia en el uso del agua, teniendo siempre en cuenta el papel que cada tecnología de generación tiene en la cobertura de la demanda eléctrica (Navalón, B.2008). Según este autor la gestión del recurso hídrico en este sector es crucial, dado que muchas tecnologías energéticas dependen directamente de su disponibilidad en cantidad y calidad adecuada.

2.2.6 Sector Doméstico:

Su uso del agua comprende las necesidades básicas humanas como la preparación de alimentos y la limpieza, también se incluye la demanda de agua para actividades como el riego de jardines , el llenado de piscinas y el lavado de coches (Roshan & Kumar, 2020).Los patrones de consumo de agua residencial están influenciado por diferentes factores como la geografía, el estrato socioeconómico, el tamaño de la población, las condiciones climáticas, entre otros, los cuales determinan en gran parte el gasto del recurso hídrico en este sector.

Por otro lado, cabe resaltar que el agua para uso doméstico o residencial debe ser tratada para que cumpla con los estándares de calidad establecidos a nivel internacional y nacional de cada país para garantizar su potabilidad y seguridad, de manera que no represente riesgos a la salud humana.

Así como se establece la calidad del agua para este sector también se regula su consumo a través de políticas públicas que promueven el uso eficiente del recurso en los hogares, asegurando el agua para todos.

Un caso representativo es Colombia donde el precio de agua influye directamente en el consumo del sector residencial, motivo por el cual la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) estableció una estructura de tarifas del servicio público de agua potable basada en bloques de consumo, así como lineamientos para que las empresas proveedoras del servicio calculen los precios de cada bloque de acuerdo con el volumen de agua consumido (Narváez, 2015) y de subsidios otorgados por el gobierno buscando un equilibrio entre la eficiencia en el uso del recurso y el acceso al servicio.

2.2.6.1 Rangos de Consumo de Agua en Colombia. De acuerdo con la Resolución de la CRA 271 DE 2003 en Colombia se definieron tres categorías de rangos de consumo: consumo básico, consumo complementario y consumo suntuario

El consumo básico hace referencia a aquel destinado a satisfacer las necesidades esenciales.

El consumo complementario es el consumo que excede el consumo básico derivado de actividades que no satisfacen las necesidades fundamentales y el consumo suntuario es aquel que supera el consumo complementario.

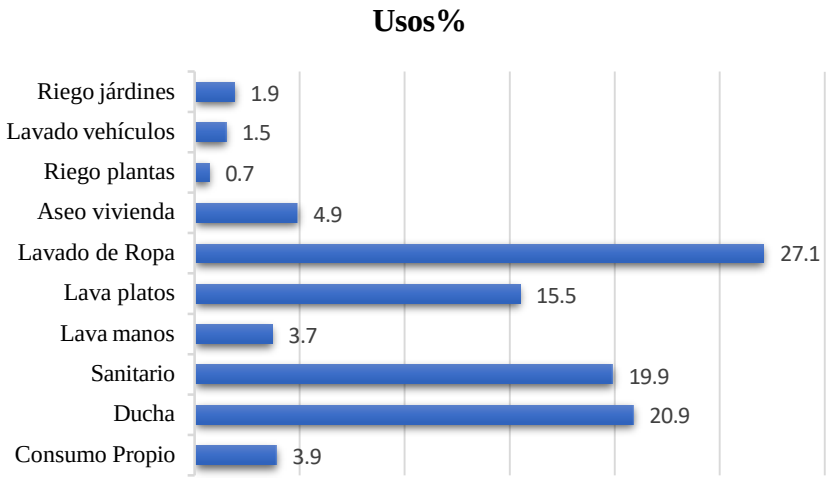
2.2.6.1.1 Antecedentes de los Usos de Consumo Básico. El departamento de Planeación Nacional en 1991 llevó a cabo un estudio para determinar el consumo básico en Colombia basado en cinco ciudades del país: Bogotá, Santiago de Cali, Medellín, Bucaramanga y Valledupar.

Dicho estudio se realizó mediante dos fases: la primera consistió en medir durante una semana completa el uso del agua en algunas viviendas seleccionadas, lo que permitió calcular los indicadores de consumo per cápita por día.

La segunda fase fue la aplicación de encuestas de usos, resultado que se tomó como los usos esenciales de una familia, estos son:

Tabla 7

Porcentaje de usos del agua en viviendas en Colombia



Nota. Datos tomados de Determinación del consumo básico de agua potable subsidiable en Colombia, Junca, 2000

A partir de estas fases se pudo determinar que alrededor de 20 m3 mensuales por suscriptor era el consumo básico en Colombia.

Para determinar el consumo básico en los servicios públicos de acueducto y alcantarillado se llevaron a cabo tres alternativas:

1. Se estimaron los límites de consumo domiciliario teniendo en cuenta el gasto de agua, los estratos 1,2,3 porque son los estratos objeto de subsidio y el número de promedio de personas de las ciudades de Bogotá, Cali, Medellín, Bucaramanga y Valledupar debido a sus características climáticas y culturales.

2. Se analizaron las tendencias de consumo promedio con información del número de suscriptores por estrato, el consumo total en metros cúbicos y la distribución de los consumos que manejaban las empresas prestadoras del servicio durante los años 2003-2008 obteniendo como resultado la tabla 8:

Tabla 8

Consumo de agua promedio 2003-2008 en Colombia

Clima frío		**Clima templado**		**Clima cálido**	
Ciudad	**(m3)**	**Ciudad**	**(m3)**	**Ciudad**	**(m^3)**
Bogotá	12,90	Medellín	15,28	Barranquilla	20,00
Pasto	15,63	Armenia	14,64	Bucaramanga	20,24
Manizales	17,79	Pereira	17,84	Cali	20,57
Tunja	14,60	Popayán	16,80	Santa Marta	13,66
		Ocaña	17,89	Buga	21,88
				Cartagena	15,72
				Girardot	19,36
				Cartago	16,41
Promedio	**15,21**	**Promedio**	**16,49**	**Promedio**	**18,68**

Nota. Datos tomados de (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2008)

3. Se realizó elasticidad precio demanda donde se pudo determinar que el estrato 3 es el que más consume y el estrato 1 es el de menor consumo.

De acuerdo a estas alternativas se pudo determinar el consumo por rangos teniendo en cuenta la variación climática que presenta el país.

Tabla 9

Rango de consumo básico por clima

Clima	**Altitud**	**Rango de consumo básico (m^3/ suscriptor/mes)**
Cálido	0-1000	19
Templado	1000-2000	18
Frío	>2000	17

Nota. Datos tomados de (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2008)

Actualmente estos rangos de consumo fueron renovados por la Resolución de la CRA 750 de 2016 para garantizar el uso racional y ahorro de agua quedando de la siguiente manera:

Tabla 10

Rangos de consumo básico actualizados

Clima	**Altitud**	**Rango de consumo básico (m^3/ suscriptor/mes)**
Cálido	0-1000	16
Templado	1000-2000	13
Frío	>2000	11

Nota. Datos tomados de (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016)

2.3 Mínimo Vital de Agua en Colombia:

El agua es un derecho fundamental para todas las personas reconocido oficialmente por la resolución 64/292 de las Naciones Unidas y aprobado por la Resolución 21/2 de 2012 Del Consejo de Derechos humanos donde se establece el acceso al agua como recurso esencial para vivir una vida digna y para garantizar el cumplimiento de todos los derechos humanos. Este derecho obliga a los países a trabajar por el acceso universal del agua sin discriminación alguna, priorizando a los más necesitados, respaldando su disponibilidad, accesibilidad, asequibilidad para todos sin negar el servicio incluso si no puede pagarlo. En este contexto, algunas entidades territoriales de Colombia adoptaron la política pública mínimo vital como una respuesta ante este derecho.

El mínimo vital de agua se refiere a la cantidad de agua necesaria para cubrir las necesidades básicas de una persona, garantizando su salud, higiene y bienestar. Este concepto se utiliza para asegurar que todos los individuos tengan acceso a agua suficiente para satisfacer sus necesidades esenciales sin que se produzcan problemas a la salud humana, ni desperdicio de la misma (Vargas, 2024).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas se estima que una persona necesita alrededor de 50 a 100 litros de agua al día para cubrir las necesidades fundamentales, cifra que se utiliza para determinar políticas públicas y programas de acceso al agua.

En Colombia se ha definido por la Corte constitucional que la cantidad suficiente por persona es el mismo rango de la ONU, sin embargo, no hay una cifra única de mínimo vital para todo el territorio, en su lugar se han establecido varias cantidades como mínimo vital de agua potable desde diferentes entes públicos teniendo en cuenta la población, las condiciones climáticas, entre otros (Restrepo Gutiérrez & Zárate Yepes, 2016).

El mínimo vital gratuito establecido para algunas ciudades de Colombia es el siguiente:

2.3.1 Medellín

Establece un mínimo vital de 2,5 m^3 por persona al mes.

2.3.2 Bogotá

El mínimo vital de la ciudad es de 6 m^3 por suscriptor, este valor fue otorgado por el Decreto 064 de 2012 y beneficia a todas las localidades especialmente a poblaciones como Suba, Bosa, Ciudad Bolívar, entre otras (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2012, Artículo 1).

2.3.3 Pasto

El "Programa Mínimo Vital de Agua Potable más Agua más Verde", establece un mínimo de 5 m3 del hogar para personas de estrato 1.

2.3.4 La Estrella

Según el acuerdo 005 de 2012 el mínimo vital para este municipio es de 10 m^3 por usuario al mes para familias de estrato 1 y 2 (Alcaldía de la Estrella, 2012).

2.3.5 Cúcuta

Se estableció el mínimo vital mediante el acuerdo N° 26 de 2021 para estratos uno y dos de uso residencial en donde se le otorga al alcalde definir hasta 6 m^3 mensuales por usuario

cantidad que se suministrará a las poblaciones vulnerables, si estos usuarios superan el límite establecido deberán cancelar por el exceso de consumo (Alcaldía de San José de Cúcuta, 2021).

2.3.6 Manizales

El mínimo vital en esta ciudad cubre 5 m^3 al mes por suscriptor para estratos 1 y 2, sin embargo, para acceder a este beneficio los usuarios no deben exceder los 13 m^3 de consumo, restricción que tiene por objetivo el uso responsable y eficiente del recurso hídrico.

2.3.7 Bucaramanga

Al igual que Bogotá y Cúcuta el mínimo vital para Bucaramanga es de 6 $m^{3.}$, cifra aprobada por el Decreto 0215 de 2013.

Es de suma importancia recalcar que, en la ciudad de Medellín en comparación a las otras ciudades, “la cantidad de agua auspiciada se fijó en relación con los usuarios identificados en cada inmueble y no en relación con el suscriptor” (Zapata Gutiérrez, 2021, p.57), lo que permite que el mínimo vital se ajuste a las necesidades reales de cada hogar.

El mínimo vital es una política que no se implementa a nivel nacional, lo que genera desigualdad en el acceso en diferentes regiones, la falta de mínimo vital gratuito no se debe ni a la escasez ni a la falta de recursos, ya que de ser así las pérdidas en los sistemas de abastecimiento no fueran tan altas, en cambio una efectiva reducción de estas pérdidas puede suplir el acceso de agua potable gratuito en todo el territorio, evitando que la falta de recursos

económicos se convierta una barrera para contar con el servicio (Restrepo Gutiérrez & Zárate Yepes, 2016).

Capítulo 3. Marco normativo

3.1 Marco Normativo Internacional

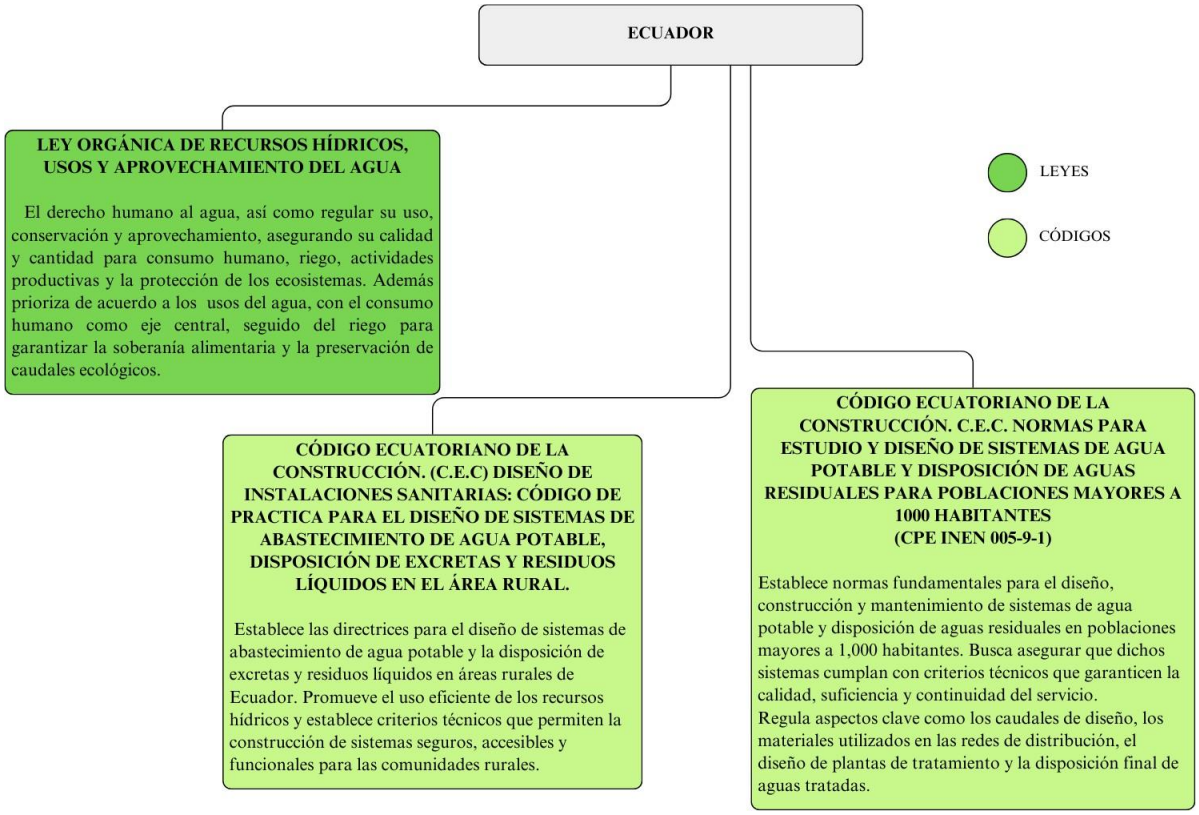
Según Barros (2013) la gestión de los recursos hídricos y los servicios de agua están conformados por un conjunto de sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos establecidos para el desarrollo y el uso adecuado de los mismos. Una gestión eficaz del agua depende en gran medida del marco normativo que regula su distribución, uso y conservación. Las leyes, decretos y resoluciones que conforman este marco son instrumentos fundamentales para asegurar la sostenibilidad del recurso. La normativa relacionada con el agua varía significativamente entre países, adaptándose a contextos económicos, sociales y ambientales particulares. En este sentido, se analizarán las regulaciones más relevantes de diversas naciones, con énfasis en aquellas que han demostrado ser similares en la gestión de los recursos hídricos.

3.1.1 Ecuador

Ecuador es un país con una gran biodiversidad y una notable cantidad de fuentes hídricas, pero enfrenta desafíos significativos relacionados con la gestión, distribución y conservación de este recurso. A pesar de contar con una extensa red de ríos y cuencas, el país presenta desigualdades en el acceso al agua, especialmente en áreas rurales y zonas con alta población. En respuesta a estos desafíos, Ecuador ha desarrollado un marco normativo robusto para regular la utilización y conservación del agua, incorporando principios de sostenibilidad y equidad (Ecuador en la vanguardia de la protección de los ecosistemas de agua dulce, s. f.).

Figura 6

Marco Normativo de Ecuador



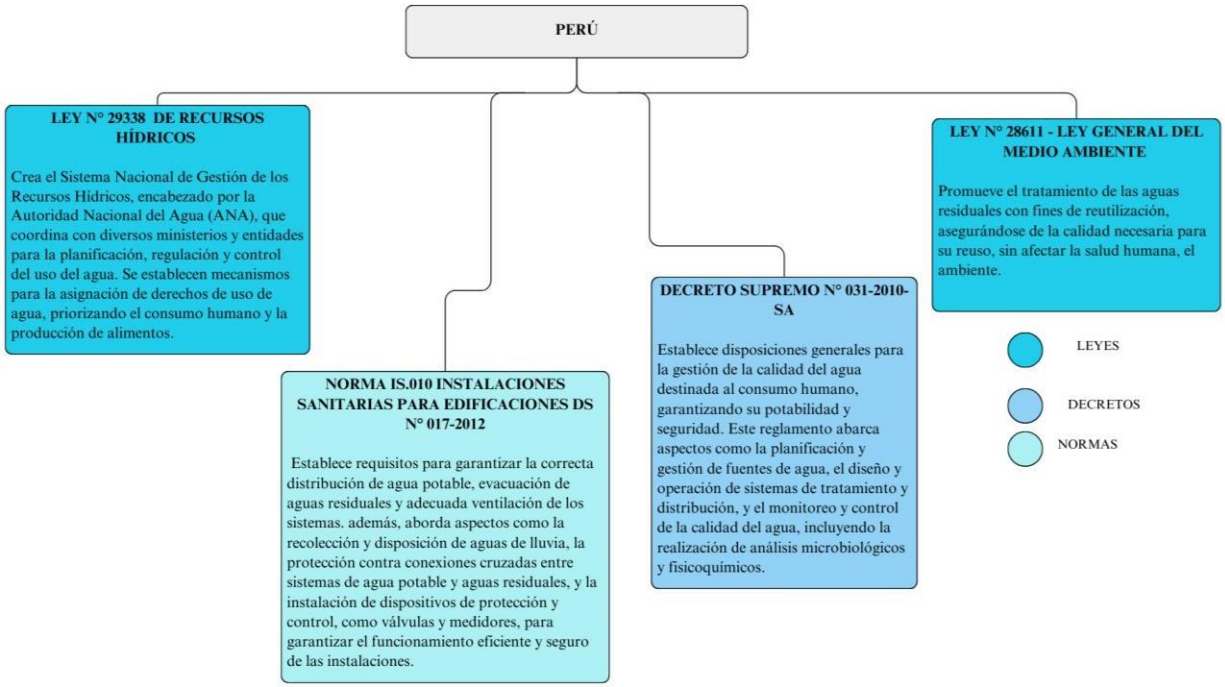
3.1.2 Perú

En Perú, el manejo adecuado de los recursos hídricos es crucial debido a la gran diversidad geográfica del país, que incluye la costa árida, la sierra andina y la vasta Amazonía. A pesar de la abundancia de fuentes hídricas, el país enfrenta una distribución desigual del agua, lo que genera desafíos para garantizar su acceso en diversas regiones. La creciente demanda de agua debido al aumento de la población, la expansión de la agricultura, la minería y el cambio climático han aumentado la presión sobre los recursos hídricos, especialmente en áreas urbanas y

en zonas con actividad minera e industrial (Agua, 2013). En este contexto, el marco normativo relacionado con la gestión del agua se evidencia a continuación:

Figura 7

Marco Normativo de Perú



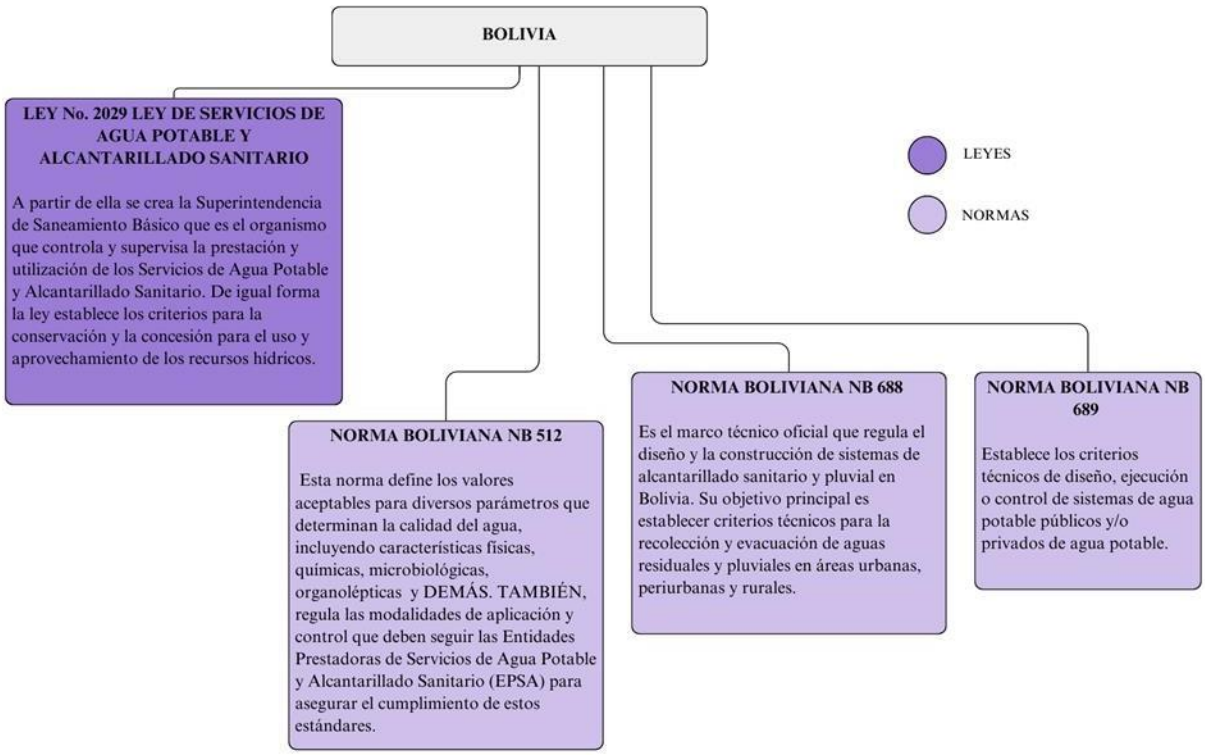
3.1.3 Bolivia

En Bolivia, el manejo de los recursos hídricos enfrenta desafíos significativos debido a su geografía diversa y la desigual distribución del agua. Mientras que la región amazónica cuenta con abundantes fuentes hídricas, el altiplano y las áreas andinas sufren de escasez, exacerbada por el cambio climático y el retroceso de los glaciares. La creciente demanda de agua, impulsada por la urbanización y las actividades mineras y agrícolas, aumenta la presión sobre los recursos

disponibles (Adaptación al cambio climático | UNICEF, s. f.). Con el fin de contrarrestar esta situación, cuenta con una serie de leyes y normativa, tales como:

