



PROYECTO

**MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE CUENCAS INCORPORANDO LAS MEJORES PRÁCTICAS
AGRÍCOLAS EN EL CULTIVO DE LA PALMA DE ACEITE
C-INV-AG-007**

REPORTE TÉCNICO

DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE LA DEMANDA HÍDRICA SECTORIAL

Elaborado por: Carlos Ricardo Bojacá y Andrea Zabala

Área de Geomática

Septiembre 2025

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. METODOLOGÍA	2
1.1. Armonización con POMCAS existentes	2
1.2. Sector Doméstico	3
1.2.1. Información demográfica base	3
1.2.2. Metodología de estimación de demanda hídrica	3
1.2.2.1. Determinación de Dotaciones	3
1.2.2.2. Cálculo de Dotación Bruta.....	3
1.2.3. Conversión a Caudales de Diseño.....	4
1.2.3.1. Cálculo de Demanda Anual	4
1.2.4. Procesamiento de Series Temporales.....	4
1.3. Sector Agrícola	4
1.3.1. Palma de Aceite.....	4
1.3.2. Banano	5
1.4. Caudal Ecológico	5
1.5. Consolidación de Demandas Sectoriales	6
2. RESULTADOS	7
2.1. Sector Doméstico	7
2.1.1. Distribución y Magnitud Poblacional por Cuencas	7
2.1.2. Magnitud y Distribución de la Demanda Hídrica Doméstica	8
2.2. Sector Agrícola	10
2.2.1. Evolución de las Áreas de Cultivo.....	10
2.2.2. Demanda Hídrica por Cultivo y Cuenca.....	11
2.3. Caudal Ecológico	12
2.4. Demanda Sectorial Total.....	12
CONCLUSIONES.....	14
BIBLIOGRAFÍA.....	15

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Armonización de Cuencas del Proyecto con POMCAS existentes	2
Tabla 2. Proyección de la demanda hídrica total por cuenca en millones de m ³ /año para los años de referencia 2018–2024.	10
Tabla 3. Caudal ecológico por cuenca calculado según metodología CORPAMAG (25% del caudal medio anual histórico).	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de estaciones hidrométricas utilizadas para el cálculo de caudal ecológico en las cuencas de estudio.	6
Figura 2. Proyecciones de población total por municipio en el área de estudio, período 2018-2024. Fuente: Proyecciones DANE (2025) procesadas según asignación municipal por cuenca.	8
Figura 3. Proyección de la demanda hídrica total (m ³ /año) en las cuencas Aracataca–Tucurinca, Frío–Sevilla y Fundación (2018–2024), insumo para la evaluación de la presión sobre la oferta hídrica.	9
Figura 4. Distribución espacial de las áreas sembradas con palma de aceite y banano/plátano en las cuencas de estudio para los años 2018, 2020 y 2022, según información Corine Land Cover.	10
Figura 5. Evolución de la demanda hídrica anual por cultivo y cuenca en el período 2018-2024.	11
Figura 6. Demanda hídrica total por sector y cuenca en el período 2018-2024.	13

INTRODUCCIÓN

El proyecto "Modelación hidrológica de cuencas incorporando las mejores prácticas agrícolas en el cultivo de la palma de aceite" (C-INV-AG-007) busca analizar la relación oferta-demanda de agua en las cuencas de los ríos Sevilla, Frío, Aracataca, Tucurinca y Fundación en el departamento del Magdalena, mediante la implementación de modelos hidrográficos que incorporen escenarios de manejo del agua en las áreas de cultivo de palma de aceite. Este proyecto tiene como objetivo contribuir a la consolidación de una palmicultura sostenible en la región norte de Colombia, donde se presentan períodos de déficit hídrico que pueden afectar significativamente los rendimientos del cultivo. La modelación hidrológica permite evaluar la disponibilidad actual del recurso hídrico, identificar las mejores prácticas de manejo para optimizar su uso y desarrollar herramientas de soporte para la toma de decisiones sobre gestión integral del agua.