Figura 8

Marco normativo de Bolivia



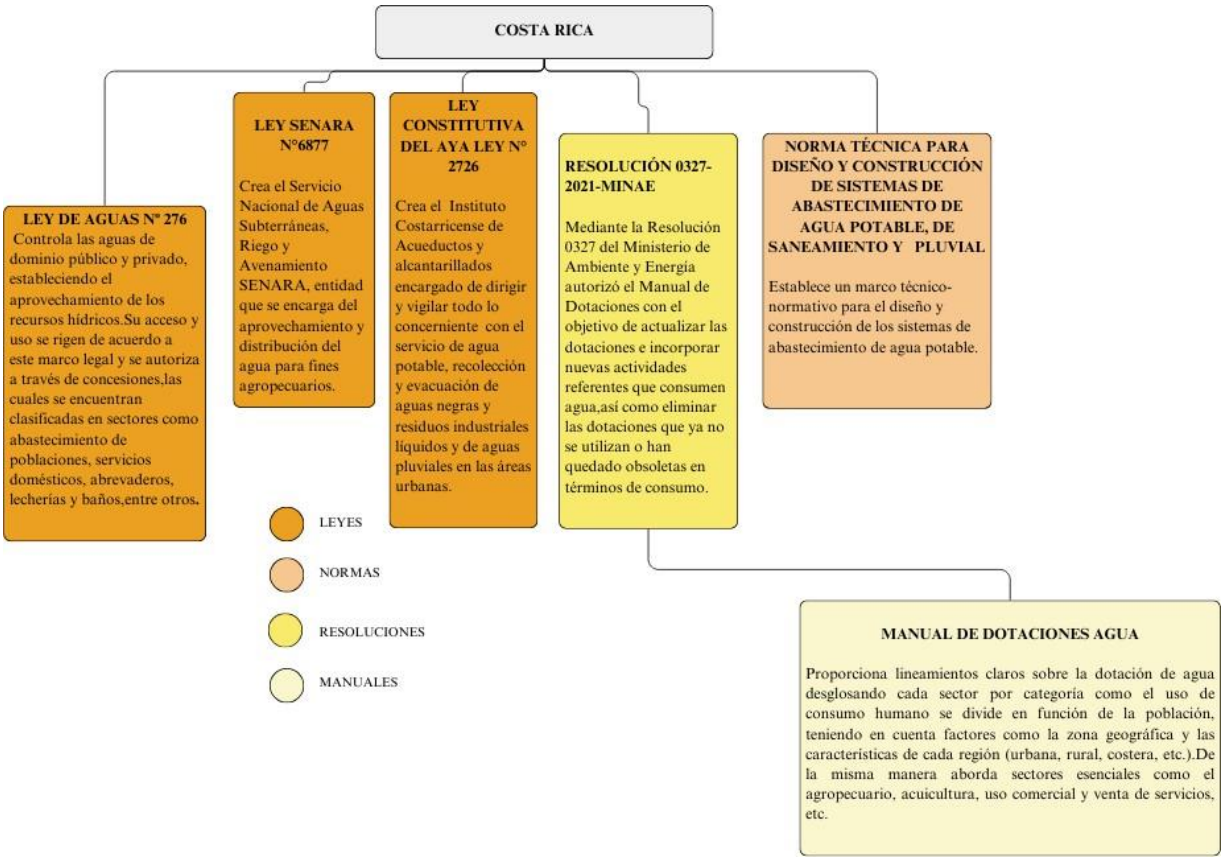
3.1.4 Costa Rica

Costa Rica ha avanzado en la gestión de sus recursos hídricos gracias a su marco normativo y políticas de conservación, como la Ley General de Aguas y la creación de la Autoridad Nacional del Agua. Aunque el país cuenta con abundantes fuentes hídricas, enfrenta desafíos relacionados con la contaminación del agua por actividades agrícolas, deforestación y

crecimiento urbano. Además, algunas regiones sufren de escasez de agua durante los períodos de sequía. Dentro de la normatividad mencionada, podemos identificar:

Figura 9

Marco Normativo de Costa Rica



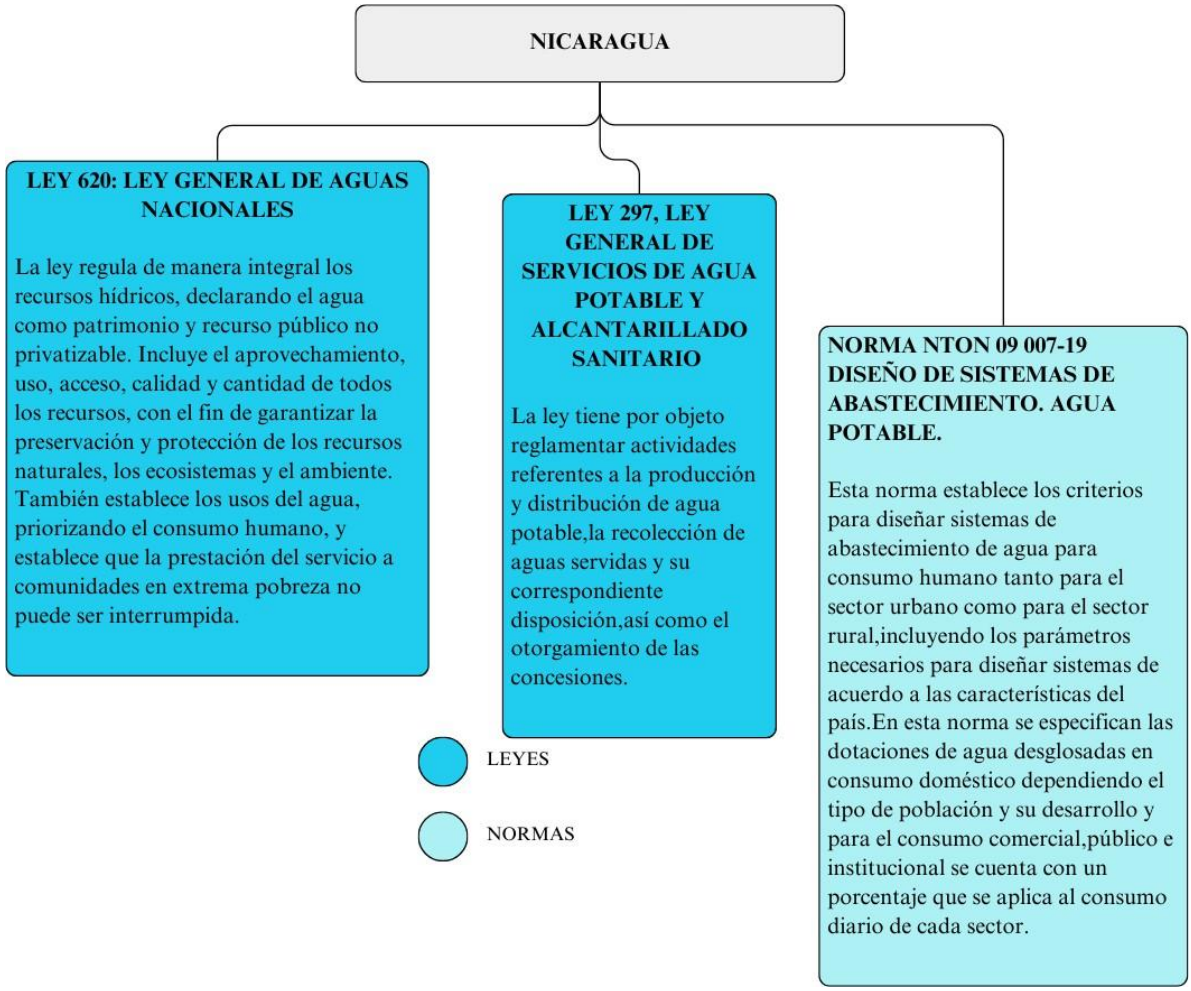
3.1.5 Nicaragua

Nicaragua es un país con una gran riqueza hídrica; sin embargo, atraviesa períodos de sequía prolongados y precipitaciones variables, que producen impactos significativos en la disponibilidad de los recursos hídricos. Según Rodríguez (2016) durante mucho tiempo el país

no tuvo un enfoque definido de la gestión del agua, hasta que, en el año 2007 se comenzaron a adoptar normativas encaminadas a las necesidades hídricas reales y artificiales de los demandantes del recurso. Actualmente se cuenta con el siguiente marco legal:

Figura 10

Marco Normativo de Nicaragua

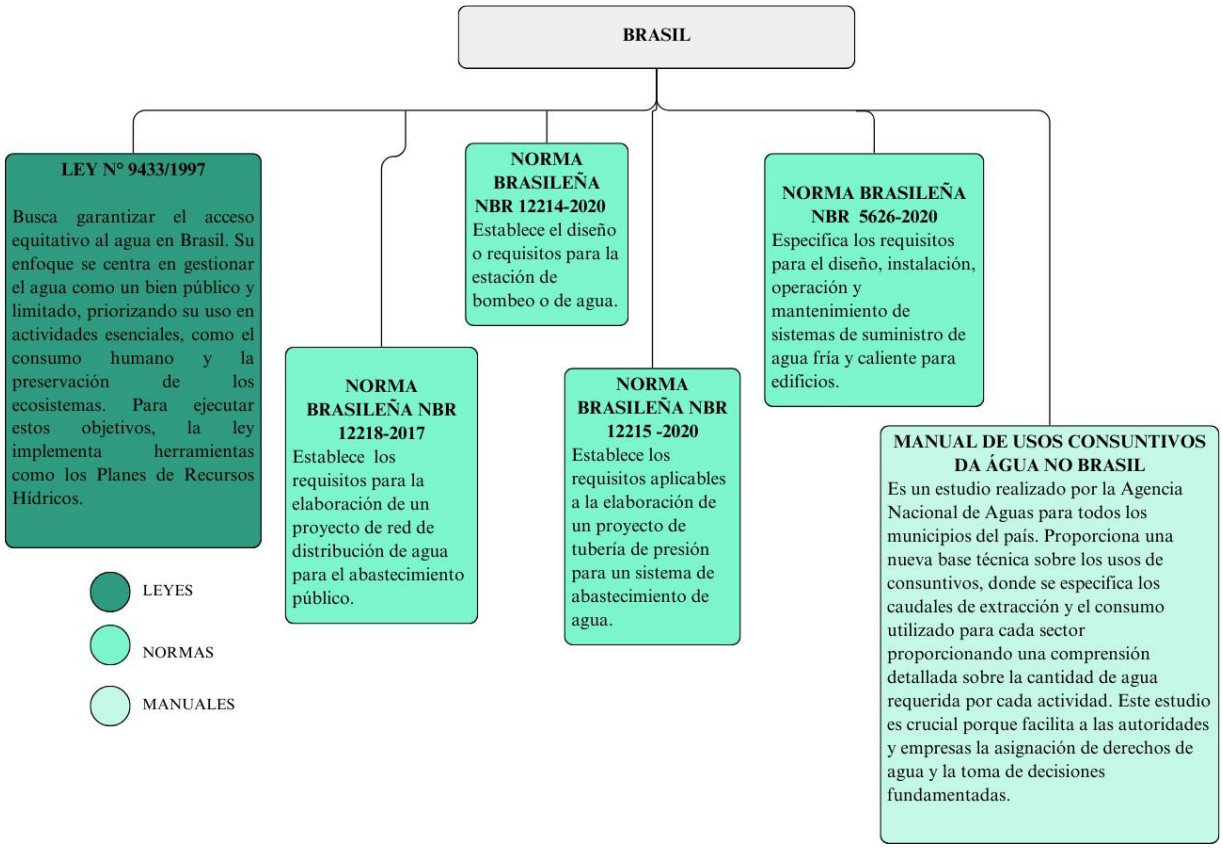


3.1.6 Brasil

Brasil es uno de los países de América del Sur y del mundo con mayor reserva de recursos hídricos, posee alrededor del 12% del agua dulce del planeta. Debido a la importancia que representa el recurso para el desarrollo social y económico de este país existen diferentes normativas que buscan reglamentar y proteger el agua. Estas regulaciones han hecho que el país presente grandes avances en la gestión hídrica y tenga el siguiente marco normativo:

Figura 11

Marco Normativo de Brasil

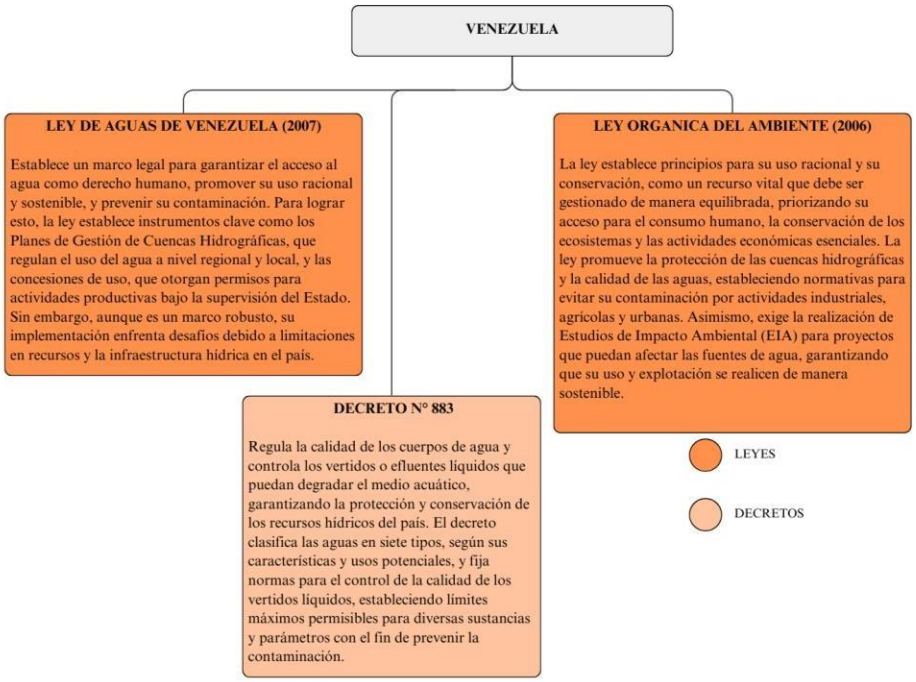


3.1.7 Venezuela

Venezuela cuenta con una amplia red hidrográfica y una notable disponibilidad de recursos hídricos. Sin embargo, enfrenta desafíos significativos en la gestión y distribución del agua, lo que afecta la calidad y continuidad del servicio en diversas regiones, y la calidad del agua no siempre cumple con los estándares básicos, obligando a muchos a recurrir a fuentes alternativas más costosas. Además, la contaminación por actividades como la minería ilegal en la Amazonía venezolana y los frecuentes derrames de crudo también representan amenazas para la calidad del agua y la salud de las comunidades locales. Estos factores, junto con la falta de mantenimiento y coordinación institucional, resaltan la necesidad de una gestión integrada y sostenible del agua en el país.

Figura 12

Marco Normativo de Venezuela



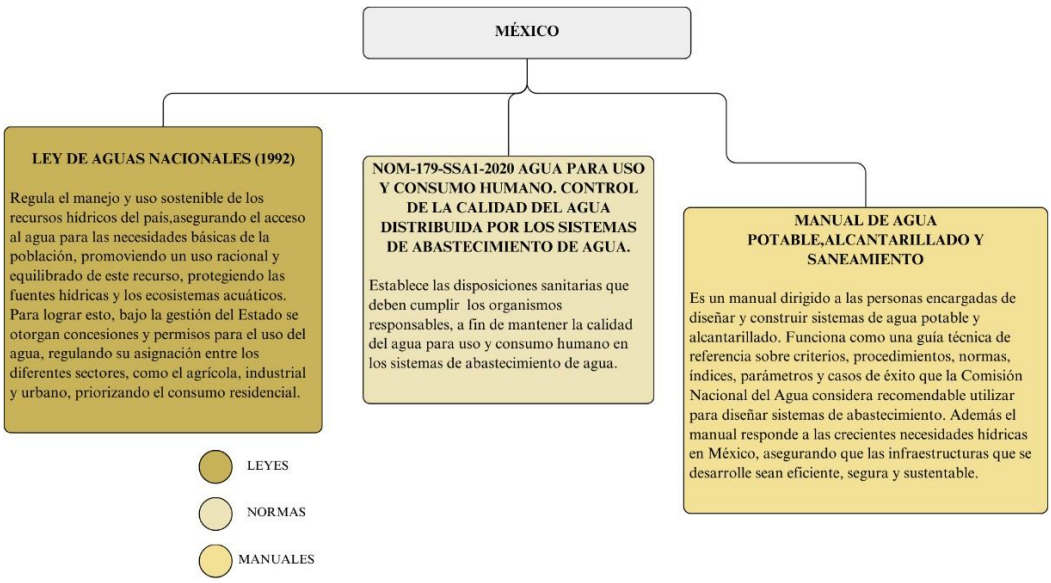
3.1.8 México

México enfrenta desafíos significativos en la gestión de sus recursos hídricos debido a factores como la sobreexplotación de acuíferos, distribución desigual del agua y sequías recurrentes. Para abordar estos problemas, el gobierno ha implementado el Plan Nacional Hídrico, que se centra en revisar concesiones para evitar el acaparamiento y la sobreexplotación, y en desarrollar infraestructura en el norte del país, la región más afectada por la sequía.

Por otra parte, a nivel normativo, la Ley de Aguas Nacionales de 1992, reformada en 2004, establece el marco legal para la gestión del agua en el país, promoviendo la participación de la sociedad en su uso sostenible; sin embargo, persisten retos en la implementación efectiva de políticas y en la coordinación entre las distintas entidades gubernamentales y la sociedad civil para lograr una gestión integrada y sostenible del agua.

Figura 13

Marco Normativa de México

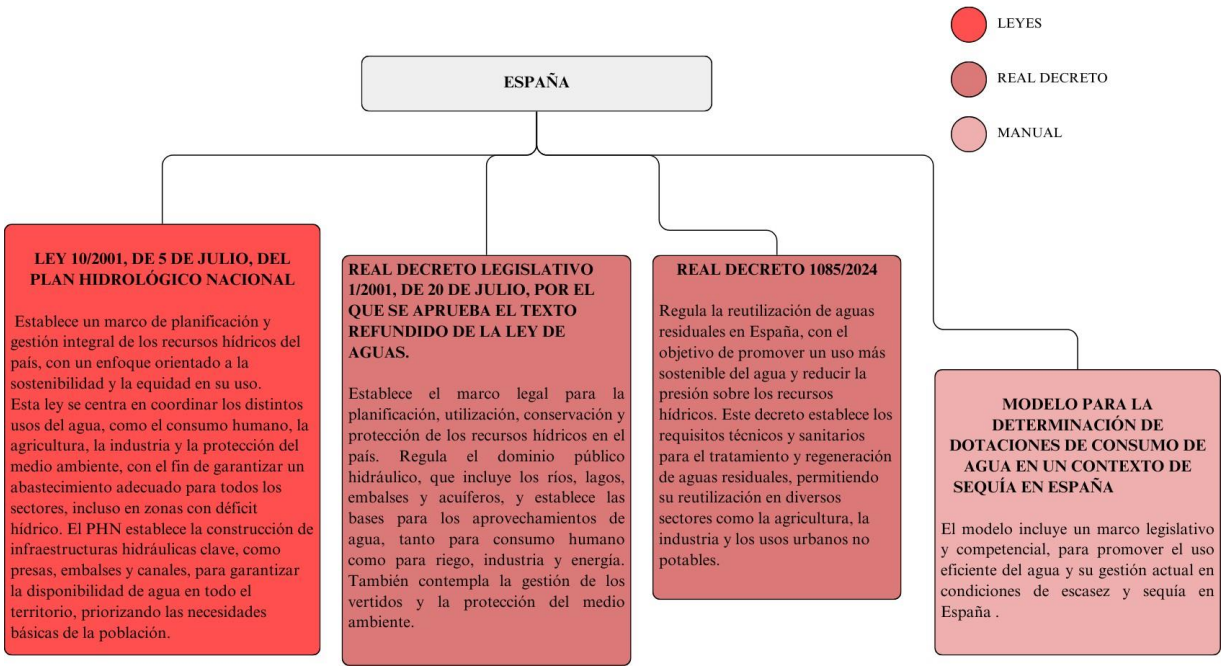


3.1.9 España

España es el país más árido y caluroso de la Unión Europea, enfrentando períodos prolongados de sequía y una variabilidad pluviométrica que ha influido significativamente en su gestión hídrica. La gestión hídrica en España comenzó con la creación de las Confederaciones Hidrográficas, establecidas por el Real Decreto del 5 de marzo de 1926, las cuales se encargaron de garantizar un uso racional y equitativo del agua en las cuencas fluviales del país (Passos Gomes, V. 2015). Posteriormente, en 1985, aparece la Ley de Aguas que actualmente está derogada, normativa clave que regulaba el uso, distribución y conservación de los recursos. El marco normativo vigente ha evolucionado con el tiempo, respondiendo a las necesidades recientes. Entre las principales reformas y leyes que han marcado este desarrollo se encuentran:

Figura 14

Marco Normativo de España



3.2 Marco Normativo Nacional

Colombia posee una abundante riqueza hídrica, siendo uno de los países con mayor disponibilidad de agua dulce en el mundo. Sin embargo, enfrenta desafíos significativos producto de fenómenos como El Niño, que han intensificado períodos de sequía, afectando tanto a zonas rurales como urbanas, esto se puede evidenciar en regiones como La Guajira, áreas cercanas a Bogotá, entre otras, que resaltan la necesidad de revisar concesiones de uso de agua y garantizar su acceso equitativo.

En cuanto a normativa para la gestión del agua se basa en la Constitución de 1991 y la Ley 99 de 1993, que creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y estableció al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como la entidad rectora en materia ambiental; también, las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) que son responsables de la gestión y conservación de los recursos hídricos a nivel regional, implementando políticas y regulaciones nacionales.

A pesar de este robusto marco institucional, persisten desafíos en la implementación efectiva de políticas y en la coordinación entre entidades. Conflictos recientes, como el debate sobre el ordenamiento ambiental de la sabana de Bogotá entre el gobierno nacional y autoridades locales, reflejan la complejidad de armonizar el desarrollo urbano con la protección de ecosistemas hídricos.

3.2.1 Leyes

3.2.1.1 Ley 23 de 1973. Una de las primeras normativas en Colombia fue la ley 23 de 1973, la cual expide el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente con el fin de controlar y prevenir la contaminación ambiental, buscar la conservación y restauración de los recursos renovables abarcando el aire, agua y el suelo (Congreso de la República de Colombia,1973).

3.2.1.2 Ley 10 de 1978. La ley 10 de 1978 define disposiciones sobre la soberanía de la Nación en el mar territorial y la plataforma continental colombiana, estableciendo las fronteras marítimas y derechos del país para la exploración, explotación, conservación y administración de los recursos naturales presentes en estas zonas marítimas (Congreso de la República de Colombia,1978).

3.2.1.3 Ley 99 de 1993. A partir de los principios de desarrollo sostenible en la Declaración de Río de Janeiro 1992 se adopta esta ley con el fin de crear el Ministerio de Ambiente Colombiano encargado de coordinar la gestión medioambiental y los recursos naturales del país. Además, se reglamenta como objeto de protección especial las zonas de páramos, subpáramos, nacimientos de agua y zonas de recarga de acuíferos y se prioriza la utilización de los recursos hídricos para el consumo humano (Congreso de la República de Colombia,1993).

3.2.1.4 Ley 142 de 1994. La ley 142 de 1994 regula los servicios públicos domiciliarios en el sector rural teniendo en cuenta la prestación de servicios de acuerdo a las características de cada región, eficiencia, cobertura y calidad, evaluación de las mismas (Congreso de la República de Colombia,1994).

3.1.2.5 Ley 161 de 1994. La ley 161 de 1994 establece la creación de la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena, una entidad que se encarga de la coordinación, supervisión del ordenamiento hidrológico y manejo integral del río, así como de su aprovechamiento y preservación (Congreso de la República de Colombia,1994).

3.1.2.6 Ley 373 de 1997. La ley 373 de 1997 ordena implementar obligatoriamente el Programa del uso eficiente y ahorro del agua en todo el país, tanto a nivel regional como municipal. El programa es un proyecto que deben realizar las entidades prestadoras de servicios público, riego y drenaje, producción hidroeléctrica, entre otros, este programa se elabora basándose en la capacidad de la fuente hídrica y la demanda y se presenta a la Corporación Autónoma Regional quien se encarga de su autorización y también para las empresas prestadoras del servicio de agua potable fija metas para reducir las pérdidas en los sistemas de acueducto (Congreso de la República de Colombia,1997).

3.1.2.7 Ley 1625 de 2013. Esta ley expide el régimen para las Áreas Metropolitanas donde los Planes Estratégicos Metropolitanos de Ordenamiento deben incluir, como mínimo, la estrategia y sistema para la Gestión Integral del Agua (Congreso de la República de Colombia,2013).

3.2.2 Decretos

3.2.2.1 Decreto 2811 de 1974. El decreto 2811 establece el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente que regula el uso, preservación y conservación de los recursos y el medio ambiente (Presidencia de la República de Colombia,1974).

3.2.2.2 Decreto 1541 de 1978. Este decreto regula las normas relacionadas con el recurso hídrico, estableciendo el dominio de aguas públicas y privadas, el derecho al uso del agua y concesiones de acuerdo a una jerarquización donde se prioriza el abastecimiento doméstico, el riego y silvicultura, entre otros (Presidencia de la República de Colombia,1978).

3.2.2.3 Decreto 1875 de 1979. El decreto dicta normas sobre la prevención de contaminantes y vertimientos de industrias, fábricas, entre otros que desembocan en los ecosistemas marinos (Presidencia de la República de Colombia,1979).

3.2.2.4 Decreto 2858 de 1981. Promulgado el 13 de octubre de 1981, reglamenta parcialmente el Artículo 56 del Decreto-Ley 2811 de 1974 y modifica el Decreto 1541 de 1978. Este decreto establece disposiciones relacionadas con la concesión de permisos para la realización de estudios de factibilidad sobre el aprovechamiento de aguas destinadas a proyectos de riego a nivel de finca o grupos de fincas (Presidencia de la República de Colombia,1981).

3.2.2.5 Decreto 1594 de 1984. Establece los criterios de calidad para la toma de decisiones en el ordenamiento, define los diferentes usos del agua, como el consumo humano, agrícola, industrial y recreativo, y establece los estándares de calidad que deben cumplir las aguas según su uso (Presidencia de la República de Colombia,1984).

3.2.2.6 Decreto 2324 de 1984. Reorganiza la Dirección General Marítima y Portuaria la cual es encargada de regular, autorizar y controlar las concesiones y permisos de los recursos hídricos, terrenos de bajamar, playas y demás bienes de uso público de las áreas de su jurisdicción (Presidencia de la República de Colombia,1984).

3.2.2.7 Decreto 1600 de 1994. Reglamenta el Sistema Nacional Ambiental -SINA, organismo encargado de definir criterios y variables que se utilicen para estudiar el cambio climático y las alteraciones del medio ambiente en el territorio colombiano, además de proveer información a las entidades pertenecientes al SINA y al Ministerio del Medio Ambiente (Presidencia de la República de Colombia,1994).

3.2.2.8 Decreto 3102 de 1997. Se reglamenta el uso de equipos, sistemas o implementos de bajo consumo de agua y se dictan las obligaciones de las entidades prestadoras de servicios de acueducto y de los usuarios (Presidencia de la República de Colombia,1997).

3.2.2.9 Decreto 1311 de 1998. Se reglamenta el artículo 11 de la Ley 373 de 1997 y se establece que el Estado debe asegurar la prestación de los servicios públicos a todos los habitantes del territorio. Además, se decreta que las empresas de Servicios Públicos deben presentar los consumos mensuales facturados, por estratos y por usos al Ministerio de Desarrollo Económico cada cuatro meses (Presidencia de la República de Colombia,1998).

3.2.2.10 Decreto 1729 de 2002. Este decreto establece las directrices para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en Colombia, con el objetivo de garantizar la conservación, preservación y uso sostenible de los recursos naturales renovables presentes en estas áreas (Presidencia de la República de Colombia,2002).

3.2.2.11 Decreto 155 de 2004. El Decreto 155 de 2004 reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993, estableciendo las tasas por la utilización de aguas superficiales, estuarinas y subterráneas. Determina cómo se calcula el cobro, quiénes deben pagarlo, y las entidades encargadas de recaudar. Además, define los conceptos clave relacionados con el agua, como cuencas hidrográficas, acuíferos y escasez hídrica. También regula la medición y el reporte de los volúmenes de agua captada, y establece las tarifas a ser fijadas por las autoridades ambientales competentes (Presidencia de la República de Colombia,2004).

3.2.2.12 Decreto 4742 de 2005. El Decreto 4742 de 2005 establece un cálculo para las tarifas por el uso del agua. Se considera la tarifa unitaria anual, el volumen de agua extraído y un factor de costo de oportunidad. La fórmula permite determinar el valor que los usuarios deben pagar dependiendo de su consumo. Si no se reporta el volumen captado, se utiliza una estimación basada en los datos disponibles (Presidencia de la República de Colombia,2005).

3.2.2.13 Decreto 1323 de 2007. Este decreto crea el SIRH (Sistema de Información del Recurso Hídrico), el cual integra el registro, manejo, base de datos, información documental, reglamentos, entre otros que facilitan la gestión integral del recurso hídrico (Presidencia de la República de Colombia,2007).

3.2.2.14 Decreto 1324 de 2007. Crea el registro de usuarios de personas naturales y jurídicas que usan y aprovechan los recursos de cuencas priorizadas, elemento clave para obtener información de la demanda hídrica y facilitar la planificación del agua (Presidencia de la República de Colombia,2007).

3.2.2.15 Decreto 1575 de 2007. Su objetivo es monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana derivados del consumo de agua, excluyendo el agua envasada. Este decreto se aplica a todas las entidades que suministran o distribuyen agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, involucrando también a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales y sanitarias, y a los usuarios (Presidencia de la República de Colombia,2007).

3.2.2.16 Decreto 3200 de 2008. Reglamenta la política de Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento, los cuales son un conjunto de estrategias que tienen el propósito de lograr gestión integral, eficiente y sostenible en la prestación de servicios de Agua Potable y saneamiento (Presidencia de la República de Colombia,2008).

3.2.2.17 Decreto 1076 de 2015. Define conceptos clave como el agua superficial, que abarca ríos, quebradas, lagos y embalses; el aprovechamiento de recursos hídricos, relacionado con el uso del agua para consumo humano, agrícola, industrial o generación de energía. Además, establece la concesión de aguas, que es la autorización para el uso del recurso hídrico sin afectar a otros usuarios ni al medio ambiente (Presidencia de la República de Colombia,2015).

3.2.3 Normas

3.2.3.1 Norma Técnica Colombiana NTC 1500. Esta norma proporciona lineamientos para medir el consumo de agua, identificar pérdidas, implementar buenas prácticas para reducir el desperdicio y optimizar el uso del recurso hídrico, tanto en procesos industriales, agrícolas, como en actividades domésticas.

3.2.4 Resoluciones:

3.2.4.1 Resolución 0081 de 2001. Adopta un formulario para recopilar información relacionada con el cobro de la tasa retributiva y el estado de los recursos hídricos. Este formulario debe ser diligenciado por las autoridades ambientales que administran la tasa, permitiendo al Ministerio evaluar y comparar la aplicación de este instrumento económico en la gestión del recurso hídrico (Ministerio del Medio Ambiente, 2001).

3.2.4.2 Resolución 104 de 2003. Esta resolución tiene como objetivo definir una metodología que permita identificar y priorizar las cuencas hidrográficas que requieren acciones de manejo y conservación, basándose en criterios técnicos y ambientales. La clasificación y priorización de las cuencas se realiza considerando factores como la oferta y demanda hídrica, el estado de la cobertura vegetal, la erosión, la biodiversidad y la vulnerabilidad a desastres naturales, entre otros (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2003).

3.2.4.3 Resolución de la CRA 271 de 2003. Establece criterios y lineamientos para la fijación de las tarifas que cobran las empresas prestadoras del servicio de servicios de agua potable y saneamiento básico (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico,2003).

3.2.4.4 Resolución 240 de 2004. Define las bases para el cálculo de la depreciación y se establece la tarifa mínima de la tasa por utilización de aguas (Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

3.2.4.5 Resolución 1433 de 2004. Regula los planes de saneamiento y manejo de vertimientos.

Los PSMV son conjuntos de programas, proyectos y actividades, con sus respectivos cronogramas e inversiones, destinados a avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos. Incluyen la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales descargadas al sistema público de alcantarillado, tanto sanitario como pluvial (Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

3.2.4.6 Resolución 872 de 2006. El objetivo principal de esta resolución es proporcionar una herramienta que permita a las autoridades ambientales evaluar la disponibilidad y sostenibilidad de los recursos hídricos subterráneos en diferentes regiones del país. El índice de escasez se calcula considerando factores como la recarga natural del acuífero y los caudales explotables, permitiendo identificar áreas donde la extracción de agua subterránea podría ser insostenible (Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

3.2.4.7 Resolución 2115 de 2007. Esta resolución define los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que el agua debe cumplir para ser considerada apta para el consumo humano. Además, establece los procedimientos y frecuencias con los que las autoridades competentes deben realizar el control y vigilancia de la calidad del agua, garantizando así la protección de la salud pública (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Protección Social,2007).

3.2.4.8 Resolución 4716 de 2010. Su objetivo es establecer las condiciones, recursos y obligaciones mínimas que deben cumplir las autoridades sanitarias y ambientales competentes

para elaborar, revisar y actualizar los Mapas de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Protección Social, 2010).

3.2.4.9 Resolución 0075 de 2011. Adopta el formato de reporte sobre el estado de cumplimiento de la norma de vertimiento puntual al alcantarillado público. Este formato debe ser utilizado por las entidades prestadoras del servicio público de alcantarillado para informar sobre el cumplimiento de las normas de vertimiento por parte de sus suscriptores y/o usuarios en los sectores comercial, industrial, oficial y especial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial,2011).

3.2.4.10 Resolución 1514 de 2012. Esta normativa se aplica a todas las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, que desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicios que generen vertimientos a cuerpos de agua o al suelo. El objetivo principal es establecer directrices para la gestión adecuada del riesgo asociado a los vertimientos, garantizando la protección del medio ambiente y la salud pública (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

3.2.4.11 Resolución 955 de 2012. Adopta el formato y su respectivo instructivo para el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico. Este registro es fundamental para identificar y caracterizar a los usuarios que realizan captaciones de agua y/o generan vertimientos, permitiendo una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico en el país (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

3.2.4.12 Resolución 1907 de 2013. Esta guía técnica establece los lineamientos y procedimientos que deben seguir las autoridades ambientales para formular e implementar los POMCA en el país. Los POMCA son instrumentos de planificación que buscan el uso sostenible, la conservación y la recuperación de las cuencas hidrográficas, garantizando la disponibilidad y calidad del recurso hídrico para las diferentes necesidades de la sociedad y la protección de los ecosistemas asociados (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

3.2.4.13 Resolución CRA 688 de 2014. Establece lineamientos para calcular las tarifas de los servicios de agua potable y alcantarillado, con más de 5.000 suscriptores en el área urbana (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2015).

3.2.4.14 Resolución 0631 de 2015. Establece los parámetros y valores límites máximos permisibles para los vertimientos puntuales de aguas residuales en cuerpos de aguas superficiales y sistemas de alcantarillado público. Esta normativa aplica a todas las personas y actividades que generen vertimientos, exceptuando aquellos dirigidos a aguas marinas o al suelo. La resolución clasifica los límites de contaminantes según el tipo de actividad productiva, diferenciando entre aguas residuales domésticas y no domésticas, e incluye parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que deben ser monitoreados (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

3.2.4.15 Resolución de la CRA 750 de 2016. Modifica y actualiza los rangos de consumos y establece los procedimientos, tarifas y medidas aplicables a los consumidores que sobrepasen el consumo máximo (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016).

3.2.4.16 Resolución 1571 de 2017. La Resolución 1571 de 2017, emitida el 2 de agosto de 2017 por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, establece la Tarifa Mínima de la Tasa por Utilización de Aguas. Esta normativa fija el monto tarifario mínimo que deben pagar los usuarios por el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos en el país (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

3.2.4.17 Resolución 0330 de 2017. Actualiza el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000), estableciendo los requisitos técnicos mínimos para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto, alcantarillado y disposición final de aguas residuales. Esta normativa tiene como propósito garantizar la calidad del agua para consumo humano, promoviendo la sostenibilidad y protección del medio ambiente. Dentro de sus disposiciones, se abordan aspectos clave como los criterios para el diseño y operación de los sistemas de abastecimiento de agua potable, los estándares de calidad del agua para consumo humano, entre otros (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

3.2.4.18 Resolución 957 de 2018. Establece los lineamientos técnicos que deben seguir las autoridades ambientales para delimitar y manejar adecuadamente las rondas hídricas, con el objetivo de proteger los ecosistemas acuáticos, prevenir riesgos por inundaciones y orientar el uso sostenible de los recursos naturales. La guía define criterios para priorizar el acotamiento de estas áreas, estableciendo su delimitación con base en factores geomorfológicos, hidrológicos y ecosistémicos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

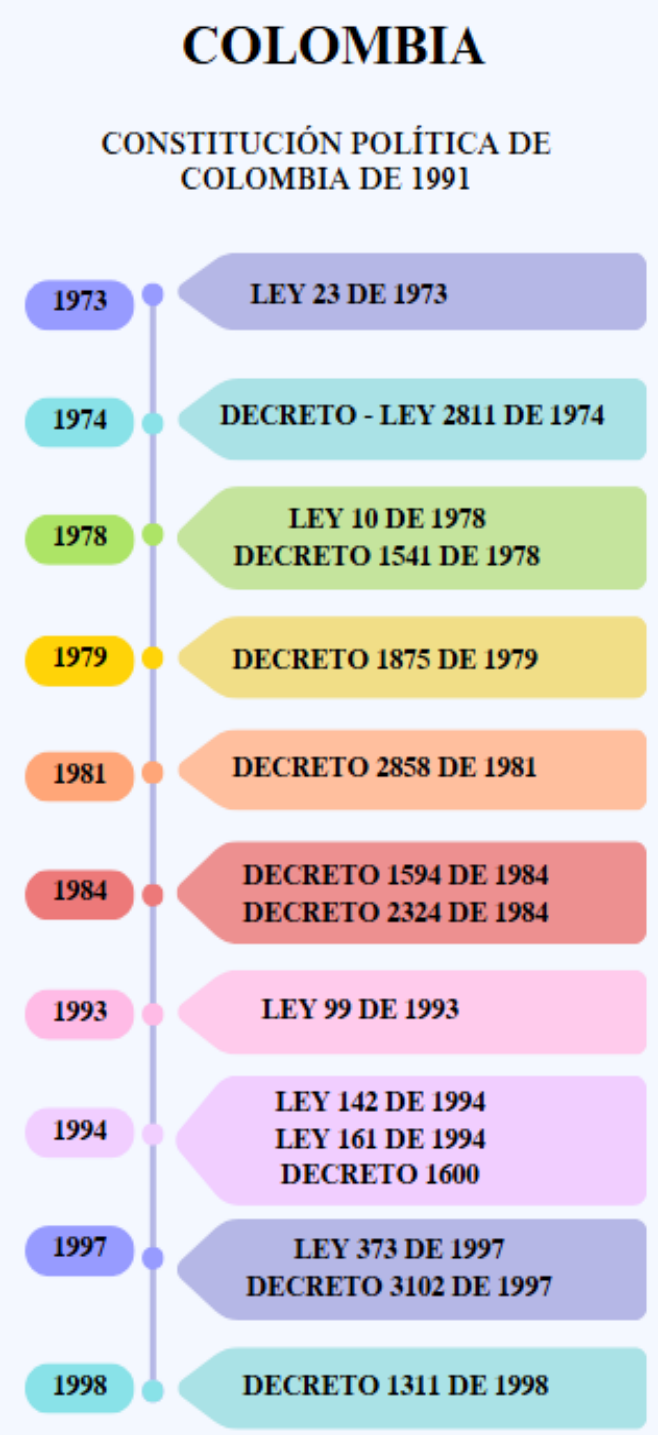
3.2.4.19 Resolución 959 de 2018. Tiene como objetivo establecer los lineamientos para la formulación, implementación, seguimiento y evaluación de los Planes de Gestión del Riesgo de Desastres en el sector de agua potable y saneamiento básico. Esta normativa busca fortalecer la capacidad de las entidades prestadoras de estos servicios para identificar, prevenir y mitigar riesgos asociados a desastres naturales o provocados por el ser humano, garantizando así la continuidad en la prestación del servicio y la protección del recurso hídrico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

3.2.4.20 Resolución 751 de 2018. Esta guía establece directrices para que las autoridades ambientales competentes formulen planes destinados a ordenar y gestionar de manera sostenible los recursos hídricos superficiales del país, como ríos, lagos y quebradas. El objetivo principal es garantizar la disponibilidad y calidad del agua, así como la protección de los ecosistemas asociados.Los PORH consideran aspectos como la evaluación de la oferta y demanda del recurso hídrico, la identificación de conflictos de uso, la conservación de ecosistemas acuáticos y la definición de estrategias para el manejo integrado del agua (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

3.2.4.21 Resolución 1256 de 2021. Esta normativa establece disposiciones para el reúso de aguas residuales en actividades agrícolas e industriales, así como para su recirculación dentro de procesos productivos. El objetivo principal es promover prácticas sostenibles en la gestión del recurso hídrico, especialmente en zonas con escasez de agua. La resolución también define los criterios de calidad que deben cumplir las aguas residuales tratadas antes de su reúso, garantizando la protección de la salud humana y del medio ambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Figura 15

Marco Normativo de Colombia




2001
RESOLUCIÓN 0081
2002
DECRETO 1729
2003
RESOLUCIÓN CRA 271
RESOLUCIÓN 104
2004
DECRETO 155
RESOLUCIÓN 240
RESOLUCIÓN 1433
2005
DECRETO 4742
2006
RESOLUCIÓN 872
2007
DECRETO 1323
DECRETO 1324
DECRETO 1575
RESOLUCIÓN 2115
2008
DECRETO 3200
2010
RESOLUCIÓN 4716
2011
RESOLUCIÓN 0075
2012
RESOLUCIÓN 955
RESOLUCIÓN 1514
2013
LEY 1625
RESOLUCIÓN 1907
2014
RESOLUCIÓN CRA 688
2015
RESOLUCIÓN 0631
2016
RESOLUCIÓN CRA 750
2017
RESOLUCIÓN 0330
RESOLUCIÓN 1571
2018
RESOLUCIÓN 751
RESOLUCIÓN 957
RESOLUCIÓN 959
2021
RESOLUCIÓN 1256
2023
NTC 1500

3.3 Comparativo

En los marcos normativos anteriores, se establece un parámetro que define la cantidad de agua necesaria para satisfacer las actividades derivadas de los diferentes usos, conocido como dotación. El establecimiento de la dotación permite el abastecimiento adecuado para cubrir las necesidades de sectores clave como el doméstico, agrícola, industrial, institucional y comercial, entre otros, asegurando que cada uno de ellos tenga acceso suficiente al agua para su funcionamiento.

La dotación considera factores como los volúmenes anuales, la variabilidad climática, las reservas subterráneas y las fuentes de agua renovables y no renovables. Este enfoque técnico permite identificar y evaluar la cantidad de agua disponible frente a la creciente demanda de los distintos sectores, especialmente para garantizar el suministro del recurso en épocas de sequías, tanto para la agricultura, el riego y la producción industrial, como para el consumo de agua potable de la población (Carbon, 2024).

De esta manera, la dotación es un parámetro clave que le permite a los países llevar a cabo una planificación hídrica eficiente, priorizando el acceso equitativo al agua sin ocasionar la degradación de los cuerpos de abastecimiento, lo que podría generar situaciones de estrés hídrico y competencias entre los sectores (ALCAMO et al., 2003). Además, la dotación facilita el diseño de obras hidráulicas, como sistemas de acueductos y alcantarillados, esenciales para el funcionamiento de la sociedad.

Sin embargo, la dotación, es definida de forma distinta en cada país como se muestra en la tabla 11:

Tabla 11

Comparativo de dotaciones

País	**Criterio de asignación de la dotación**	**Criterio de selección**	**Rango**
Ecuador	Población	Para poblaciones desde 5000 a más de 50000	120(l/hab/día) Hasta 230 (l/hab/día)
	Clima	Frío, templado y cálido	
Perú	Uso	Doméstico, comercial, industrial, riego de jardines u otros fines.	0,50 (L/d/ m^2) Hasta 12 800 (L/d/und)
Bolivia	Zonas	Altiplano, Valles y Llanos	30 (l/hab/día) Hasta 350 (l/hab/día)
	Población	Desde 500 a 100000 habitantes	
Costa Rica	Población	Urbana, costera, metropolitana	0.01 l/s/vivienda Hasta 110 000 l/tonelada/día.
	Uso	Doméstico, industrial, comercial, agroindustrial, turístico, agropecuario, acuicultura, entre otros.	
Nicaragua	Densidad poblacional	Desarrollos habitacionales, poblaciones concentradas, población rural concentrada, población rural dispersa	10 lppd Hasta más de 1000 lppd/m^2
España	Población	Población Total Población Doméstica Población Estacional	120 (litros/plaza. día) Hasta 340
Colombia	Altura sobre el nivel del mar	Entre 1000 a más de 2000 m.s.n.m.	120 (l/hab*día) Hasta 140 (l/hab*día)

El análisis comparativo de los criterios de asignación de la dotación de agua en distintos países de América Latina muestra que los factores determinantes varían según las condiciones socioeconómicas, geográficas y climáticas de cada nación. Mientras que Ecuador y Bolivia consideran la población y las condiciones climáticas o geográficas como aspectos clave, países como Perú y Costa Rica establecen criterios basados en el uso del agua, lo que refleja una asignación más específica para distintos sectores productivos. Por otro lado, Nicaragua prioriza la densidad poblacional para definir la distribución del recurso, con un enfoque en el desarrollo urbano y rural. En el caso de Colombia, la altura sobre el nivel del mar es un criterio relevante, lo que resalta la influencia de la condición climática en el abastecimiento de agua.

Por otra parte, los países no mencionados en la tabla, como Brasil, Venezuela y México, no cuentan con un criterio único y estandarizado para definir la dotación de agua, sino que emplean diferentes metodologías según factores como la disponibilidad del recurso, la demanda poblacional, el tipo de uso y la infraestructura existente.

En México la distribución del agua se basa en estudios técnicos, donde el cálculo de la dotación media de una localidad se obtiene a partir de los consumos registrados por el organismo operador o de un estudio de demandas, dividiendo el consumo total, que incluye servicio doméstico, comercial, industrial y de servicios públicos, más las pérdidas físicas de agua, entre el número de habitantes de la localidad.

Capítulo 4. Cambio climático

El cambio climático representa una de las principales amenazas ambientales del siglo XXI, es una alteración en la distribución de los patrones del clima, que persiste durante un periodo de tiempo prolongado, que puede variar desde décadas hasta millones de años (Carlos et al., 2008). Este fenómeno es provocado tanto por la variabilidad natural o resultado de las actividades humanas.

Se manifiesta a través del aumento de la temperatura global, variaciones en la precipitación, derretimiento de glaciares y la intensificación de eventos climáticos extremos como sequías e inundaciones, afectando de esta manera el abastecimiento de agua potable, especialmente en regiones áridas y semiáridas (Sadoff, C. W., & Muller, M. 2010). Asimismo, el retroceso de glaciares, que actúan como reservas naturales de agua, disminuye el caudal de los ríos que dependen de su deshielo. En las zonas costeras, el aumento del nivel del mar y la intrusión salina afectan los acuíferos, reduciendo la calidad del agua potable. Estos factores agravan la crisis hídrica en muchas partes del mundo, obligando a adoptar estrategias de gestión y adaptación para garantizar el suministro de agua en el futuro.

4.1 Temperatura

La Temperatura es la medida de calor presente en la circulación del aire en un espacio determinado. La temperatura está influenciada por la incidencia de los rayos solares y es uno de los principales indicadores de la alteración del sistema climático de la Tierra, impulsado en gran parte por la intensificación del efecto invernadero debido a la emisión de gases como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O).

4.1.1 Cambio de gradiente Térmico:

Se refiere a la variación en la tasa de cambio de temperatura entre diferentes capas de la atmósfera, la superficie terrestre o los océanos. Este fenómeno es clave para entender los impactos del calentamiento global, ya que influye en la estabilidad atmosférica, la formación de fenómenos meteorológicos y la distribución del calor en el planeta. El aumento de temperatura es causado por el calentamiento global debido a que los gases de efecto invernadero como el dióxido carbono, metano y óxidos nitrosos absorben y reflejan la radiación de la atmósfera, nuevamente a la corteza terrestre (Mannan & Al-Ghamdi, 2022).

En la atmósfera, un cambio en el gradiente térmico puede afectar la circulación de los vientos, la ocurrencia de tormentas y la intensidad de eventos climáticos extremos, ya que influye en la evaporación, la condensación y la formación de precipitaciones, afectando la disponibilidad y distribución del agua. Estos cambios pueden intensificar sequías en algunas regiones y aumentar las lluvias torrenciales en otras, con consecuencias directas en la seguridad hídrica, la agricultura y los asentamientos humanos.

A mediados del siglo XX el calentamiento global registrado comenzó a estar influenciado por actividades antropogénicas derivadas de los procesos industriales, el estilo de vida de las personas y el consumo de combustibles fósiles que han intensificado la emisión de los gases de efecto invernadero. Como resultado de estas actividades, la temperatura global ha experimentado un aumento continuo. Desde 1970, la temperatura media global ha aumentado a un ritmo de 1,7 °C por siglo, cuando el ritmo de aumento en los últimos 7000 años fue de solo 0,01 °C (Change (IPCC), 2022).

Al igual que otras regiones del mundo, países como Colombia también han experimentado un incremento en las temperaturas, lo que ha generado efectos importantes en su clima local.

4.1.1.1 Tendencia de Temperatura en Colombia. Colombia es susceptible a la variación climática debido a su ubicación geográfica en los trópicos, específicamente en la franja ecuatorial, que genera la mayor cantidad de energía solar para la Tierra. Su posición y diversidad geográfica que incluye la cordillera de los Andes y la Selva amazónica dan lugar a las cinco regiones naturales que conforman el país. Cada región presenta características climáticas únicas, determinadas por factores como la altitud, la proximidad a los océanos y otros elementos geográficos (Valle-Garcia et al., 2024).