El procesamiento y validación de datos de demanda hídrica constituye una etapa fundamental en el desarrollo de modelos hidrológicos para la gestión integral del recurso hídrico a escala de cuenca. En el marco del proyecto de modelación hidrológica de las cuencas de los ríos Sevilla, Frío, Aracataca, Tucurinca y Fundación, la actividad 1.1.3 tiene como propósito consolidar, procesar y validar la información recopilada sobre usuarios del recurso hídrico y sus patrones de demanda actual, transformando datos dispersos en un conjunto estructurado y confiable que permita alimentar el modelo Hydro-BID. Esta actividad se enmarca dentro del objetivo específico de estimar la demanda actual de agua en las cuencas para los diferentes sectores económicos que confluyen en la zona de estudio, estableciendo los insumos cuantitativos necesarios para los análisis posteriores de balance hídrico y disponibilidad del recurso.

La metodología de procesamiento se fundamentó en la armonización de las cinco cuencas originalmente planteadas con los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) vigentes, garantizando consistencia con los instrumentos oficiales de planificación hídrica establecidos por CORPAMAG. El procesamiento se enfocó en tres componentes principales: el sector doméstico mediante la aplicación de la metodología RAS a proyecciones demográficas del DANE, el sector agrícola concentrándose en los cultivos de palma de aceite y banano como usuarios predominantes del recurso, y el caudal ecológico aplicando criterios establecidos por la autoridad ambiental regional. La integración de datos de múltiples fuentes técnicas (PALMET, Corine Land Cover, IDEAM, zonificación agroclimática de Cenipalma) requirió la implementación de metodologías específicas de validación temporal y espacial para asegurar la calidad y consistencia de la información procesada.

El presente documento reporta los resultados del procesamiento y validación de datos para el período 2018-2024, período que permite caracterizar la demanda hídrica actual de la región y proporcionar los insumos necesarios para la estructuración de la base de datos espacial compatible con el sistema de codificación COMID de Hydro-BID. Los productos generados incluyen series temporales de demanda por cuenca y sector, análisis de distribución espacial de usuarios, y la consolidación de demandas sectoriales que constituyen el marco de referencia para los análisis de sostenibilidad hídrica y escenarios de gestión en las cuencas de estudio. La información procesada establece las bases cuantitativas para evaluar la relación oferta-demanda hídrica actual y orientar la implementación de estrategias de uso eficiente del recurso hídrico en la región.

1. METODOLOGÍA

1.1. Armonización con POMCAS existentes

La metodología de procesamiento y validación de datos de demanda hídrica se fundamentó en la armonización de las cinco cuencas originalmente planteadas en el proyecto con los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) vigentes en la región. Los POMCA constituyen el instrumento oficial de planificación para el uso coordinado del suelo, las aguas, la flora y la fauna establecido en el Decreto 1076 de 2015, y representan la unidad territorial reconocida por las autoridades ambientales para la gestión integral del recurso hídrico. La armonización se basó en la estructura oficial establecida por CORPAMAG mediante Resolución 2670 de 2014, que declara en ordenación la cuenca hidrográfica Complejo Humedales Ciénaga Grande de Santa Marta (NSS 2906-01), la cual contiene cuatro niveles subsiguientes: Río Frío-Río Sevilla (NSS 2906-02), Río Aracataca (NSS 2906-03) que incluye Tucurinca, y Río Fundación (NSS 2906-04).

Esta armonización se justifica técnicamente desde múltiples perspectivas de manejo de la información. Los POMCA establecen la delimitación oficial de las unidades de gestión hídrica conforme a la Guía técnica del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Resolución 1907 de 2013), garantizando consistencia metodológica con los instrumentos de planificación existentes. La agrupación de cuencas según los POMCA facilita la integración de la información procesada con las bases de datos oficiales de caracterización ambiental, zonificación y planes de manejo ya establecidos por las autoridades ambientales competentes. El procesamiento siguió los criterios de priorización del Decreto 1640 de 2012, considerando la importancia del área como ecosistema Ramsar y los antecedentes de afectación por eventos climáticos extremos documentados en la resolución de declaratoria.

La consolidación de datos siguiendo la estructura de los POMCA también garantiza la aplicabilidad y transferibilidad de los resultados del proyecto hacia los instrumentos de gestión territorial existentes. Los consejos de cuenca establecidos para cada POMCA constituyen las instancias consultivas y representativas donde confluyen todos los actores que desarrollan actividades dentro de las cuencas hidrográficas, facilitando la socialización y adopción de los resultados de modelación hidrológica. Esta armonización asegura que los productos del proyecto, incluyendo la base de datos georreferenciada y los escenarios de manejo del recurso hídrico, sean directamente compatibles con los sistemas de información y herramientas de planificación que utilizan las autoridades ambientales y los actores territoriales para la toma de decisiones sobre gestión del agua.