El fenómeno del Niño en Colombia tiene un impacto significativo en las temperaturas registradas en el país, puesto que intensifica la temporada seca en todo el territorio, elevando las temperaturas.

Con el fin de realizar un análisis respecto a la precipitación y temperatura en Colombia la información climatológica de referencia mostrada a continuación se obtuvo del servicio meteorológico Meteoblue, creado en la Universidad de Basilea, Suiza, en cooperación con la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos y los Centros Nacionales de Predicción Ambiental. Meteoblue, en su momento, fue el primer servicio meteorológico del mundo para ofrecer la predicción del tiempo en una sinopsis gráfica para cualquier lugar arbitrariamente elegido en la tierra. Además, predice el clima para varios continentes en escalas que no son familiares de otros servicios meteorológicos. Desde el comienzo de 2007 Meteoblue calcula regularmente dos previsiones diarias de alta resolución

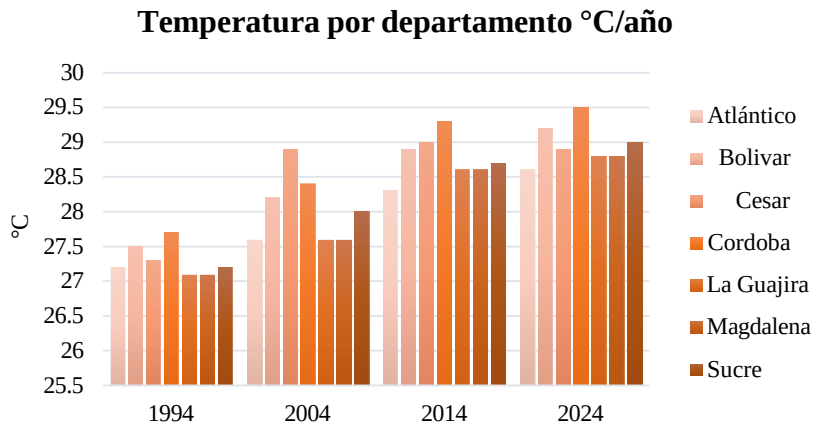
para Europa, África y América del Sur sin interrupciones, produciendo mapas y diagramas de estos modelos, así como dos secuencias diarias del modelo GFS de NOAA/NCEP.

A continuación, se presenta el análisis de la temperatura media anual en los departamentos y en las cinco regiones de Colombia:

4.1.1.1.1 Análisis de Temperatura Región Caribe.

Figura 16

Temperatura registrada en los departamentos de la Región Caribe



1994: La temperatura en la Región Caribe mostró variabilidad entre departamentos. Córdoba registra los valores más altos, con temperaturas superiores a 27,5°C, mientras las demás regiones como Bolívar, Cesar, Sucre, Atlántico, Magdalena y la Guajira se encuentran por debajo de este valor, pero sobre 27°C, en orden descendente de acuerdo a la lista anterior.

2004: Se evidencia un incremento generalizado en las temperaturas. Cesar con las cifras más altas, superando los 28.5°C. Córdoba, Bolívar y Sucre siguen esta tendencia con valores

iguales o mayores a los 28°C, mientras que Atlántico, La Guajira, y Magdalena, se mantienen un aumento moderado, sin bajar de los 27.5°C.

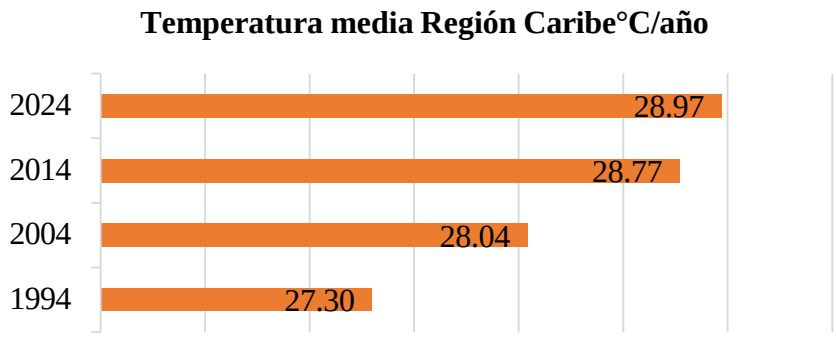
2014: Las temperaturas continúan en ascenso. Córdoba lidera con valores por encima de los 29°C, seguido por Cesar y Bolívar, que registran cifras cercanas a este valor. Por su parte, Sucre, Magdalena y La Guajira, registran valores superiores a 28,5°C; finalmente está Atlántico con cifras por encima de los 28°C.

2024: Las cifras más recientes consolidan una tendencia clara del calentamiento encabezada por Córdoba con valores de 29,5°C, seguida por Bolívar con temperaturas superiores a los 29°C, mientras que Sucre, Cesar, Magdalena, La Guajira y Atlántico, se encuentran por debajo de los 29°C.

4.1.1.1.2 Análisis de la Temperatura Media por Año de la Región Caribe.

Figura 17

Temperatura media de la Región Caribe



1994: La media de la temperatura para la Región Caribe se encuentra levemente por encima de los 27°C; Este valor refleja un clima cálido y relativamente estable.

2004: Se evidencia un incremento en la temperatura anual, sobrepasando los 28°C. Este aumento puede estar vinculado a fenómenos climáticos globales y variaciones locales, marcando el inicio de una tendencia ascendente.

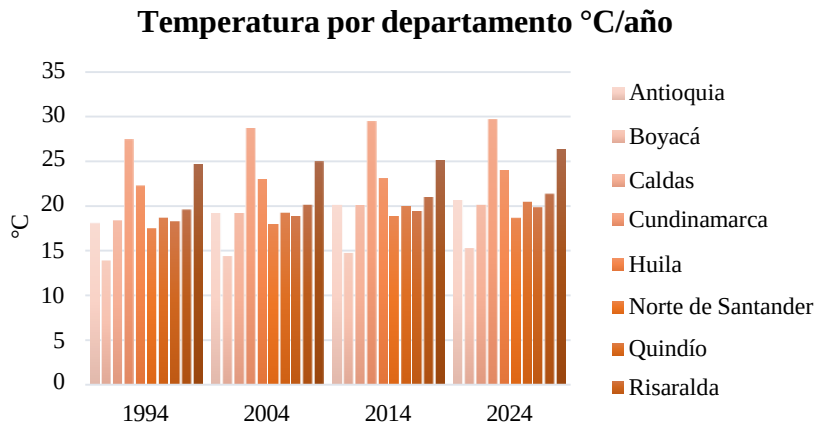
2014: La temperatura anual continúa aumentando, superando los 28,5°C; este crecimiento resalta las señales de calentamiento constante en la región.

2024: Finalmente, el promedio anual de temperaturas se sitúa cerca de los 29°C, la cifra más alta de la lista realizada para las cuatro décadas.

4.1.1.1.3 Análisis de Temperatura Región Andina.

Figura 18

Temperatura registrada en los departamentos de la Región Andina



1994: La temperatura en la Región Andina presentó variabilidad entre departamentos. Cundinamarca registró el nivel más alto, con aproximadamente 28°C, seguido por Huila con más de 20°C, Quindío, Caldas, Antioquia, y Norte de Santander con más de 18°C, finalmente Boyacá que registró las cifras más bajas, con temperaturas por debajo de los 15°C.

2004: Se observa un ligero aumento en las temperaturas, en general, Cundinamarca sigue manteniéndose como el departamento más cálido, aproximándose a 30°C, Huila se mantiene por encima de los 20°C; Quindío, Caldas, Antioquia y Norte de Santander también presentan un leve incremento, rondando los 20°C. Por otro lado, Boyacá mantiene temperaturas estables, con variaciones mínimas respecto a la década anterior.

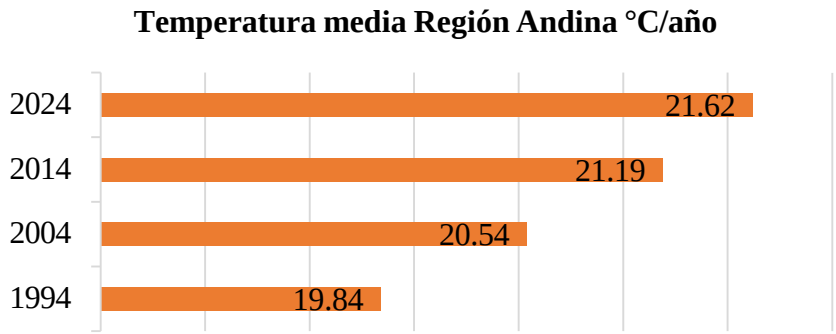
2014: El comportamiento térmico refleja una tendencia general al alza. Cundinamarca continúa liderando con temperaturas cercanas a los 30°C; Antioquia, Caldas, Quindío y Huila registran valores sobre los 20°C, Norte de Santander registra también un leve incremento, pero se mantiene por debajo de este rango, finalmente Boyacá se aproxima a los 15°C.

2024: En esta última década, las temperaturas muestran un comportamiento consistente con la tendencia al calentamiento. Cundinamarca registra cada vez temperaturas más cercanas a los 30°C, seguido por Huila que se aproxima a los 25°C, Antioquia, Caldas y Quindío con niveles superiores a 20°C, Norte de Santander se acerca a este rango, y Boyacá con las temperaturas más bajas, superando los 15°C.

4.1.1.1.4 Análisis de la Temperatura Media por Año para la Región Andina.

Figura 19

Temperatura media de la Región Andina



1994: El promedio anual de temperaturas en la Región Andina se acerca a los 20°C, este valor refleja un clima moderado, con variabilidad entre departamentos.

2004: Se evidencia un incremento en la temperatura anual, superando los 20,5°C. Este aumento podría estar relacionado con fenómenos climáticos globales y locales, así como con las primeras señales de calentamiento en la región.

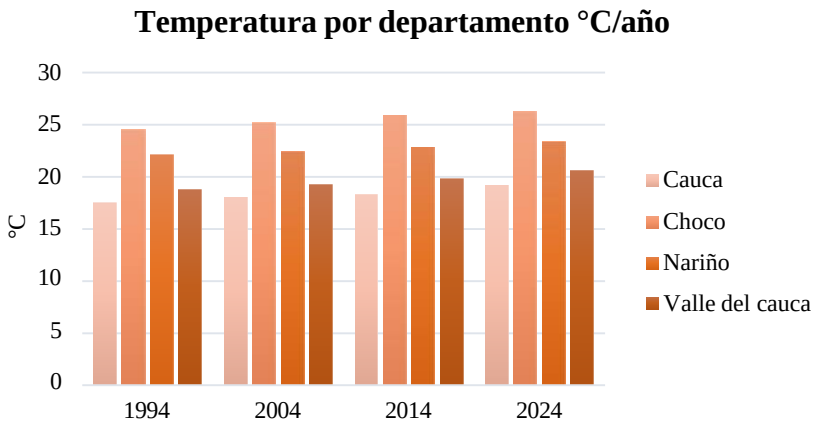
2014: La tendencia al alza continúa, con un promedio de temperatura superior a los 21°C.

2024: La media anual de temperaturas sobrepasa los 21,5°C, mostrando las consecuencias del cambio climático en la Región Andina, considerando las variaciones observadas a lo largo de las décadas.

4.1.1.1.5 Análisis de Temperatura Región Orinoquía.

Figura 20

Temperatura registrada en los departamentos de la Región



1994: La temperatura registrada en la región de la Orinoquía osciló entre los 25°C y los 26°C, destacándose Arauca como el departamento con la temperatura más alta de la región, mientras que Meta registró las temperaturas más bajas.

2004: Según los datos presentados, se observa un ligero aumento de 0.2°C en comparación con 1994 en los departamentos de Arauca, Casanare y Vichada. En contraste, Meta mantiene la misma temperatura registrada en 1994.

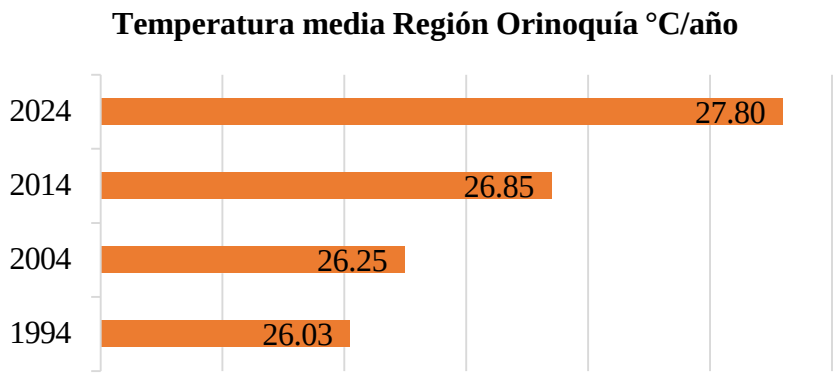
2014: Se presenta un aumento considerable de la temperatura en todos los departamentos, especialmente Arauca con una temperatura registrada de 27.5°C.

2024: Es el año con un aumento significativo de temperatura en la región, alcanzando valores superiores a los 28°C en los departamentos de Casanare y Arauca. En comparación con 1994, el aumento aproximado de temperatura en la región fue de 1.7°C.

4.1.1.1.6 Análisis de la Temperatura Media por Año para la Región Orinoquía.

Figura 21

Temperatura media de la Región Orinoquía



1994: Se registra una temperatura media de 26.03°C, cifra que se encuentra en los rangos normales de la región Orinoquía.

2004: La temperatura promedio aumentó ligeramente en 0.22°C, pasando de 26.03°C a 26.25°C.

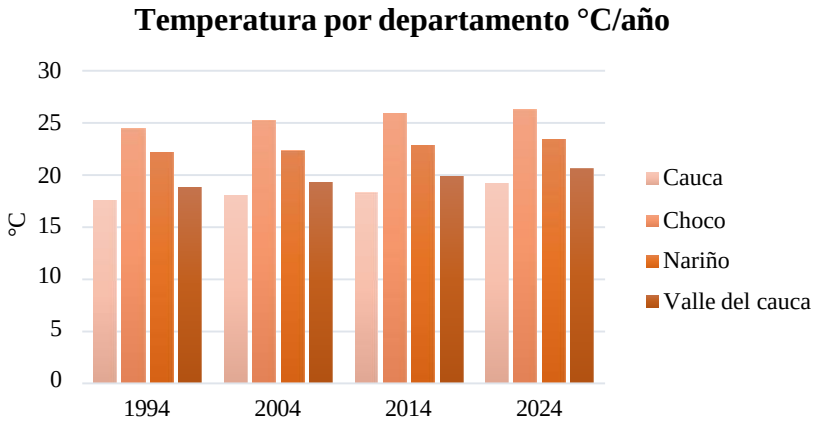
2014: Para este año el valor de la temperatura promedio es de 26.85°C, valor que refleja la tendencia de alza.

2024: Se observa un aumento significativo en la región Orinoquía alcanzando valores que sobrepasan los 27°C.

4.1.1.1.7 Análisis de Temperatura Región Pacífico.

Figura 22

Temperatura registrada en los departamentos de la Región Pacífico



1994: La temperatura en la Región Pacífica presentó una clara variabilidad entre departamentos. Chocó registró las temperaturas más altas, aproximándose a los 25°C, seguido por Nariño con más de 20°C. Finalmente, Cauca y Valle del Cauca mostraron temperaturas alrededor de los 18°C.

2004: Se observa un ligero aumento en las temperaturas. El Chocó mantuvo las temperaturas más elevadas, alcanzando los 25°C. Nariño también registró un leve incremento, mientras que Cauca y Valle del Cauca subieron ligeramente, acercándose a 20°C.

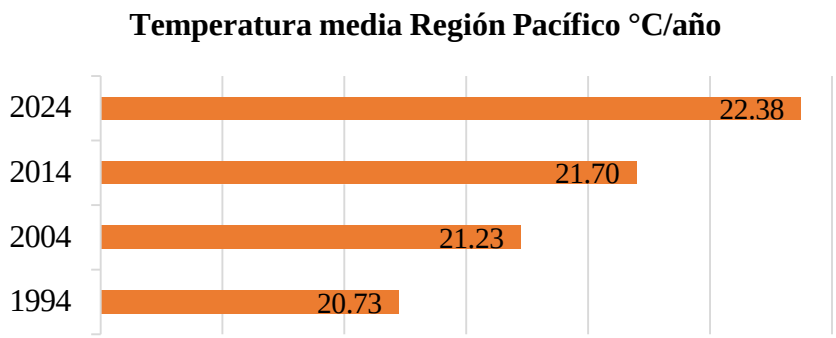
2014: La tendencia al alza continuó. Chocó sigue liderando con temperaturas superiores a 26°C. Nariño alcanzó valores cercanos a los 23°C, Valle del Cauca temperaturas cercanas a 20°C y Cauca con alrededor de 19°C.

2024: Las temperaturas evidencian un comportamiento acorde con el calentamiento global. Chocó registró cifras cercanas a los 27°C, Nariño mantuvo un promedio superior a los 23°C, Valle del Cauca superó los 20°C y Cauca sobrepasó los 19°C.

4.1.1.1.8 Análisis de la Temperatura Media por Año para la Región Pacífico.

Figura 23

Temperatura media de la Región Pacífica



1994: El promedio de temperaturas en la Región Pacífica fue cercana a los 21°C, reflejando un clima húmedo y cálido característico de la región.

2004: Se evidencia un incremento en la temperatura anual, sobrepasando los 21°C, una muestra de las primeras señales de calentamiento.

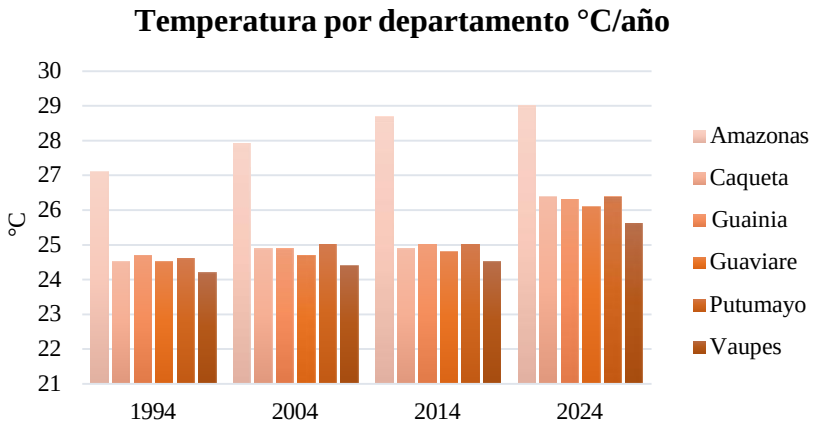
2014: La tendencia al alza continúa, con una media anual que supera los 21,5°C.

2024: La suma anual de temperaturas alcanza los 22,38°C, consolidando las evidencias del cambio climático y su impacto en la Región Pacífico.

4.1.1.1.9 Análisis de temperatura Región Amazonas.

Figura 24

Temperatura en los departamentos de la Región Amazonas



1994: El departamento de Amazonas es el que registra la temperatura más elevada de la región con 27 °C, seguido de Guainía, el cual presenta temperaturas similares a los demás departamentos.

2004: En este año se presenta un aumento significativo de 0.9°C en el departamento de Amazonas respecto a 1994, alcanzando 27.9°C. Por otro lado, Guainía y Caquetá experimentan un ascenso ligero, registrando 24.9°C en ambos departamentos.

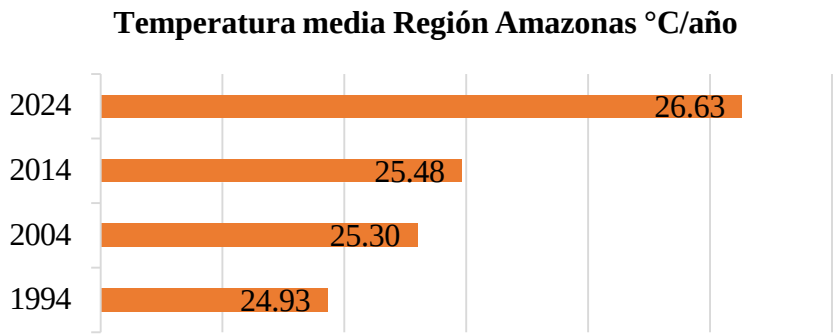
2014: La temperatura de Amazonas continúa siguiendo la tendencia de aumento, registrando valores superiores a los 28°C. Este patrón de incremento también se observa en los demás departamentos, aunque en ellos el ascenso es más moderado sin sobrepasar los 25 °C.

2024: La temperatura de la región Amazonas muestra un incremento representativo oscilando entre los 26 °C y 29°C en todos los departamentos, reflejando una continuidad en la tendencia de calentamiento observada en las últimas décadas.

4.1.1.1.10 Análisis de la Temperatura Media por Año para la Región Amazonas.

Figura 25

Temperatura media de la Región Amazonas



1994: La media de la temperatura para la región amazonas es de 24.93°C, reflejando un clima cálido.

2004: Se presenta un ligero aumento en la temperatura media de la región amazonas.

2014: La temperatura promedio de la región es de 25.48°C para el 2014 aumentando 0.18 en comparación al 2004.

2024: Se presenta un aumento de 1.15°C respecto al año 2014, cifra que refleja el impacto del cambio climático en la región.

De acuerdo a las gráficas anteriores, la temperatura en el país ha evidenciado la incidencia del cambio climático en todas las regiones, como resultado, se observa un aumento significativo en el gradiente térmico al comparar los años 1994 y 2024, de la siguiente manera:

Tabla 12

Comparativo de Temperatura en Colombia año 1994 y año 2024

Región	Caribe	Andina	Orinoquía	Pacífico	Amazonas
°C	+ 1.68	+ 1.7	+ 1.78	+ 1.65	+ 1.7

4.1.2 Sequías

Una de las principales consecuencias del cambio climático ocasionado por el aumento de la temperatura son las Sequías.

Las sequías son eventos climáticos caracterizados por la reducción prolongada y significativa de la disponibilidad de agua en una región, lo que afecta el equilibrio de los ecosistemas y las actividades humanas. Se producen cuando las precipitaciones son inferiores a los niveles normales durante un periodo prolongado, lo que, combinado con temperaturas más

altas y una mayor evaporación, reduce la humedad del suelo, los recursos hídricos y los niveles de los cuerpos de agua subterráneos (Ji et al., 2024).

Las sequías se clasifican en las siguientes categorías, cada una con características y efectos particulares:

4.1.2.1 Sequía Meteorológica. Conocida también como sequía climatológica, se produce por un déficit de la precipitación en periodos extendidos de tiempo a las condiciones climáticas normales de una determinada región (Valiente, Ó. M,2001). Se caracteriza por ser causada por una alta intensidad de evaporación que es provocada por un aumento en la temperatura.

4.1.2.2 Sequía Agrícola. "Es aquella que se origina cuando la humedad y agua del suelo son insuficientes para satisfacer las necesidades de crecimiento de un cultivo y pasturas determinados en un momento específico" (Ndayiragije & Li, 2022, p.3).

4.1.2.3 Sequía Hidrológica. Se refiere a la disminución prolongada en el volumen o el caudal de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos (María, 2022).

4.1.2.4 Sequía Socioeconómica. Es cuando ocurre un desequilibrio entre la oferta y demanda de agua que genera impactos económicos y sociales significativos. Este tipo de sequía está relacionado con la dinámica social, el ritmo de consumo y la gestión del recurso hídrico (Qu et al., 2025).

4.1.2.5 Sequía Ecológica. Se define como la escasez de agua que afecta negativamente a los sistemas ecológicos, alterando su ciclo natural y poniendo en peligro la biodiversidad.

4.1.2.6 Sequía Repentina. Se presentan en todas las regiones del mundo y se caracteriza por un inicio abrupto, así como por una rápida intensificación y desarrollo que afecta a todos los sectores.

Es importante recalcar que las sequías son un fenómeno difícil de predecir, de carácter lento y progresivo, lo que genera que no se busquen las causas hasta que el evento este ocurriendo en la zona, conllevando a que las medidas sean de emergencia y en ocasiones poco eficientes (Monreal,2006). Cada tipo de sequía tiene consecuencias que pueden ser devastadoras, afectando la disponibilidad de agua potable, la producción de alimentos, incrementando los incendios forestales, provocado, agravando la desertificación y reduciendo la capacidad de los ecosistemas para retener agua. Además, la sobreexplotación de los recursos hídricos, el crecimiento poblacional y la deforestación han contribuido a agravar el impacto de las sequías, dejando a muchas comunidades en situación de vulnerabilidad.

4.2 Precipitación

El ciclo hidrológico es uno de los procesos más importantes en la Tierra, describe la circulación del agua a través de la atmósfera, la superficie terrestre y los océanos, incluyendo su almacenamiento y flujo mediante la precipitación y evapotranspiración (Ajami, 2021).La precipitación es el principal impulsor del ciclo del agua, manifestándose con la caída de partículas líquidas o sólidas como lluvia, nieve y granizo que dan origen a la formación de corrientes superficiales y abastecimiento de cuerpos de agua.

Las precipitaciones dependen de factores geográficos como la latitud y altitud, varían en el tiempo y en los cambios de cantidad, intensidad, frecuencia y tipo.

En el contexto del cambio climático se ha evidenciado un aumento en los patrones de precipitación, lo que puede generar sequías prolongadas en algunas regiones y lluvias extremas en otras, incrementando de esta manera el riesgo de inundaciones y afectaciones en la disponibilidad de agua y dotación hídrica.

4.2.1 Cambio en el gradiente de precipitación:

El calentamiento global tiene un impacto directo en las precipitaciones. Un aumento en las temperaturas provoca un incremento en el vapor de agua en la atmósfera, debido a que, por cada grado Celsius que se incremente, la capacidad de retención de humedad en el aire aumenta aproximadamente un 7%, provocando que los eventos de precipitaciones, aunque sean menos frecuentes sean extremos (Trenberth KE, 2011).

La precipitación anual global es aproximadamente de 100 cm, cifra que fluctúa de acuerdo a la región. La zona ecuatorial y el Sudeste Asiático son las regiones con mayor precipitación en el planeta Tierra debido a su clima tropical. En contraste, las regiones desérticas, como el desierto de Atacama en Chile, experimentan precipitaciones extremadamente escasas.

Durante el siglo XX, entre 1950 y 1970 a nivel mundial fue un periodo relativamente húmedo donde las precipitaciones aumentaron entre el 7% y el 12% en la franja 30-N a 85-N y alrededor de un 2% entre 0-S y 55-S. Sin embargo, a partir de 1970 las precipitaciones a nivel

regional han tenido una tendencia negativa como es el caso del Suroeste de América del Norte, Europa del Norte y el Mediterráneo (Dore, 2005).

Según Veneros et al. (2025), en América del Sur, en los últimos años se ha observado un retraso en las temporadas de lluvias, una disminución de la precipitación anual y un aumento en la intensidad de las precipitaciones, en comparación con los datos registrados entre 1960 y 1990.

4.2.1.1 Tendencia de precipitación en Colombia. En este contexto, Colombia no es ajena a estos patrones de cambio climático. El comportamiento de las precipitaciones en el país está influenciado principalmente por el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical, las corrientes de aire provenientes de los océanos Atlántico, Pacífico y de la región Amazónica. Además, regionalmente, factores como las circulaciones de los vientos debido a la fisiografía montaña-valle impactan en el volumen de lluvia en las diferentes zonas del país, generando variabilidad en las precipitaciones (Hurtado-Montoya & Mesa-Sánchez, 2014).

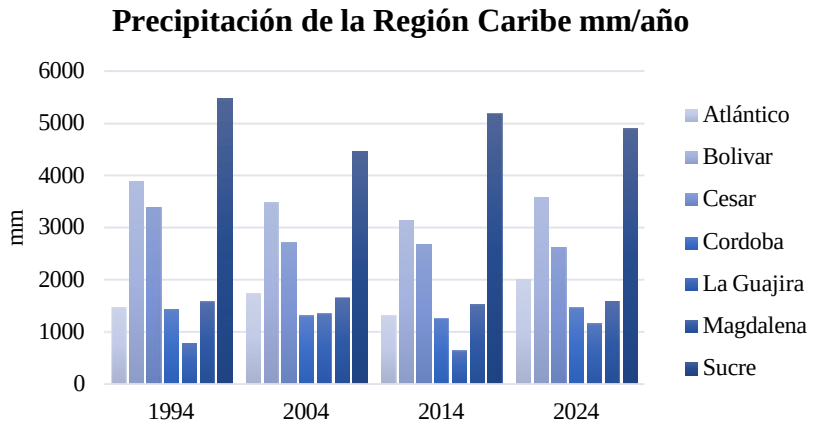
De acuerdo con Jaramillo, A., & Chaves, B. (2000) en Colombia la precipitación se manifiesta mediante dos patrones, un régimen unimodal que se caracteriza por un solo periodo de lluvia que abarca la mayor parte del territorio y un periodo bimodal con dos temporadas de precipitación en las regiones por donde pasa la ZCIT.

A continuación, se presenta un análisis de la precipitación anual en los departamentos y en las cinco regiones de Colombia:

4.2.1.1.1 Análisis de la Precipitación de la Región Caribe.

Figura 26

Precipitación en los departamentos de la Región Caribe



1994: La precipitación en la Región Caribe mostró una marcada variabilidad entre departamentos. Sucre destacó con el nivel más alto, superando los 5,000 mm, seguido por Bolívar y Cesar con niveles también elevados; por su parte, Córdoba, Magdalena y Atlántico presentan precipitaciones intermedias, mientras La Guajira registra las cifras más bajas, con precipitaciones por debajo de los 1000 mm.

2004: En este año, se observa una disminución generalizada en la precipitación en la mayoría de los departamentos, especialmente en Sucre, Bolívar y Cesar, por el contrario, en los departamentos de Atlántico, La Guajira y Magdalena, se presentan ligeros aumentos, con precipitaciones por encima de los 1000 mm.

2014: Los departamentos de Bolívar, Cesar, Córdoba, Magdalena y Atlántico disminuyeron parcialmente sus precipitaciones, a diferencia de Sucre que registró precipitaciones

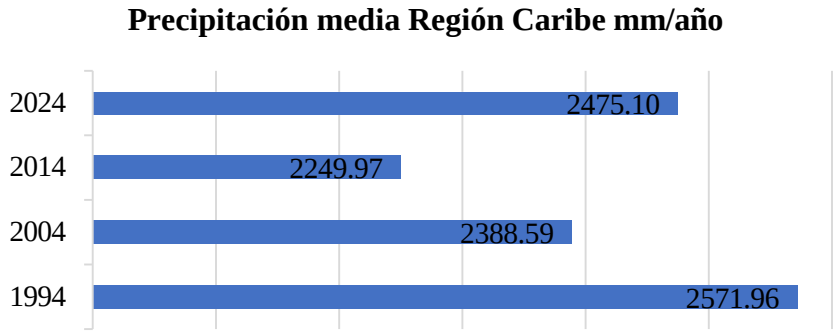
mal altas que 10 años atrás, con más de 5000 mm, manteniéndose como el departamento con mayores lluvias, por su parte, La Guajira registra el descenso más significativo en comparación con las décadas anteriores.

2024: Durante este periodo, hay un repunte en las lluvias, con un incremento notable en Sucre que vuelve a acercarse a los 5,000 mm, consolidándose como el departamento con mayores precipitaciones. Bolívar también muestra un ascenso moderado. Cesar y Magdalena se mantienen, Atlántico registra su mayor precipitación respecto a décadas anteriores, y por su parte, Córdoba y la Guajira experimentan una recuperación parcial, con valores relativamente bajos.

4.2.1.1.2 Análisis de la Precipitación Media por Año para la Región Caribe.

Figura 27

Precipitación media de la Región Caribe



1994: Se registra el valor más alto, con una precipitación de 2571,96 mm lo que indica un año de alta precipitación, posiblemente influenciado por fenómenos climáticos extremos.

2004: Hay una disminución significativa, evidenciando un periodo más seco respecto a la década anterior.

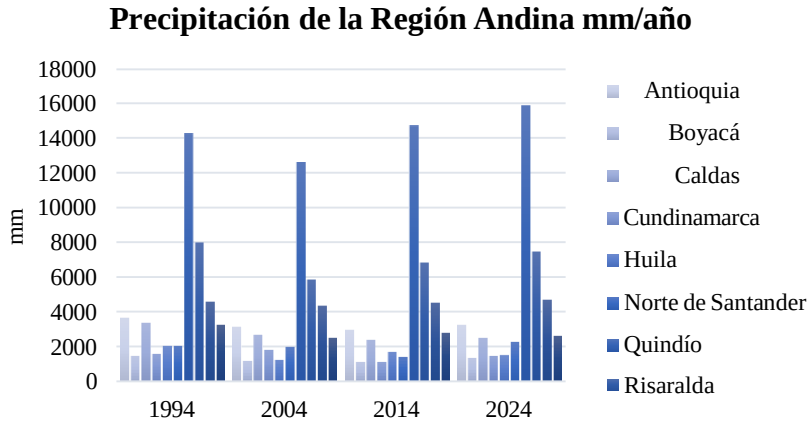
2014: El descenso continúa, alcanzando los niveles más bajos en las cuatro décadas de la serie analizada (2249.97 mm) y podría estar relacionado con el impacto de eventos asociados al cambio climático.

2024: Se observa una recuperación parcial, con precipitaciones por encima de los 2400 mm, lo que sugiere un repunte en las lluvias, pero aún se mantiene por debajo de la precipitación alcanzada en 1994.

4.2.1.1.3 Análisis de la Precipitación de la Región Andina.

Figura 28

Precipitación en los departamentos de la Región Andina



1994: Durante este período, la precipitación muestra una variabilidad moderada, con niveles relativamente estables en la mayoría de los departamentos. Quindío es el departamento

con mayor acumulación de lluvias, registrando los valores más altos. Antioquia y Caldas presentan precipitaciones intermedias, mientras que Boyacá, Cundinamarca, Huila y Norte de Santander registran los valores más bajos, con acumulaciones por debajo de los 2,000 mm.

2004: En esta década se observa una disminución general en los niveles de precipitación en la mayoría de los departamentos, lo que podría estar asociado a fenómenos climáticos. Esta reducción es especialmente notable en Quindío, Caldas, Boyacá y Antioquia. A pesar de la disminución, Quindío sigue registrando los mayores valores de precipitación. En contraste, Cundinamarca y Norte de Santander mantienen niveles similares a los observados en el periodo anterior, sin cambios significativos en su régimen de lluvias.

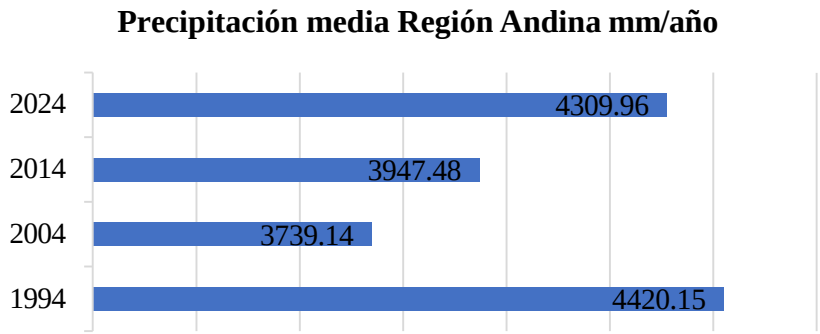
2014: Durante este período, se registra un aumento en la precipitación en la mayoría de los departamentos en comparación con la década anterior. Quindío alcanza nuevamente su punto más alto dentro de la serie analizada, por su parte, Norte de Santander presenta un incremento significativo en los niveles de lluvia. Boyacá y Cundinamarca también presentan un aumento moderado en la precipitación. Estos cambios podrían estar relacionados con una mayor variabilidad climática, reflejada en eventos de precipitación extrema en algunas regiones.

2024: Quindío registró nuevamente el valor más alto de precipitaciones, siendo también el más alto de las cuatro décadas analizadas, con una precipitación cercana a los 16000 mm. Boyacá, Caldas y Antioquia mostraron cifras similares a los diez años anteriores, Huila registró un valor intermedio, alrededor de 3,000 mm, mientras que Cundinamarca, Norte de Santander y Huila superaron los valores registrados en 2014.

4.2.1.1.4 Análisis de la Precipitación Media por Año para la Región Andina.

Figura 29

Precipitación media de la Región Andina



Se observa una variabilidad en los valores registrados, con fluctuaciones en los niveles de lluvia a lo largo del tiempo.

1994: Se registra un valor promedio mayor a 4400, lo que indica un año de alta precipitación en la región**.**

2004: En este año se observa una disminución respecto a diez años atrás, con un total de 3739,14 mm, marcando el punto más bajo de la serie.

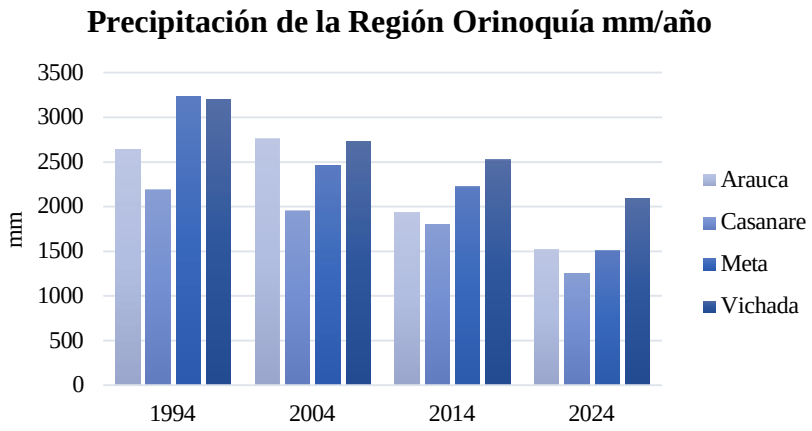
2014: Hay un leve aumento en comparación con el año anteriormente analizado, superando los 3900 mm, lo que sugiere una recuperación parcial en los niveles de lluvia.

2024: La precipitación aumenta significativamente en comparación a 2004 y 2014, con una precipitación media de 4309,96 mm acercándose a los valores de 1994.

4.2.1.1.5 Análisis de la Precipitación de la Región Orinoquía.

Figura 30

Precipitación en los departamentos Orinoquía



1994: Se registran valores de precipitación que oscilan entre 2,000 mm y 3,100 mm en la región, destacando Casanare como el departamento con la menor precipitación anual. Le siguen Arauca, Meta y Vichada, siendo estos dos últimos con precipitaciones anuales muy similares**.**

2004: Se produjo una ligera reducción en los departamentos de Casanare, Meta y Vichada y en Arauca hubo un aumento de 121 mm en comparación al año 1994.

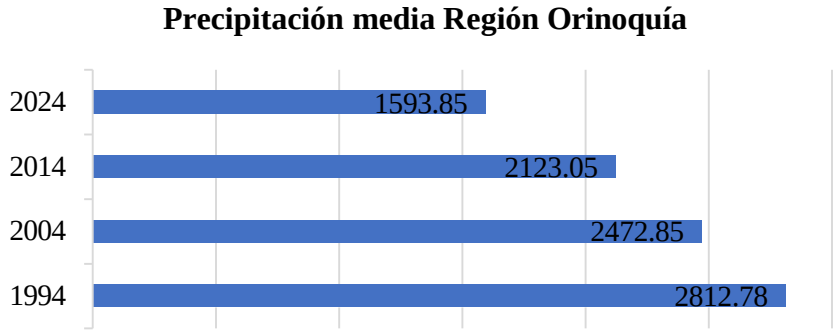
2014: En el departamento de Arauca, la precipitación disminuyó, pasando de 2,758.8 mm en 2004 a 1,937.5 mm en 2014. Además, los demás departamentos también experimentaron una ligera caída en sus precipitaciones.

2024: Para todos los departamentos se observa una disminución significativa respecto a los años anteriores registrando valores aproximados de 1200 mm a 2500 mm reflejando el impacto del cambio climático sobre la región Orinoquía.

4.2.1.1.6 Análisis de la Precipitación Media por Año para la Región Orinoquia.

Figura 31

Precipitación media de la Región Orinoquía



1994: Se registra una temperatura media de 26.03°C, cifra que se encuentra en los rangos normales de la región Orinoquía.

2004: La temperatura promedio aumentó ligeramente en 0.22°C, pasando de 26.03°C a 26.25°C.

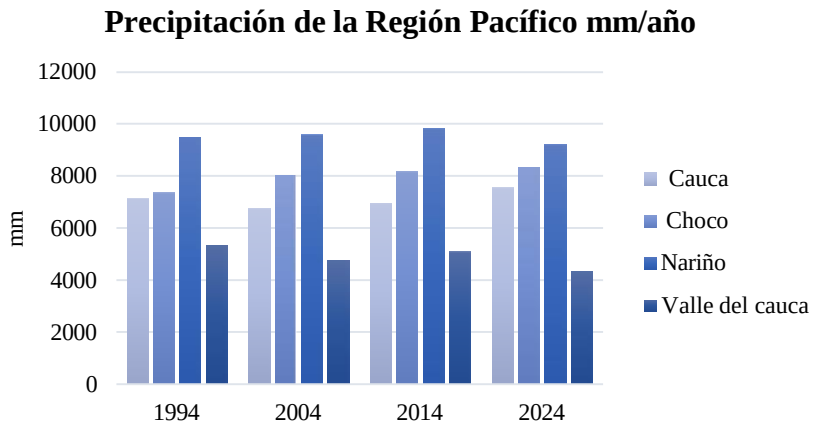
2014: Para este año el valor de la temperatura promedio es de 26.85°C, valor que refleja la tendencia de alza.

2024: Se observa un aumento significativo en la región Orinoquía alcanzando valores que sobrepasan los 27°C.

4.2.1.1.7 Análisis de la Precipitación de la Región Pacífico.

Figura 32

Precipitación en los departamentos de la Región Pacífico



1994: La precipitación en la Región Pacífica mostró variabilidad entre departamentos. Nariño registró el nivel más alto, superando los 9000 mm, seguido por Chocó y Cauca con valores similares que rondan en los 6500 mm y finalmente Valle del Cauca mostró las cifras más bajas, con precipitaciones ligeramente superiores a los 5000 mm.

2004: Se observa un ligero incremento en las precipitaciones en Chocó, aun así Nariño sigue manteniéndose como el departamento con mayores lluvias. Mientras Cauca y Valle del Cauca registran una disminución moderada.

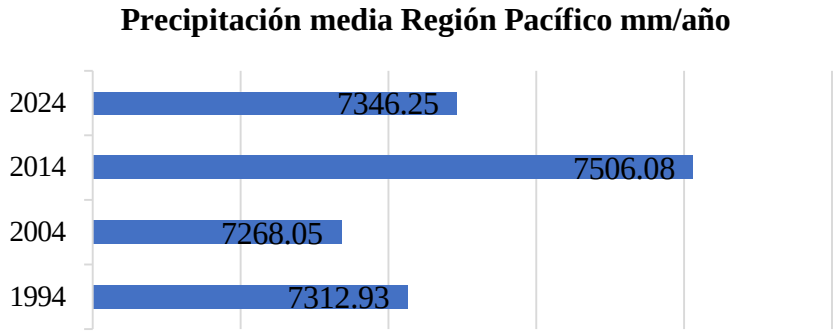
2014: Nariño continúa liderando en precipitaciones, aproximándose a 10000 mm. El Chocó mantiene su tendencia al aumento, sobrepasando los 8000 mm. Cauca experimenta una leve recuperación, aproximándose a los 7000 mm, finalmente Valle del Cauca sigue con niveles similares a la década anterior, ligeramente por encima de los 5000 mm.

2024: En este periodo, Nariño muestra un leve descenso, aunque sigue registrando las precipitaciones más altas, rondando los 9000 mm. El Chocó mantiene un comportamiento estable, con cifras alrededor de los 8000 mm. Cauca registra su mayor precipitación desde 1994, superando los 7500 mm; y Valle del Cauca, en cambio, presenta un ligero retroceso, con valores inferiores a los 5000 mm.

4.2.1.1.8 Análisis de la Precipitación Media por Año para la Región Pacífico.

Figura 33

Precipitación media de la Región Pacífico



El comportamiento anual de la precipitación en la Región Pacífica entre 1994 y 2024 refleja fluctuaciones significativas:

1994: Se registra una precipitación media superior a 7300 mm, lo que indica una región marcada por su clima húmedo y lluvioso.

2004: Se evidencia una ligera disminución respecto a 1994; con una precipitación media de 7268,05, lo que podría estar relacionado a las secuelas de El Niño 2002-2003, que causó reducciones temporales en las lluvias.

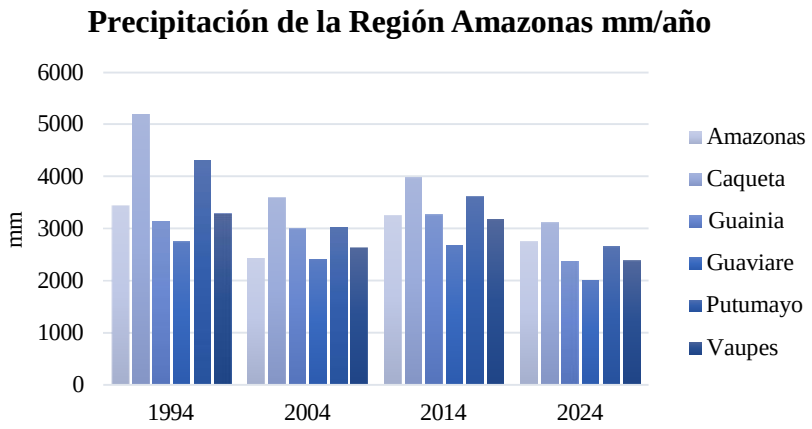
2014: Hay un aumento significativo registrando el pico de lluvias más alto en comparación a los demás datos analizados, superando los 7500 mm. Este valor representa posiblemente la influencia del fenómeno La Niña (2010-2012), un fenómeno conocido por intensificar las precipitaciones en el Pacífico colombiano.

2024: Se observa una disminución con respecto a las precipitaciones de 2014, con un total superior a 7300 mm. Aunque los datos reflejan una reducción, los niveles siguen siendo superiores a los registrados en 1994 y 2004.

4.2.1.1.9 Análisis de la Precipitación de la Región Amazonas.

Figura 34

Precipitación en los departamentos de la Región Amazonas



1994: La precipitación de la región Amazonas refleja la diferencia climática entre sus departamentos, por un lado, tenemos a Caquetá con una precipitación anual mayor a los 5000 mm, mientras que Guaviare presentó una precipitación mayor a los 2000 mm, evidenciando la variabilidad del régimen pluviométrico de la región.

2004: En este año, se observa una disminución pluviométrica en todos los departamentos de la región, destacando especialmente Caquetá, donde la precipitación descendió alrededor de 2000 mm. Además, Amazonas y Putumayo experimentaron una reducción entre los 1000 mm y los demás departamentos mostraron descensos moderados en sus precipitaciones.

2014: En comparación con el año 2004, la precipitación mostró un leve aumento en todos los departamentos, destacando a Amazonas con un aumento de 2421.2 mm en 2004 a 3251.5 mm

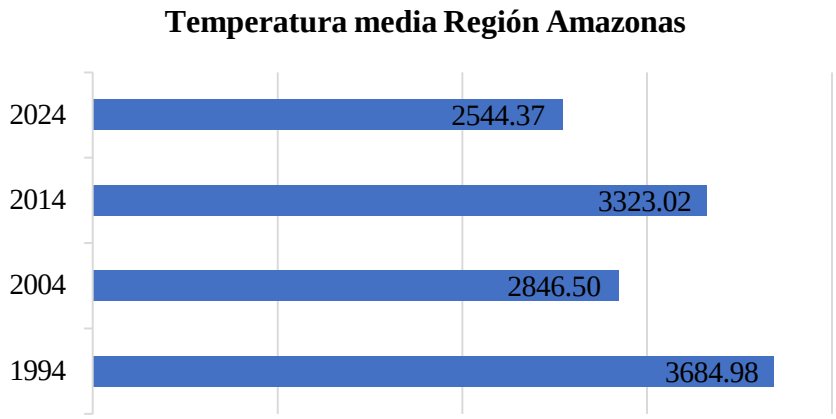
en 2014, Guaviare también experimento aumentos, aunque sigue siendo el departamento con menor precipitación anual.

2024: Se produjo la mayor disminución de precipitaciones en toda la región, marcando una tendencia generalizada de reducción en la cantidad de precipitación en comparación con los años anteriores.

4.2.1.1.10 Análisis de la Precipitación Media por año para la Región Amazonas.

Figura 35

Precipitación media de la Región Amazonas



1994: Es el año que registra una mayor precipitación de los datos analizados, siendo una época lluviosa para casi todos los departamentos que conforman esta región.

2004: A partir de este año, comienza a reducirse el índice de lluvias anual, registrando una disminución aproximada de 5,030.9 mm en comparación con el año anterior.

2014: Se observa una recuperación del volumen anual de precipitación en la región alcanzando valores de 19938,1 mm acercándose a los mostrados de 1994.

2024: Presenta la menor precipitación anual en el Amazonas, siguiendo la tendencia de disminución mostrada desde 1994. Al compararlo con los valores previos, se observa una disminución entre 2,000 mm y 7,000 mm en relación con los años anteriores.

Los datos anteriores muestran que en Colombia ha ocurrido un cambio en el gradiente de precipitación, evidenciando una tendencia negativa en la mayoría de las regiones, al comparar el año inicial 1994 con el 2024:

Tabla 13

Comparativo de precipitación año 1994 año 2024

Región	Caribe	Andina	Orinoquía	Pacífico	Amazonas
Mm	-96.86	- 110.19	-1218.9	+ 33.33	-1140.617

Los efectos del cambio climático han provocado cambios significativos en el gradiente de temperatura y precipitación en todo el territorio colombiano, lo que se refleja en el incremento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones en los últimos años. Cambios que han alterado los patrones climáticos tradicionales provocando pérdidas de los glaciares, sequías, inundaciones, así como a una notable reducción de los recursos hídricos. Según estudios realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 391 municipios del país ya están expuestos al riesgo de escasez de agua, y la tendencia a largo plazo indica que muchos más correrán la misma suerte.

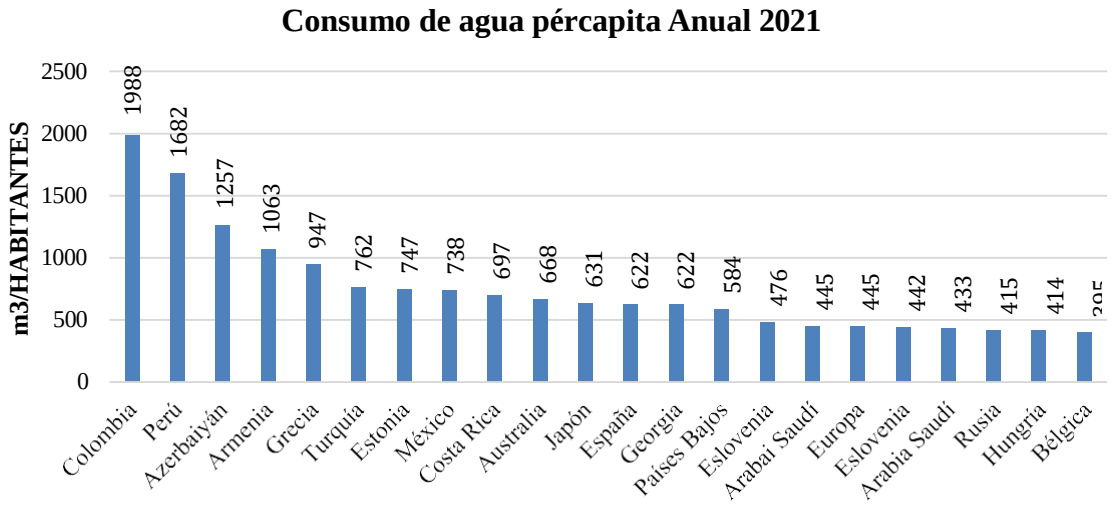
4.3 Consumo Humano.

El consumo humano de agua es un aspecto fundamental dentro del estudio del manejo de recursos hídricos, ya que refleja la cantidad de agua utilizada para satisfacer las necesidades básicas de las personas, como la hidratación, la higiene personal, la preparación de alimentos, el saneamiento y otras actividades domésticas. Este consumo varía significativamente según factores como la disponibilidad de recursos hídricos, las condiciones climáticas, el nivel socioeconómico de la población y las políticas públicas implementadas para la gestión del agua.

Las tasas de consumo humano de agua presentan marcadas diferencias entre los países del mundo, según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (Water withdrawals, s. f.), la extracción de agua per cápita de algunos de sus países miembros es el siguiente:

Figura 36

Consumo de agua pércapita Anual 2021



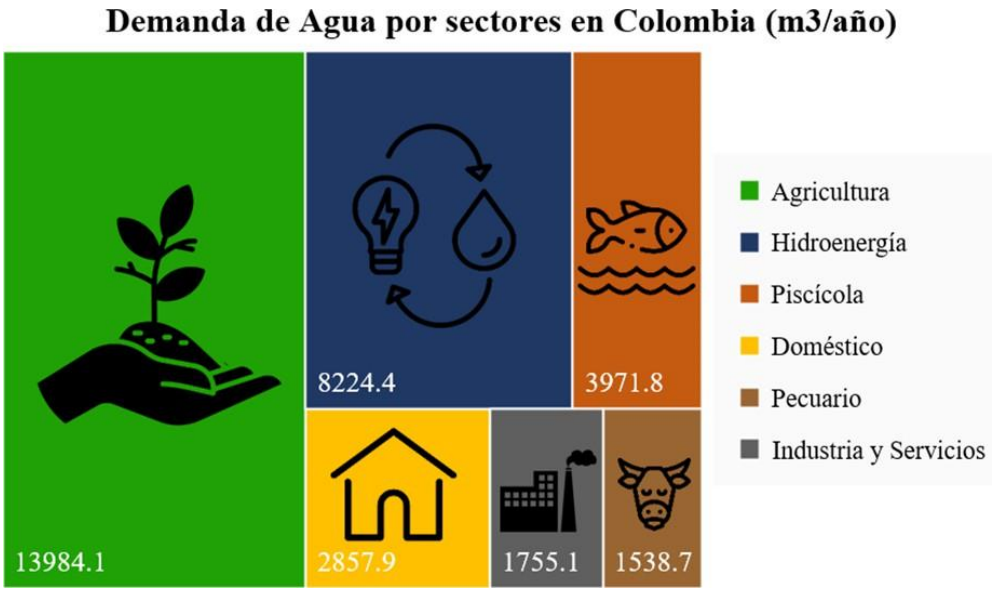
Nota. Datos tomados de la (OCDE).

De acuerdo con los datos de la gráfica, el mayor consumidor de agua es Colombia, país suramericano rico en recursos naturales, que cuenta con una oferta hídrica que asciende a 37.287,1 millones de metros cúbicos por año (Botero, 2020), cifra que se relaciona en parte con los patrones de consumo en el país.

La extracción de agua para Colombia no se distribuye de manera uniforme, ya que cada sector consume el agua de acuerdo a las actividades que desarrollen. Los sectores principales que consumen agua en Colombia son:

Figura 37

Demanda de Agua por sectores en Colombia



Nota. Datos tomados del Estudio Nacional del Agua 2022.

La agricultura es el sector que más consumen agua en el país, lo que refleja su gran influencia en los asuntos sociales y económicos de la nación, debido a que 4.9 millones de

hectáreas están cultivadas y más del 20% del agua de los departamentos se destina al riego agrícola, lo que demuestra la alta dependencia del sector del recurso hídrico.

La demanda de agua de este sector proviene de cultivos que requieren grandes cantidades para su producción, entre ellos se encuentran:

Tabla 14

Consumo de Agua en cultivos

Cultivo	**Requerimiento de Agua**	**Fuente**
Arroz	2.500 a 3.400 l*kg	(Rojas, 2022)
Caña de azúcar	50.000 a 10.0000 m^3*tonelada	(Mercado, 2015)
Maíz	450 l*kg	¿Cuánta agua se necesita para producir alimentos?, s. f.)
Café	21000 l*kg	(Nadal, 2021)

El sector hidro energético también tiene un consumo significativo de agua en el país, con un promedio anual de 8.224,4 millones de m^3, derivados de la utilización del agua en las hidroeléctricas, que proveen cerca del 98,2% del consumo total de energía eléctrica en Colombia, siendo la principal fuente de energía del país.

El sector Piscícola en los últimos años ha experimentado un incremento notable en la mayor parte del territorio, lo que ha incrementado su demanda de agua para la cría de peces en estanques artificiales consumiendo 3971.8 millones de m^3 al año del recurso hídrico del país.

El sector doméstico consume 2857.9 millones de m^3 al año en el país, procedente de las actividades del hogar como:

Figura 38

Consumo de Agua en los hogares



Nota: Evaluación patrones de consumo y caudales máximos instantáneos de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá. (Javier, G. O. A. (2014).

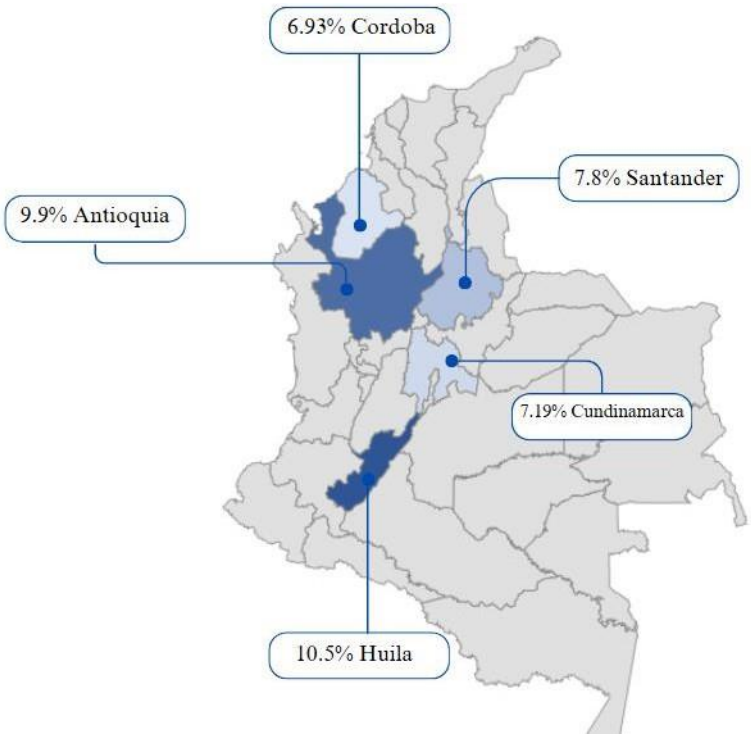
El sector de industria y servicios consume un total de 1755,1 millones de metros cúbicos de agua, utilizada en procesos como la manufactura, el enfriamiento de maquinarias y el saneamiento industrial; este recurso es esencial para la producción de bienes, la generación de energía y la prestación de servicios que contribuyen al desarrollo económico.

El sector pecuario, aunque no representa una de las actividades con mayor demanda de recurso hídrico, si requiere parte importante de la misma con un total de 1538,7 millones de metros cúbicos para el mantenimiento del ganado, la producción de alimentos y los procesos asociados a la industria cárnica y láctea.

Ahora bien, al analizar el consumo de agua por sector, también es fundamental identificar los departamentos con mayor demanda del recurso, ya que esto permite comprender su distribución geográfica y los factores que inciden en su consumo, los cuales se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

Figura 39

Departamentos que más consumen agua en Colombia



Nota. Datos tomados del Estudio Nacional del Agua 2022.

De acuerdo a la imagen anterior, evidenciamos que el consumo de agua varía significativamente entre los departamentos debido a factores como el crecimiento poblacional, el desarrollo industrial, la actividad agrícola y las condiciones climáticas. Según los datos analizados, los departamentos con mayor demanda de agua incluyen Huila (10,5%), Antioquia (9,9%), Santander (7,8%), Cundinamarca (7,19%) y Córdoba (6,93%).

El caso de Huila, que lidera la demanda con un 10,5%, se explica en gran parte por su fuerte sector agroindustrial, especialmente el cultivo de arroz y café que requieren grandes cantidades de agua para riego (Perdomo Beltrán & Castillo Vargas, 2023). Además, la presencia de hidroeléctricas en el departamento también influye en su alto consumo hídrico.

Antioquia, con un 9,9%, es uno de los departamentos más industrializados y poblados del país. Su demanda de agua proviene tanto del consumo doméstico en Medellín y otras ciudades, como de su industria textil, metalúrgica y de producción de alimentos (Sánchez Jabba, 2013), que requieren volúmenes considerables de agua en sus procesos.

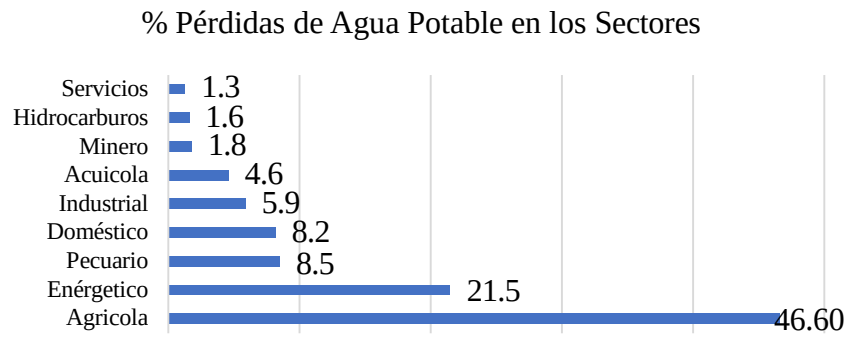
Por su parte, Santander (7,8%) y Cundinamarca (7,19%) tienen una alta densidad poblacional, además de la presencia de industrias y actividades agrícolas. Cundinamarca, en particular, alberga la capital del país, lo que incrementa significativamente la demanda de agua para abastecimiento urbano, servicios y producción agrícola en sus alrededores.

Finalmente, Córdoba (6,93%) presenta la demanda más baja, con actividades como su ganadería extensiva y la producción de cultivos como el maíz y el arroz, que dependen en gran medida del acceso al recurso hídrico.

El uso inadecuado del agua conlleva a que se produzcan desperdicios del recurso hídrico en Colombia derivadas de las malas prácticas en los diferentes sectores:

Figura 40

Pérdidas de Agua Potable en los Sectores de Colombia

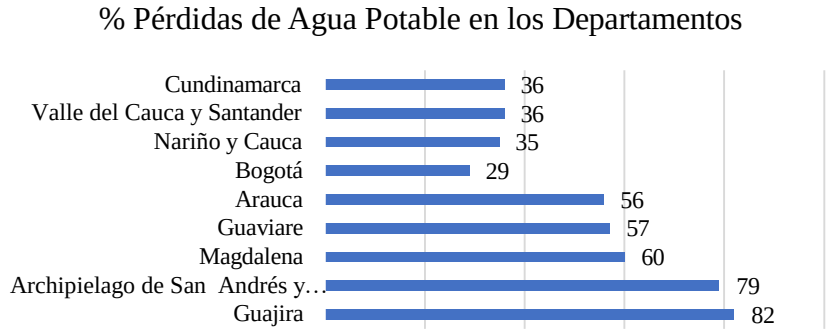


Nota. Datos tomados del DPN/Ideam.

El sector agrícola, siendo el mayor consumidor de agua en el país, es también el que más desperdicios presenta, los cuales pueden derivarse de las técnicas de riego utilizadas.

Figura 41

Pérdidas de Agua Potable de los departamentos



Nota. Datos tomados del DPN/Ideam.

De acuerdo con la figura 41 en la Guajira se pierde el 82% del agua potable, producido por el estado inadecuado de la infraestructura de los sistemas de acueducto, errores de medición y la falta de control, que, sumado con las condiciones climáticas del departamento, agravan la escasez de agua que presenta el territorio.

Capítulo 5. Análisis de Casos

5.1 Análisis de Riesgos del Consumo de Agua Proveniente de Fuentes Superficiales:

Las fuentes de aguas superficiales son esenciales para el abastecimiento de agua potable, que se utiliza en diversas actividades humanas. No obstante, debido a su exposición a la atmósfera, las aguas superficiales se ven contaminadas por el vertido de residuos industriales y domésticos, prácticas agrícolas, ganadería, extracción de recursos o por procesos naturales como la erosión del suelo, escorrentía, entre otros, los cuales originan que la calidad del agua provenientes de estos sistemas hídricos se vea afectada por sustancias perfluoradas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, metales pesados y micro plásticos que representan riesgos a la salud del ser humano (Dippong et al., 2024).

La determinación de la calidad de un cuerpo de agua generalmente implica el análisis de diversos indicadores que permiten evaluar su idoneidad para el consumo humano. Los índices de calidad de agua potable incluyen parámetros que evalúan las características físicas, químicas y bacteriológicas, para Colombia los parámetros máximos permitidos que debe cumplir el agua apta para el consumo humano están reglamentados por la Resolución 2115 de 2007 que son los siguientes:

Tabla 15

Características físicas

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Nota. Datos tomados de la Resolución 2115 de 2007.

Tabla 16

Características químicas que tienen efectos adversos en la salud humana

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Símbolo	Valor máximo Aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN-	0,05

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Símbolo	Valor máximo Aceptable (mg/L)
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Nota. Datos tomados de la Resolución 2115 de 2007.

Tabla 17

Características químicas que tienen consecuencias sobre la salud humana

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Calcio	Ca	60

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	**Expresados como**	**Valor máximo aceptable (mg/L)**
Alcalinidad Total	CaCO3	200
Cloruros	Cl-	250
Aluminio	Al3+	0,2
Dureza Total	CaCO3	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO42-	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO43-	0,5

Nota. Datos tomados de la Resolución 2115 de 2007.

Aunque los parámetros anteriores permiten evaluar ciertos componentes que afectan la salud humana, resultan insuficientes para abarcar todos los contaminantes presentes en las fuentes superficiales. Entre ellos, los contaminantes emergentes como el cloroformo (CHCl3), el dibromoclorometano (CHClBr2), el bromodiclorometano (CHCl2Br) y el bromoformo (CHBr2), los cuales son subproductos de los trihalometanos (THMs) generados por el tratamiento de agua con cloro. Estos compuestos están regulados en la guía de calidad del agua de la Organización Mundial de la Salud (OMS), pero en la normativa colombiana se establece un límite para los

THMs totales sin controlar los niveles de cada subproducto de forma individual, como recomienda la OMS (Borda, et al., 2020).

Además, no se controlan agroquímicos específicos como el glifosato, ni presencia de productos farmacéuticos o micro plásticos presentes en el agua potable y cruda del país. De acuerdo con (Álvarez Bayona, 2021) el agua potable que surte al Área Metropolitana de Cúcuta, cuenta con concentraciones de Glifosato, Paraquat e Ibuprofeno, contaminantes peligrosos para la salud humana.

5.1.1 Efectos adversos en la salud humana:

Los contaminantes emergentes mencionados, se han convertido en un desafío para la calidad del agua ya que su presencia, puede tener efectos adversos como:

5.1.1.1 Cáncer. La presencia de subproductos de THMs y agroquímicos como pesticidas y fertilizantes han sido asociado a una mayor incidencia de cáncer de vejiga, estomago, riñon, hígado, entre otros (Pakzad et al., 2023).

5.1.1.2 Alteraciones Endocrinas y Trastornos Reproductivos. Los ftalatos presentes en el agua pueden interferir con las hormonas endocrinas, aumentando el riesgo de trastornos reproductivos, como problemas de fertilidad, anomalías del desarrollo y cánceres sensibles a las hormonas (Wang et al., 2024).

5.1.1.3 Resistencia a los Antibióticos y Enfermedades Infecciosas. Al contener el agua productos farmacéuticos provoca que los tratamientos convencionales se vuelven menos eficaces, lo que lleva a una mayor prevalencia de enfermedades infecciosas (Wang et al., 2024).

5.1.1.4 Neurotoxicidad. Las sustancias perfluoroalquilo y polifluoroalquilo (PFAS) son contaminantes comunes en el agua potable que afectan el desarrollo neurológico infantil y contribuyen a enfermedades como la encefalopatía, así como a anomalías persistentes en el comportamiento espontáneo, el aprendizaje y la memoria espacial (He et al., 2025).

Los contaminantes presentes en el agua potable también pueden contribuir al desarrollo de enfermedades autoinmunes, alergias y otros trastornos relacionados con la alteración del sistema inmune.

Dado el aumento de los contaminantes emergentes presentes en el agua para consumo humano y su impacto potencial en la salud pública, es crucial que en Colombia se defina una legislación para la calidad del agua que incluya de forma específica el monitoreo y limites permisibles de los contaminantes emergentes (CEs) en el agua potable, así como en las fuentes superficiales de captación (Álvarez Bayona, 2021). Una normativa clara y actualizada garantiza la protección de la salud pública y el manejo eficiente de los recursos, adaptándose a los nuevos agentes contaminantes. También es necesario que se promueva una vigilancia constante tanto en la calidad como el tratamiento utilizado por las empresas prestadoras del servicio en el país, asegurando el acceso de agua potable seguro y libre de riesgos para la salud.

5.2 Implementación de Planes para Reducción de Pérdidas técnicas en los Sistemas de Acueductos.

5.2.1 Caso de Estudio.

Para lograr un manejo adecuado y cumplir con una gestión eficiente de los recursos hídricos las empresas del servicio de agua potable implementan una serie de estrategias. Una estrategia clave son los planes de reducción de pérdidas en los sistemas de acueductos, los cuales favorecen la sostenibilidad del recurso y contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente con el objetivo Agua limpia y saneamiento que busca el acceso universal y equitativo del agua potable. Además, permiten minimizar los costos tanto para las empresas como, para los usuarios que consumen el recurso.

Las pérdidas en los sistemas de acueducto de acuerdo a la Asociación Internacional del Agua (IWA) se dividen en pérdidas técnicas o reales que son escapes físicos de agua en los sistemas de distribución provenientes de fugas o del estado técnico inadecuado del material de las tuberías, conectores y accesorios (Tchórzewska-Cieślak et al., 2024) y pérdidas aparentes o comerciales, que se originan de la imprecisión de la medición del consumo del cliente, consumos no autorizados y errores en la facturación.

A partir de estas pérdidas las empresas miden su eficiencia teniendo en cuenta la clasificación de balance hídrico, presentada en la tabla 18.

Tabla 18

Balance hídrico

Volumen de entrada al sistema	Consumo autorizado	Consumo autorizado facturado	Agua facturada exportada	Agua facturada
			Consumo facturado medido	
			Consumo facturado no medido	
		Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	
			Consumo no facturado no medido	
	Pérdidas de agua	Pérdidas aparentes	Consumo no autorizado	Agua no facturada
			Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
		Pérdidas reales	Fugas en las tuberías de adducción y distribución	
			Fugas y reboses en tanques de almacenamiento	
			Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente	

Nota. Datos tomados de (Jernigan, 2015)

El balance hídrico es una herramienta que, junto con los indicadores de desempeño, utilizan las empresas para obtener cifras confiables al comparar las pérdidas aparentes y reales, así como para identificar de manera detallada los eventos generadores de dichas pérdidas. Los cálculos se realizan con datos recopilados durante un período de tiempo determinado, generalmente a lo largo de un año. En Colombia, al igual que en otros países, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), establece en la resolución 688 de 2014 índices específicos como el Índice de Consumo de Agua Facturada por Suscriptor (ICUF), Índice de Pérdidas por Suscriptor Facturado (IPUF) y Índice de Agua Suministrada por

Suscriptor Facturado (ISUF), que ayudan a las empresas a realizar los cálculos necesarios y determinar si las pérdidas en sus sistemas superan el 25 %, valor máximo permitido según la normativa en Colombia.

Cuando se supera este umbral, las empresas deben implementar planes y programas específicos para la reducción de pérdidas, como es el caso del sistema de acueducto de la ciudad de Cúcuta.

El sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Cúcuta está conformado por dos plantas de tratamiento. La planta de Pórtico que opera mediante un sistema de gravedad obteniendo sus aguas del río Pamplonita y la Planta de Carmen de Tonchala que se abastece del río Zulia y distribuye el agua mediante un sistema de bombeo. Además, el sistema está sectorizado en 93 sectores hidráulicos, lo que facilita un control más eficiente del servicio (*Proceso de potabilización | Aguas Kpital Cucuta S.A ESP*, s. f.).

Figura 42

Acueducto Metropolitano San José de Cúcuta



Nota. Datos tomados de (*Proceso de potabilización | Aguas Kpital Cucuta S.A ESP*, s. f.)

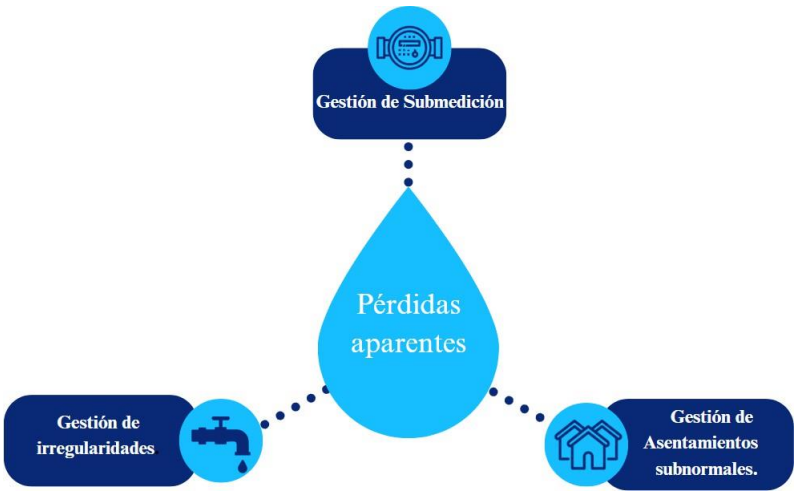
En el año 2015 el sistema de acueducto presentaba un porcentaje de pérdidas del 65% y una continuidad del 30%, en ese mismo año se le otorgó la concesión a la empresa privada Aguas Kpital S.A ESP quien actualmente gestiona el servicio y se comprometió a reducir las pérdidas del sistema al 44% para el año 2026 mediante la implementación de diversas estrategias.

La información que se detalla a continuación fue proporcionada por el Coordinador en Aguas kpital Cúcuta Jaime Andres Garbiras, durante una conferencia en la que se explicaron los programas ejecutados para gestionar las pérdidas del sistema.

5.2.1.1 Gestión de Pérdidas en el Sistema de Acueductos de Cúcuta. El plan de acción de Aguas Kpital para contrarrestar las pérdidas en el sistema, se divide en dos áreas principales, gestión de pérdidas reales y gestión de pérdidas aparentes, cada una incluye sus planes específicos para abordar la situación:

Figura 43

Gestión de Pérdidas Aparentes Sistema de Acueductos Cúcuta



De acuerdo con la imagen la gestión de pérdidas aparentes se realiza mediante tres programas:

5.2.1.1.1 Gestión de submedición. Se realiza mediante la reposición de medidores en casos de que la edad del medidor supere los cinco años o cuando se detectan mediciones erróneas. A través de este programa se reponen aproximadamente 2803 medidores al mes en la ciudad, garantizando una medición precisa.

5.2.1.1.2 Gestión de Irregularidades. Incluye estrategias como:

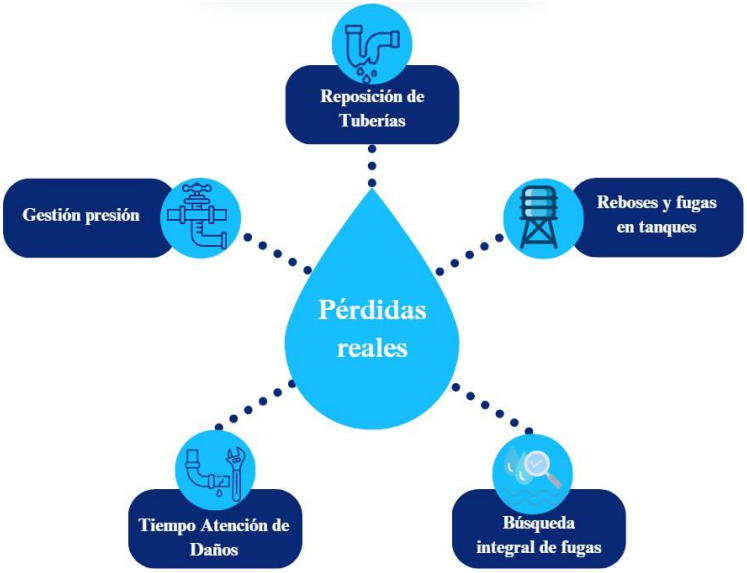
1. Seguimiento y monitoreo de grandes consumidores como hospitales, colegios, y hoteles, con el fin de obtener comparaciones de consumos teóricos.
2. Inspección de sectores con baja facturación a través de recorridos, utilizando análisis estadísticos para identificar posibles irregularidades en el sistema.
3. Atención de reportes de anomalías e inconsistencias en el sistema que los usuarios puedan detectar.

5.2.1.1.3 Gestión de Asentamientos Subnormales. A través de este programa se garantiza el suministro de agua potable a zonas vulnerables, mediante pilas públicas y se realiza el seguimiento del consumo con censos y medidores para cuantificar el agua consumida por esta población.

Para la gestión de Pérdidas reales se implementan cinco programas, los cuales son:

Figura 44

Gestión de Pérdidas reales del Sistema de Acueducto Cúcuta



5.2.1.1.4 Reposición de Tuberías. Consiste en el reemplazo de las tuberías en la red matriz, secundarias y acometidas que presenten fallas o se encuentren deterioradas, garantizando así la continuidad del servicio y previniendo pérdidas adicionales causadas por fugas o defectos en la infraestructura.

5.2.1.1.5 Gestión Presión. Es un programa clave para los sistemas de acueductos, en la ciudad de Cúcuta se implementa mediante el uso de válvulas de presión ubicadas en la entrada de cada sector hidráulico adaptadas a las características específicas de cada uno. Las válvulas permiten controlar la presión durante periodos de tiempo, de esta manera en las horas que se incrementa el consumo la presión aumenta de acuerdo con las necesidades del sistema.

5.2.1.1.6 Tiempo de Atención de Daños. El programa tiene como objetivo realizar las reparaciones en el menor tiempo posible, actuando de manera rápida y eficaz ante los daños presentados, con

el fin de minimizar el tiempo de inactividad del sistema. Actualmente, el tiempo promedio de atención a los daños en la empresa es de 12,85 horas.

5.1.1.1.7 Búsqueda Integral de Fugas. Las fugas presentes en la red que lleva el servicio al usuario es uno de los aspectos de mayor incidencia en las pérdidas de agua por lo que es fundamental garantizar que las tuberías que presente cualquier tipo de fisura o escape, sea arreglada en el menor tiempo posible, para su detección la empresa cuenta con las siguientes acciones:

1. Determinación del caudal mínimo nocturno con el fin de establecer el caudal de fuga de cada sector hidráulico mediante el monitoreo de medidores y análisis de las variaciones de presión a lo largo del día. Con esta información, se puede estimar el volumen de agua perdido por fugas no visibles.

2. Búsqueda sistemática permanente de fugas usando equipos como geófonos y correladores: diariamente, cuatro cuadrillas realizan recorridos de 85 kilómetros para detectar fugas no visibles utilizando los equipos que captan sonidos y vibraciones generadas por el escape de agua.

3. Pre localización de fugas a través de imágenes satelitales en colaboración con una empresa especializada de Israel, utilizando un radar que penetra mediante ondas electromagnéticas la superficie de la Tierra e identifica el agua potable y localiza fugas ocultas en el sistema.

4. Uso de equipos de inspección avanzados como robots en la red matriz.

5. Control de reboses y fugas de tanques.

La implementación de los programas y planes anteriores han sido claves para que el sistema de Acueductos de Cúcuta reduzca el índice de agua no contabilizada, pasando del 57,25% en 2015 al 45,87% en 2023, logrando avances significativos y demostrando una gestión eficiente con estrategias actualizadas que permiten cumplir con los objetivos propuestos y demostrando el compromiso con la mejora continua en la gestión de los recursos hídricos (Kpital, 2023).

Capítulo 6.Conclusiones y Recomendaciones

1. El análisis de la precipitación en las diferentes regiones de Colombia revela variaciones significativas en los niveles de lluvia a lo largo de los años. En la Región Caribe, se observa un comportamiento fluctuante, con periodos de precipitación elevada intercalados con otros de menor intensidad. La Región Andina, debido a su diversidad climática, presenta un patrón irregular, con incrementos y descensos en la cantidad de lluvia registrada.

En la Región Orinoquía, la tendencia general muestra una reducción progresiva en los niveles de precipitación, lo que podría estar vinculado a factores climáticos y a cambios en el uso del suelo. Por su parte, la Región Pacífica, reconocida por ser una de las más lluviosas del país, mantiene niveles elevados de precipitación, aunque con ligeras variaciones a lo largo del tiempo. Finalmente, la Región Amazónica evidencia una disminución en la cantidad de lluvia en comparación con décadas anteriores, lo que podría generar impactos significativos en sus ecosistemas y en la disponibilidad de recursos hídricos. En términos generales, estos patrones de variabilidad en la precipitación pueden estar influenciados por factores como el cambio climático, los ciclos de El Niño y La Niña, así como la intervención humana en los ecosistemas. Estas tendencias destacan la importancia de continuar con el monitoreo de la precipitación y fortalecer las estrategias de gestión de los recursos hídricos para mitigar posibles afectaciones en el suministro de agua en cada región.

2. El análisis de las temperaturas por departamento en Colombia a lo largo de las últimas décadas evidencia una tendencia general de incremento, lo que sugiere un impacto del cambio climático en diversas regiones del país. Se observa que los departamentos costeros y del Caribe,

como Atlántico, Bolívar y La Guajira, han experimentado temperaturas más elevadas en comparación con otras zonas, mientras que, en la región andina, aunque las temperaturas son relativamente más bajas, también se registra un aumento progresivo. Asimismo, en regiones como la Amazonía y el Pacífico, el incremento térmico podría estar relacionado con factores como la deforestación y la alteración de los patrones climáticos. Comparando las décadas analizadas, es evidente que las temperaturas han aumentado significativamente desde 1994 hasta 2024, lo que refuerza la necesidad de implementar estrategias de mitigación y adaptación para reducir los impactos negativos que disminuyan cada vez más el acceso al agua.

3. Durante la investigación, se encontraron documentos de maestría y proyectos de diseño de obras públicas en los que los datos utilizados para definir la dotación de agua provienen de la tabla de la NTC 1500 en su segunda edición; pues, aunque se encuentra derogada establece valores específicos de consumo según el tipo de uso, lo que facilita el trabajo de diseñadores, ingenieros y planificadores en la determinación de la demanda hídrica. Sin embargo, considerando los retos actuales relacionados con la disponibilidad del agua y las políticas de ahorro, resulta fundamental actualizar estos valores con base en estudios recientes que reflejen las condiciones actuales del recurso hídrico. Tomar como referencia datos más recientes permitiría una mejor planificación y gestión del agua, garantizando su uso eficiente y sostenible en el contexto actual de cambio climático y presión sobre los recursos naturales.

A continuación, se presenta una evaluación del consumo para Colombia basada en la NTC 1500 segunda edición y valores actuales establecidos en diferentes documentos:

Tabla 19

Evaluación del consumo

Uso	**Ntc 1500 2° edición**	**Valores actuales**	**Fuente**
Industria.	80 litros/trabajador		
Sacrificio de ganado, preparación y conservación de carnes.		5000 litros/tonelada de animal vivo	(Mercedes, 2012)
Destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas.		1000 litros/m^3 de cerveza; 6000 litros/m^3 de cerveza	
Industria de bebidas no alcohólicas.		5000 litros/m^3 de bebida	
fabricación de lácteos.		1000 a 2000 litros/tonelada de leche	
Producción de harina de trigo y maíz.		3,7 m^3/Ton	
Producción de panadería, galletería y similares.		1,6 m^3/Ton	
Producción de bocadillos y repostería general.		41 m^3/Ton	
Curtiembre.		43 m^3/Ton	
Producción de artículos de caucho.		0,6 m^3/Ton	
Producción de metales ferrosos y no ferrosos.		24,3 m^3/Ton	
Galvanotecnia.		6,4 m^3/Ton	
Producción de carnes frías y embutidos.		5,2 m^3/Ton	
		1,6 m^3/Ton	
		2,5 m^3/Ton	

Uso	Ntc 1500 2° edición	Valores actuales	Fuente
Producción de hojalata y lámina cromada.		315 m^3/Ton	
Fabricación de productos químicos.		120 m^3/Ton	
Fabricación de telas.			
Tintorería y lavado de tela.			
Comercio, mercancías secas, casas de abasto, peluquerías y pescaderías.	20 litros/m^2 mínimo 400 litros/día		
Mercados.	15 litros/m^2	5 l/m^2 /día. Valor estimado en Costa Rica.	MINAE. (2021).
Universidades y colegios.	50 litros/persona/día	34 litros/persona/ día	(Estado del recurso hídrico en el campus de la Universidad del Magdalena, Colombia | Intropica, 2022.)
Internados.	250 litros/persona/día		
Hoteles (a).	500 litros/habitación/día	1.831 l/día/m^2	(Bogota, 2020)
Hoteles (b).	250 litros/cama/día		
Oficinas.	90 litros/persona/día	80 litros/persona/día a 90 litros/persona/día 20 l/m^2 /día	Sanabria Artunduaga, T. H. (2018). (Bogota, 2020)
Cuarteles.	350 litros/persona/día		
Restaurantes.	4litros/día/comida	35 l/asistente/día valor estimado en Costa Rica.	MINAE. (2021).
Hospitales.	600 litros/persona/día	800 l/cama/día valor estimado en Costa Rica. 4.822 l/día/m^2	MINAE. (2021). (Bogota, 2020)

Uso	Ntc 1500 2° edición	Valores actuales	Fuente
Prisiones.	600 litros/persona/día	15 litros/interno/día a 25 litros/interno/día	Corte Constitucional de Colombia. (2018).
Lavanderías.	48 litros/Kg de ropa	33,3 litros/Kg de ropa	Pérez, J. (2023).
Lavado de carros.	400 litros/carro/día	80 litros/carro/día	Portafolio. (2019, marzo 18).
W.C. públicos.	50 litros/hora	6 litros/descarga a 16 litros/descarga	Proyecto de Acuerdo 134 de 2013 concejo de Bogotá, D.C. (s. f.).
Circos, hipódromos, parques de atracciones, estudios, velódromos, autódromos, plazas de toros y similares.	1 litro/espectador	10 l/asistente/día valor estimado en Costa Rica.	MINAE. (2021).
Cabarets, casinos y salas de baile.	30 litros/m^2		
Cines, teatros y auditorios.	3 litros/silla	6 l/asistente/día valor estimado en Costa Rica.	MINAE. (2021).
Estaciones de servicio, bombas de gasolina, garajes, y estacionamientos se colocará de acuerdo con los siguientes consumos: Para lavado automático. • Para lavado no automático. • Para bombas de gasolina. • Para garajes y estacionamientos cubiertos. • Para oficinas y ventas de repuestos.	12000 litros/día/unidad 7500 litros/día/unidad 300 litros/día/surtidor 2 litros/día/m2 de área. 6 litros/día/m2 de área útil	200 a 300 litros/día/unidad 70 a 90 litros/día/unidad	S.A.S, E. L. R. (2018, junio 9)
El suministro de agua para bares, fuentes de soda, refresquerías, cafeterías y similares se	Consumo diario 1500 litros/m^2 60 litros/m^2 50 litros/m^2	8 litros/usuario/día valor estimado para España.	(Natalia, 2024)

Uso	Ntc 1500 2° edición	Valores actuales	Fuente
calculará con base en los siguientes consumos:	40 litros/m^2	130 litros/asiento/día valor estimado para España.	
Área en m² • Hasta 30 • De 31 a 60 • De 61 a 100 • Mayor a 100		500 litros/mesa/día valor estimado para España.	
Piso asfaltado.	1 litro/m^2		
Empedrados.	1,5 litros/m^2		
Jardines.	2 litros/m^2	5 l/m^2 /día valor estimado en Costa Rica.	MINAE. (2021).
Piscinas.	300 litros/persona	300 l/persona/día valor estimado en Costa Rica.	MINAE. (2021).
Duchas piscina.	60 litros/persona		

Referencias

¿Cuánta agua se necesita para producir alimentos? (s. f.). Fundación Aquae. Recuperado 21 de marzo de 2025, de https://www.fundacionaquae.org/cuanta-agua-se-necesita-para-producir-alimentos/

ABNT. (2017).NBR 12218 2017.Representação simplificada de furos de centro em desenho técnico.https://hudsonbonazza.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/09/nbr-12288-nb-1372-representacao-simplificada-de-furos-de-centro-em-desenho-tecnico.pdf

ABNT. (2020).NBR 12214 2020.Projeto de Estação de Bombeamento Ou de Estação Elevatória de Água – Requisitos.https://pdfcoffee.com/nbr-12214-de-072020-projeto-de-estaao-de-bombeamento-ou-de-estaao-elevatoria-de-agua-requisitos-pdf-free.html

ABNT. (2020).NBR 12215 2020. Projeto de adutora de água para abastecimento público. https://www.passeidireto.com/arquivo/90778237/nbr-12215-projeto-de-adutora-de-agua-para-abastecimento-publico

ABNT. (2020).NBR 5626 2020. Sistemas prediais de água fria e água quente — Projeto, execução, operação e manutençãohttps://normadedesempenho.com.br/wp-content/uploads/2022/10/NBR-5626-2020.pdf

Adaptación al cambio climático | UNICEF. (s. f.). Recuperado 24 de marzo de 2025, de https://www.unicef.org/bolivia/adaptaci%C3%B3n-al-cambio-clim%C3%A1tico

Agencia Nacional de Aguas (ANA).(2024). Manual de Consuntivos Usos da Água no Brasil. https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consuntivos_da_agua_no_brasil.pdf/view

Agua, A. N. (2013). Plan Nacional de Recursos del Perú. (INFRAECO). https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/plannacionalrecursoshidricos2013.pdf

Ajami, H. (2021). Geohydrology: Global Hydrological Cycle. En D. Alderton & S. A. Elias (Eds.), Encyclopedia of Geology (Second Edition) (Second Edition, pp. 393-398). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548- 9.12387-

Alcaldía de Bucaramanga. Decreto 0215 de 2013.Por medio del cual se establece el programa Mínimo Vital De Agua Potable en la ciudad de Bucaramanga.https://www.bucaramanga.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/0215-01112013.pdf

Alcaldía de la Estrella. (2012). Acuerdo 005 de 2012.Por medio del cual se institucionaliza el programa mínimo vital de agua para los suscriptores de la empresa de servicios públicos de la Estrella S.A del municipio de la Estrella. https://2024.laestrella.gov.co/uploads/entidad/normatividad/96293-acuerdo-no.-005.pdf

Alcaldía de San José de Cúcuta. (2021). Acuerdo 26 de 2021.Por el cual se establece el beneficio del mínimo vital de agua potable para los sujetos de especial protección constitucional de los estratos 1 y 2 de uso residencial en el municipio de San José de Cúcuta.https://cucuta.gov.co/acuerdo-no-26-de-fecha-16-de-diciembre-de-2021/

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2012). Decreto 064 de 2012.Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 485 de 2011, se reconoce el derecho al consumo mínimo vital de agua potable a los Estratos 1 y 2 de uso residencial y mixto y se toman otras determinaciones. https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=45989

ALCAMO, J., DÖLL, P., HENRICHS, T., KASPAR, F., LEHNER, B., RÖSCH, T., & SIEBERT, S. (2003). Global estimates of water withdrawals and availability under current and future "business-as-usual" conditions. Hydrological Sciences Journal, 48(3), 339-348. https://doi.org/10.1623/hysj.48.3.339.45278

Alley, W. M. (2009). Ground Water. En G. E. Likens (Ed.), Encyclopedia of Inland Waters (pp. 684-690). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00015-6

Álvarez Bayona, M. A. (2021). Análisis de la ocurrencia de contaminantes emergentes (Glifosato, paraquat e ibuprofeno) en fuentes superficiales y en agua potable de Cúcuta—Norte De Santander, y su remoción utilizando tecnología de membranas. http://hdl.handle.net/10584/9786

Asamblea Legislativa Plurinacional de Bolivia.(1999). Ley No. 2029 de 1999. Ley de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario.https://www.afcoop.gob.bo/data/uploads/2017/06/Ley-2029-de-agua-y-saneamiento-b%C3%A1sico.pdf

Asamblea Nacional Constituyente de Venezuela (1976). Ley orgánica del ambiente Gaceta Oficial N° 31.004 del 16 de Junio de 1976.https://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/venezuela/venezuela_1976.pdf

Asamblea Nacional Constituyente de Venezuela (2007). Ley de Aguas. Gaceta Oficial Nº 38.595 del 2 de enero de 2007.https://www.lurconsultores.com/wp-content/uploads/2016/12/Ley-de-Aguas.pdf

Asamblea Nacional de Nicaragua.(1998).Ley 297 de 1998. Ley General de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. La Gaceta N o 123 del 2 de julio de 1998.http://digesto.asamblea.gob.ni/consultas/normas/shownorms.php?idnorm=MjE2NDU=

Asamblea Nacional de Nicaragua.(2007).Ley 620 de 2007. Ley General de Aguas Nacionales.La Gaceta No. 169 del 04 de Septiembre del 2007.https://www.ineter.gob.ni/leyes/LEY%20DE%20AGUA.pdf

Asamblea Nacional Republica del Ecuador. (2015). LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA. https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu165480.pdf

Autoridad Nacional del Agua (ANA).(2021). NTON 09 007-19 Diseño de Sistemas de Abastecimiento Agua Potable.http://www.inaa.gob.ni/sites/default/files/inline-files/NORMA_NTON%2009%20007-19_c.pdf

Barros, A. P. (2013). 5.04—Orographic Precipitation, Freshwater Resources, and Climate Vulnerabilities in Mountainous Regions. En R. A. Pielke (Ed.), Climate Vulnerability (pp. 57-78). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384703-4.00504-9

Bogota, A. M. (2020). Indicadores de consumo de Agua y Energía Eléctrica. https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/indicadores_de_consumo_de_agua_y_energia_electrica_-_bogota_d.c._2020_vf.pdf

Boletín Oficial del Estado. (2001). Real Decreto Legislativo 1 de 2001.Por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-14276

Boletín Oficial del Estado. (2001). Ley 10 de 2001.Ley del Plan Hidrológico Nacional. https://www.boe.es/eli/es/l/2001/07/05/10/con

Boletín Oficial del Estado. (2024). Real Decreto 1085/2024, de 22 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de reutilización del agua y se modifican diversos reales decretos que regulan la gestión del agua. https://www.boe.es/eli/es/rd/2024/10/22/1085/con

Bonet, J., & Cardona, J. (2001). Estrategias de uso eficiente y ahorro de agua en centros educativos: Caso de estudio, edificio Facultad de Ciencias Ambientales – Universidad Tecnológica de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira. https://repositorio.utp.edu.co/entities/publication/9f98648e-50bd-40c1-9422-8abbbee7a2bc

Borda, O. & Guerrero, A. (2020). Caracterización de los niveles de trihalometanos (THMs) en muestras de agua potable, provenientes de la planta regional ubicada en el municipio de Cogua - Zipaquirá, Colombia: un estudio de las causas y efectos. http://hdl.handle.net/11396/6072

Botero, L. A. C. (2020). LA PARADOJA DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA DE MALA CALIDAD EN EL SECTOR RURAL COLOMBIANO. Revista de Ingeniería, 49, Article 49. https://doi.org/10.16924/revinge.49.6

Carbon, D. (2024). Linking water stress and measures of crisis management—A systematic review of emergency drinking water management in Germany. Journal of Environmental Management, 359, 120901. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120901

Carlos, G., Velmurugan, A., Jerard, B. A., Karthick, R., & Jaisankar, I. (2008). Chapter 4—Biodiversity of Polynesian Islands: Distribution and Threat From Climate Change. En C. Sivaperuman, A. Velmurugan, A. K. Singh, & I. Jaisankar (Eds.), Biodiversity and Climate Change Adaptation in Tropical Islands (pp. 105-125). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813064-3.00004-1

Change (IPCC), I. P. on C. (2022). Framing and Context. En Global Warming of 1.5°C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty (pp. 49-92). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2022/06/SR15_Full_Report_HR.pdf

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2014). Resolución CRA 688 de 2014.Diario Oficial No. 49.229 de 31 de julio de 2014.Por la cual se establece la metodología tarifaria para las personas prestadoras de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado con más de 5.000 suscriptores en el área urbana. https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_cra_0688_2014.htm

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2016). Resolución CRA 750 de 2016. Por la cual se modifica el rango de consumo básico. https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_cra_0750_2016.htm

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2003). Por la cual se modifica el artículo 1.2.1.1. y la Sección 5.2.1. del Capítulo 2, del Título V de la Resolución CRA número 151 de 2001. https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_cra_0271_2003.htm

Congreso Constitucional de la República de Costa Rica. (1961). Ley No. 2726 de 1961. Ley Constitutiva del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=37097&nValor3=39114&strTipM=TC

Congreso Constitucional de la República de Costa Rica. (2012).Ley No. 276 de 2012.Ley de Aguas.http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=11950&nValor3=91553&strTipM=TC

Congreso Constitucional de la República de Costa Rica. (2023).Ley No. 6877 de 2023. Reglamento para Regular la Prestación de Servicios en Materia de Aguas Subterráneas.http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=58775

Congreso de la República de Colombia. (1973). Ley 23 de 1973.Por el cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de

Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=9018

Congreso de la república de Colombia. (1978). Ley 10 de 1978.por medio de la cual se dictan normas sobre mar territorial, zona económica exclusiva, plataforma continental, y se dictan otras disposiciones. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-10-1978.pdf

Congreso de la República de Colombia. (1993). Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297

Congreso de la República de Colombia. (1994). Ley 142 de 1994.Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752

Congreso de la República de Colombia. (1994). Ley 161 de 1994.Por la cual se organiza la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena, se determinan sus fuentes de financiación y se dictan otras disposiciones.https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=68533

Congreso de la República de Colombia. (1997). Ley 373 de 1997.Diario Oficial No. 43.058 de 11 de junio de 1997.Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-373-1997.pdf

Congreso de la República de Colombia. (2013). Ley 1625 de 2013.Por la cual se deroga la Ley Orgánica 128 de 1994 y se expide el Régimen para las Áreas Metropolitanas. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=52972

Congreso de la República de Perú. (2005). Ley General del ambiente N°28611 de 2005. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.pdf

Congreso de la República de Perú. (2009). Ley de Recursos Hídricos N°29338 de 2009.https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-29338.pdf

Congreso de los Estados Unidos Mexicanos. (1992). Ley de Aguas Nacionales de 1992. Diario Oficial de la Federación el 1º de diciembre de 1992.https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131792/37._LEY_DE_AGUAS_NACIONALES.pdf

Congreso Nacional de Brasil (1997).Ley 9433 de 1997.Política Nacional de Recursos Hídricos de Brasil.https://braziliannr-com.translate.goog/brazilian-environmental-legislation/law-no-9433-brazilian-national-water-resources-policy/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Corte Constitucional de Colombia. (2018). Sentencia T-208/18. https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2018/t-208-18.htm

Curcio, E., & Profio, G. D. (2019). Chapter 7—Membrane Crystallization. En A. Basile, E. Curcio, & Inamuddin (Eds.), Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes (pp. 175-198). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813551-8.00007-

Demográfico, M. p. (2024). Modelo para la determinación de dotaciones de consumo de agua en un contexto de sequía. https://ecodes.org/images/que-hacemos/MITERD-2023/INFORME_Proyecto_Investigaci%C3%B3n_modelo_asignaci%C3%B3n_datoaciones_agua_27.06.2024.pdf

Dippong, T., Resz, M.-A., Tănăselia, C., & Cadar, O. (2024). Assessing microbiological and heavy metal pollution in surface waters associated with potential human health risk assessment at fish ingestion exposure. Journal of Hazardous Materials, 476, 135187. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.135187

Dore, M. H. I. (2005). Climate change and changes in global precipitation patterns: What do we know? Environment International, 31(8), 1167-1181. https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.03.004

Ecuador en la vanguardia de la protección de los ecosistemas de agua dulce. (s. f.). The Nature Conservancy. Recuperado 24 de marzo de 2025, de https://www.nature.org/es-us/que-hacemos/nuestra-vision/perspectivas/ecuador-muestra-proteccion-ecosistemas-agua-dulce/

Englande, A. J., & Krenkel, P. A. (2003). Waste water Treatment and Water Reclamation. En R. A. Meyers (Ed.), Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition) (Third Edition, pp. 639-670). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00818-8

Estado del recurso hídrico en el campus de la Universidad del Magdalena, Colombia. Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales, 17(1), 72-87. https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/4557/4668

He, Q., Yang, Q., Wu, L., He, Y., Zeng, N., & Wang, Z. (2025). Neurotoxic effects of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) mixture exposure in mice: Accumulations in brain and associated changes of behaviors, metabolome, and transcriptome. Journal of Hazardous Materials, 489, 137699. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.137699

Hurtado-Montoya, A. F., & Mesa-Sánchez, Ó. J. (2014). Reanalysis of monthly precipitation fields in Colombian territory. DYNA, 81(186), 251. https://doi.org/10.15446/dyna.v81n186.40419

INACAL.(2012). IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones DS N° 017-2012. https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619716-is-010-instalaciones-sanitarias-para-edificaciones-ds-n-017-2012

INCONTEC.(2023).NTC 1500 Instalaciones hidráulicas y sanitarias. https://tienda.icontec.org/gp-ntc-instalaciones-hidraulicas-y-sanitarias-ntc1500-2023.html

INEN. CPE INEN 005-9-1: Código Ecuatoriano de la construcción C.E.C. Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes (1992). https://archive.org/details/ec.cpe.5.9.1.1992/page/n129/mode/2up

INEN. CPE INEN 5. Código Ecuatoriano de la construcción C.E.C. Diseño de instalaciones sanitarias: código de practica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural (1997). https://inmobiliariadja.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/normas_disec3b1o_cpe_inen_5_parte_9-2_1997-menos-de-1000-hab.pdf

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA).(2017) Norma Técnica para "Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial" https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Norma%20dise%C3%B1o%20y%20construccion%20sistemas%20agua,%20saneamiento%20y%20pluvial.pdf

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2003).Por la que se establecen los criterios y parámetros para la Clasificación y Priorización de cuencas hidrográficas. https://faolex.fao.org/docs/pdf/col175242.pdf

Javier, G. O. A. (2014). Evaluación patrones de consumo y caudales máximos instantáneos de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52011

Jaramillo, A., & Chaves, B. (2000). Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. https://www.cenicafe.org/es/publications/arc051(02)102-113.pdf

Jernigan, W. (2015). Developing your meter testing program. Presentación, Atlanta. https://cdn.ymaws.com/www.gawp.org/resource/resmgr/Water_Loss_Control_WS_2015/Cavanaugh_-_Developing_Your_.pdf

Ji, Y., Zeng, S., Yang, L., Wan, H., & Xia, J. (2024). Global eight drought types: Spatio-temporal characteristics and vegetation response. Journal of Environmental Management, 359, 121069. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121069

Kpital, A. (2023). Informe de Gestión. Cúcuta. https://akc.com.co/web/wp-content/uploads/2024/01/Informe-de-Gestion-Anual-2023.pdf

Liu, G., Li, Y., Hou, J., Wang, Y., & Lin, D. (2025). A review on the industrial waste based adsorbents for the removal of pollutants from water: Modification methods and adsorption study. Resources, Environment and Sustainability, 19, 100183. https://doi.org/10.1016/j.resenv.2024.100183

Liu, Y., Vrachioli, M., Li, H., Wang, Y., & Sauer, J. (2025). Sustainable water and emissions management in agriculture: The water-emissions-food nexus in China. Resources, Environment and Sustainability, 19, 100187. https://doi.org/10.1016/j.resenv.2024.100187

Mahlknecht, J., González-Bravo, R., & Loge, F. J. (2020). Water-energy-food security: A Nexus perspective of the current situation in Latin America and the Caribbean. Energy, 194, 116824. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116824

Mannan, M., & Al-Ghamdi, S. G. (2022). Chapter 9—Complementing circular economy with life cycle assessment: Deeper understanding of economic, social, and environmental sustainability. En A. Stefanakis & I. Nikolaou (Eds.), Circular Economy and Sustainability (pp. 145-160). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819817-9.00032-6

María, G. R. M. (2022, agosto 24). Análisis del fenómeno de la sequía en Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/82090

Mercado, P. R. A. (2015). Ficha Técnica del Cultivo de la Caña de Azúcar (Saccharum officinarum L.). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/141823/Ficha_T_cnica_Ca_a_de_Az_car.pdf

Mercedes, C. F. A. (2012). Estimación del consumo requerido de agua para un subsector del sector agroalimentario de la ciudad de Bogotá. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9587

MINAE. (2021).Resolución 0237 2021.Por la cual se aprobó la actualización del Manual Técnico de Dotaciones de Agua. https://da.go.cr/wp-content/uploads/2016/06/R-0327-2021-MINAE_Manual-Dotaciones_La-Gaceta-N%C2%BA-204_2021.pdf

MINAE. (2021). Manual Técnico de Dotaciones de Agua del Ministerio de Ambiente y Energía.https://da.go.cr/wpcontent/uploads/2016/06/MANUAL_TECNICO_DE_DOTACIONES_DE_AGUA.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Resolución 1514 de 2012.Por la cual adoptan los Términos de Referencia para la Elaboración del Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos. https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minambienteds_1514_2012.htm

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Resolución 955 de 2012.Diario Oficial No. 48.475 de 28 de junio de 2012.Por la cual se adopta el Formato con su respectivo instructivo para el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico.https://archivo.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_955_2012.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Resolución 1907 de 2013.Por la cual se expide la Guía Técnica para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas.https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-1907-de-2013.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Resolución 1907 de 2013.Por la cual se expide la guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-1907-de-2013.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 0631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.https://www.minambiente.gov.co/wpcontent/uploads/2021/11/resolucion-631-de-2015.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Resolución 959 de 2018.Por medio de la cual se reglamenta parcialmente el artículo 2.2.3.3.1.7 del Decreto 1076 de 2015 y se dictan otras disposiciones.https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/9.-Anexo-9-Resolucion-959-de-2018-Adopta-la-guia-de-modelacion.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Resolución 0957 de 2018.Por la cual se adopta la Guía Técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia y se dictan otras disposiciones.https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-0957-de-2018/

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Resolución 751 de 2018.Por la cual se adopta la Guía técnica para la formulación de Planes de Ordenamiento del Recurso hídrico continental superficial – PORH. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/10.-Anexo-10-Resolucion-751-de-2018-Adopta-Guia-PORH.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Resolución 1256 de 2021.por la cual se reglamenta el uso de las aguas residuales y se adoptan otras disposiciones.https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1256-de-2021.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2011). Resolución 75 de 2011.Diario Oficial 47978 de febrero 9 de 2011. Por la cual se adopta el formato de reporte sobre el estado de cumplimiento de la norma de vertimiento puntual al alcantarillado público.https://faolex.fao.org/docs/pdf/col111134.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Protección Social. (2007). Resolución 2115 de 2007.Diario oficial no. 46.679 de 4 de julio de 2007.Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf

Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004). Resolución 240 del 2004.Por la cual se definen las bases para el cálculo de la depreciación y se establece la tarifa mínima de la tasa por utilización de aguas. https://faolex.fao.org/docs/pdf/col175244.pdf

Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004). Resolución 1433 de 2004.Por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, y se adoptan otras determinaciones.https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15603

Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). Resolución 872 de 2006.Diario Oficial No. 46.273 de 19 de mayo de 2006.Por la cual se establece la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas subterráneas a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones. https://www.cornare.gov.co/instrumentos-economicos/tasa-por-uso/normatividad/Resolucion_872_2006.pdf

Ministerio de Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Resolución 4716 de 2010.Por medio de la cual se reglamenta el parágrafo del artículo 15 del Decreto 1575 de 2007.https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/4716%20-%202010.pdf

Ministerio de Salud. (2010). Decreto Supremo N.° 031-2010-SA. Aprueban reglamento de la calidad del agua para consumo humano. https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa

Ministerio de servicios y obras públicas. (2004). Norma Boliviana NB 512:"Agua Potable - Requisitos"https://www.anesapa.org/data/files/NB512-AP_Requisitos.pdf

Ministerio de servicios y obras públicas. (2004). Norma Boliviana NB 689:" Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable"https://www.anesapa.org/data/files/NB689AguaPotableNORMA.pdf

Ministerio de servicios y obras públicas. (2007). Norma Boliviana NB 688-01: "Reglamentos Técnicos de Diseño de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial" https://aaps.gob.bo/images/MarcoLegal/ResolucionesMinisteriales/RM-49.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 0330 de 2017.Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009.https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/resolucion-0330-2017.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 1571 de 2017.Por la cual se fija la Tarifa Mínima de la Tasa por Utilización de Aguas. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/resolucion-1571-de-2017.pdf

Ministerio del Medio Ambiente. (2001). Resolución 0081 de 2001.Por la cual se adopta un formulario de información relacionada con el cobro de la tasa retributiva y el estado de los recursos y se adoptan otras determinaciones. https://archivo.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_0081-_2001.pdf

Monreal, T. E. (2006). La gestión de las sequías en España. Ingeniería y Territorio, 74, 52-57. https://www.researchgate.net/publication/28116357_La_gestion_de_las_sequias_en_Espana

Murphy, D. W., & Ramsey, C. (2007). CHAPTER 4—THE MEASUREMENT PROCESS. En B. L. Murphy & R. D. Morrison (Eds.), Introduction to Environmental Forensics (Second Edition) (Second Edition, pp. 83-128). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-012369522-2/50005-1

Nadal, A. (2021). ¿CUÁNTA AGUA SE NECESITA PARA UNA TAZA DE CAFÉ? HUELLA HÍDRICA DE LOS ALIMENTOS. https://www.uv.mx/cosustenta/files/2022/02/08-03.pdf

Narváez, D. F. (2015). Estimación de la demanda de agua para uso residencial urbano en la ciudad de Manizales, Colombia, bajo escenarios contrastantes de cambio climático. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55513/1152186444.2015.pdf?sequence=1

Natalia. (2024, junio 13). ¿Hacemos un buen uso del agua en los bares y restaurantes? La Climateria. https://laclimateria.ethic.es/hacemos-un-buen-uso-del-agua-en-los-bares-y-restaurantes/

Navalón, B. (2008). Agua para la energía. Ayuntamiento de Zaragoza. Recuperado de https://zaragoza.es/contenidos/medioambiente/cajaAzul/S2-P1-Baldomero_NavalonACC.pdf

Ndayiragije, J. M., & Li, F. (2022). Effectiveness of Drought Indices in the Assessment of Different Types of Droughts, Managing and Mitigating Their Effects. Climate, 10(9), Article 9. https://doi.org/10.3390/cli10090125

NOM-179-SSA1. (2020). Agua para uso y consumo humano. Control de la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento de agua. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5603318&fecha=22/10/2020#gsc.tab=0

Passos Gomes, V. (2015). La gestión integrada y participativa de las aguas en Brasil y España: un análisis de derecho comparado. (Tesis doctoral inédita). Universidad de Sevilla, Sevilla. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=45657

Perdomo Beltrán, H., & Castillo Vargas, G. A. (2023). Consideraciones Gerenciales para la Implementación de las NIIF en el Sector Agropecuario. Experiencia desde las PYMES de los subsectores del Café, Cacao, Arroz y Piscícola del Departamento del Huila (Doctoral dissertation, Universidad Surcolombiana). http://www.repositoriousco.co/handle/123456789/3963

Pérez, J. (2023). Gestión del recurso hídrico en Colombia (Tesis de maestría, Universidad Militar Nueva Granada). https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/ce80b772-931a-4ff0-905b-b41b92057e34/content

Pinzón Moreno, A. M. (2020). Uso racional del agua doméstica: Análisis del consumo y uso del agua en Colombia [Universidad de los Andes]. http://hdl.handle.net/1992/51418

Portafolio. (2019, marzo 18). Las normas que deben cumplir los lavaderos de carros en Bogotá. Portafolio. https://www.portafolio.co/negocios/las-normas-que-deben-cumplir-los-lavaderos-de-carros-en-bogota-527129

Presidencia de la República de Colombia, (2007). Decreto 1575 de 2007por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007

Presidencia de la República de Colombia, (2010). Decreto 3930 de 2010 Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del

Título VI -Parte IIILibro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=40620

Presidencia de la República de Colombia. (1974). Decreto 2811 de 1974.Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551

Presidencia de la República de Colombia. (1978). Decreto 1541 de 1978. Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1250

Presidencia de la República de Colombia. (1979). Decreto 1875 de 1979. Por el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones.https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/decreto-1875-de-1979.pdf

Presidencia de la República de Colombia. (1981). Decreto 2858 de 1981. Por el cual se reglamenta parcialmente el Artículo 56 del Decreto-Ley 2811 de 1974 y se modifica el Decreto 1541 de 1978.https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=22675

Presidencia de la República de Colombia. (1984). Decreto 1594 de 1984.Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de

1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=18617

Presidencia de la República de Colombia. (1984). Decreto ley no. 2324 1984.Por el cual se reorganiza la Dirección General Marítima y Portuaria. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/decreto-2324-de-1984.pdf

Presidencia de la República de Colombia. (1994). Decreto 1600 de 1994.Por el cual se reglamenta parcialmente el Sistema Nacional Ambiental (SINA) en relación con los Sistemas Nacionales de Investigación Ambiental y de Información Ambiental.https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=21606

Presidencia de la República de Colombia. (1997). Decreto 3102 de 1997.Por el cual se reglamenta el artículo 15 de la Ley 373 de 1997 en relación con la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua.https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=3333

Presidencia de la República de Colombia. (1998). Decreto1311 de 1998.Diario Oficial No. 43.740, del 15 de julio de 1998.Por el cual se reglamenta el literal g) del artículo 11 de la Ley 373 de 1997.https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/decreto-1311-de-1998.pdf

Presidencia de la República de Colombia. (2002). Decreto 1729 de 2002.Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del Artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras

disposiciones.https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5534

Presidencia de la República de Colombia. (2004). Decreto 155 de 2004.Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=13545

Presidencia de la República de Colombia. (2005). Decreto 4742 de 2005.Por el cual se modifica el artículo 12 del Decreto 155 de 2004 mediante el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas.https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/decreto-4742-de-2005.pdf

Presidencia de la República de Colombia. (2007). Decreto 1575 de 2007.Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007

Presidencia de la República de Colombia. (2007). Decreto1323de 2007.Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico -SIRH-https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/decreto-1323-de-2007.pdf

Presidencia de la República de Colombia. (2007). Decreto1324 de 2007. Por el cual se crea el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposicioneshttps://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/decreto-1324-de-2007.pdf

Presidencia de la República de Colombia. (2008). Decreto 3200 de 2008.Por el cual se dictan normas sobre Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento y se dictan otras disposiciones.https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=32245

Presidencia de la República de Colombia. (2015). Decreto 1076 de 2015.Esta versión incorpora las modificaciones introducidas al Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible a partir de la fecha de su expedición.https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153

Presidencia de la República de Venezuela. (1995). Decreto Nº 883 de 1995.Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos.https://www.lurconsultores.com/wp-content/uploads/2017/07/1995-Decreto-883.pdf

Proceso de potabilización | Aguas Kpital Cucuta S.A ESP. (s. f.). Recuperado 26 de marzo de 2025, de https://akc.com.co/web/proceso-de-potabilizacion/

Proyecto de Acuerdo 134 de 2013 Concejo de Bogotá, D.C. (s. f.). Recuperado 21 de marzo de 2025, de https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=53667

Qu, J., Qin, C., Chang, J., Zhao, Y., Wang, H., & He, F. (2025). Impact of water transfer on socioeconomic drought in China: A new approach based on production and consumption. Agricultural Water Management, 308, 109291. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109291

Restrepo Gutiérrez, E., & Zárate Yepes, C. A. (2016). El mínimo vital de agua potable en la jurisprudencia de la Corte Constitucional colombiana. Opinión Jurídica, 15(29), 123-140. https://revistas.udem.edu.co/index.php/opinion/article/view/1720?source=/index.php/opinion/article/view/1720

Rodríguez, E. (2016). La problemática del agua en Nicaragua. REICE: Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas, 4(7), 261-285. https://doi.org/10.5377/reice.v4i7.2834

Rojas, F. (2022, septiembre 28). El arroz es uno de los cultivos que más agua consume: Innovación reduce 50% su requerimiento hídrico. FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA. https://www.fia.cl/el-arroz-es-uno-de-los-cultivos-que-mas-agua-consume-innovacion-reduce-50-su-requerimiento-hidrico/

Roshan, A., & Kumar, M. (2020). Water end-use estimation can support the urban water crisis management: A critical review. Journal of Environmental Management, 268, 110663. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110663

S.A.S, E. L. R. (2018, junio 9). Conozca las iniciativas ambientales de algunos lavaderos de carros en el país. Diario La República. https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/las-iniciativas-ambientales-de-algunos-lavaderos-de-carros-2767532

Sadoff, C. W., & Muller, M. (2010). La gestión del agua, la seguridad hídrica y la adaptación al cambio climático: efectos anticipados y respuestas esenciales. Estocolmo: Global Water Partnership https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-

papers/14-water-management-water-security-and-climate-change-adaptation.-early-impacts-and-essential-responses-2009-spanish.pdf

Sanabria Artunduaga, T. H. (2018). Estimación de consumos de suelo para el servicio público domiciliario de agua. Perspectiva Geográfica, 23(1), 53-70. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-37692018000100053

Sánchez Jabba, A. (2013). La reinvención de Medellín. Lecturas de economía, (78), 185-227. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-25962013000100006&script=sci_arttext

Sheibani, E., & Mohammadi, A. (2018). The impacts of water compositions on sensory properties of foods and beverages cannot be underestimated. Food Research International, 108, 101-110. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.024

Talley, L. (2002). Salinity Patterns in the Ocean. The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change, 1, 629-640.https://www.semanticscholar.org/paper/Salinity-Patterns-in-the-Ocean-Talley/34cc23181c1a79af9ae4867738c4f93977705c11?p2df

Tchórzewska-Cieślak, B., Szpak, D., Żywiec, J., & Rożnowski, M. (2024). The concept of estimating the risk of water losses in the water supply network. Journal of Environmental Management, 359, 120965. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120965

Teo, C. J., Poinapen, J., Hofman, J. A. M. H., & Wintgens, T. (2025). Assessing water dependencies and risks in Dutch industries: Distribution, consumption and future challenges. Water Resources and Industry, 33, 100279. https://doi.org/10.1016/j.wri.2025.100279

Trenberth KE. (2011). Changes in precipitation with climate change. Climate Research, 47(1-2), 123-138. https://www.int-res.com/articles/cr_oa/c047p123.pdf

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2016). Informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo. UN. https://doi.org/10.18356/e9ff6a85-es

Valiente, Ó. M. (2001). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. Investigaciones Geográficas (España), (26), 59-80 https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/363/1/Marcos%20Valiente-Sequia.pdf

Valle-Garcia, A., Lozano-Bustamante, S., & Camargo-Caicedo, Y. (2024). Spatial and temporal variability of temperature, precipitation, and solar radiation in Magdalena department, Colombia from 2000 to 2022. Heliyon, 10(21), e38372. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38372

Vargas, A. (2024, enero 15). Senado de la Republica. Senado de la República. https://www.senado.gov.co/

Veneros, J., Hansen, A. J., Jantz, P., Roberts, D., Noguera-Urbano, E., & García, L. (2025). Analysis of changes in temperature and precipitation in South American countries and ecoregions: Comparison between reference conditions and three representative concentration pathways for 2050. Heliyon, 11(4), e42459. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42459

Wang, F., Xiang, L., Leung, K. S.-Y., Elsner, M., Zhang, Y., Guo, Y., Pan, B., Sun, H., An, T., Ying, G., Brooks, B. W., Hou, D., Helbling, D. E., Sun, J., Qiu, H., Vogel, T. M., Zhang, W., Gao, Y., Simpson, M. J., … Tiedje, J. M. (2024). Emerging contaminants: A One Health perspective. The Innovation, 5(4), 100612. https://doi.org/10.1016/j.xinn.2024.100612

Water withdrawals. (s. f.). OECD. Recuperado 21 de marzo de 2025, de https://www.oecd.org/en/data/indicators/water-withdrawals.html

Wilson, T. S., Selmants, P. C., Boynton, R. M., Thorne, J. H., Schmidt, N. D. V., & Thomas, T. A. (2024). Will there be water? Climate change, housing needs, and future water demand in California. Journal of Environmental Management, 369, 122256. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122256

Yano, S., Yamaguchi, M., Yokoi, E., Kanayama, T., Kubota, A., Ogawada, D., Matsumura, A., Gomez-Garcia, M., Ruritan, R. V., & Oki, T. (2020). Using the sectoral and statistical demand to availability index to assess freshwater scarcity risk and effect of water resource management. Journal of Hydrology X, 8, 100058. https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2020.100058

Zapata Gutiérrez, C. A. (2021). Gratuidad del mínimo vital de agua potable para la población más vulnerable como una política de Estado [Universidad de los Andes]. http://hdl.handle.net/1992/56504