Tabla 1. Armonización de Cuencas del Proyecto con POMCAS existentes

POMCA	Código	Cuencas incluidas	Estado POMCA
Río Aracataca	2906-03	Río Aracataca Río Tucurinca	Formulado
Río Fundación	2906-04	Río Fundación	En proceso
Río Frío – Río Sevilla	2906-02	Río Frío Río Sevilla	Formulado

Los tres POMCA forman parte de la Subzona Hidrográfica Ciénaga Grande de Santa Marta.

1.2. Sector Doméstico

1.2.1. Información demográfica base

La estimación de la población se basó en las proyecciones de población oficiales del DANE (DANE, 2025), que utiliza el método de componentes demográficos. Este enfoque fue actualizado a un modelo multiregional, que a diferencia del método uniregional previo, permite la modelación explícita de los flujos migratorios interregionales por edad y sexo. Este cambio metodológico del DANE permitió una representación más precisa de la redistribución de la población, lo que es particularmente relevante para la estimación de la población en las cuencas del departamento del Magdalena.

Para la elaboración de las proyecciones demográficas, el DANE revisó la división territorial, creando 22 regiones demográficamente consistentes en lugar de los 32 departamentos administrativos, y ajustó la población base mediante el método de sobrevivencia inversa para corregir la subenumeración de la población infantil. Los datos procesados por el DANE constituyeron la base demográfica para caracterizar la demanda doméstica según las cuencas de estudio.

1.2.2. Metodología de estimación de demanda hídrica

Con base en la información demográfica procesada, la estimación de la demanda hídrica doméstica se fundamentó en la aplicación de la Resolución 330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, que establece el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). Esta metodología permitió transformar los datos poblacionales en estimaciones cuantitativas de consumo hídrico siguiendo un proceso secuencial que partió de la determinación de dotaciones per cápita hasta la obtención de demandas anuales por municipio asociado a las cuencas de estudio.

1.2.2.1. Determinación de Dotaciones

Se aplicaron las disposiciones del Artículo 43 del RAS para establecer la dotación neta máxima, integrando la información poblacional con las características altitudinales de cada municipio. Conforme a la Tabla 1 del reglamento, se asignó una dotación neta máxima de 140 L/hab/día para todos los municipios, correspondiente a zonas con alturas menores a 1000 m.s.n.m., criterio aplicable a la región de estudio ubicada en la planicie costera del Caribe.

1.2.2.2. Cálculo de Dotación Bruta

La dotación bruta se calculó aplicando el Artículo 44 del RAS mediante la ecuación:

$$D_{bruta} = \frac{d_{neta}}{(1 - \%p)}$$

Donde:

- D_bruta: Dotación bruta (L/hab/día)
- d_neta: Dotación neta máxima (140 L/hab/día)
- %p: Porcentaje de pérdidas técnicas máximas para diseño (0.25)

Se estableció un porcentaje de pérdidas técnicas del 25% para todos los sistemas, valor máximo permitido según el parágrafo del Artículo 44. Este criterio uniforme se justifica por el nivel de complejidad Medio Alto identificado en todos los municipios del área de estudio.

Aplicando la fórmula: $D_{bruta} = 140 / (1 - 0.25) = 140 / 0.75 = 186.67$ L/hab/día

1.2.3. Conversión a Caudales de Diseño

A partir de la dotación bruta se calcularon los caudales de diseño aplicando los factores de mayoración establecidos en el RAS:

- Caudal medio diario (Qmd): Población × D_bruta / 86,400
- Caudal máximo diario (QMD): Qmd × k1 (factor 1.2)
- Caudal máximo horario (QMH): QMD × k2 (factor 1.5)

1.2.3.1. Cálculo de Demanda Anual

La demanda anual en m³/año se calculó mediante la siguiente secuencia:

1. Demanda diaria (m³/día): Qmd (L/s) × 86.4
2. Demanda anual (m³/año): Demanda diaria × 365

1.2.4. Procesamiento de Series Temporales

El análisis se realizó para el período 2018-2035, procesando datos de población total, población flotante y proyecciones demográficas para cada municipio. Se verificó la consistencia de los parámetros técnicos (dotación neta, pérdidas técnicas, factores de mayoración) manteniéndose constantes durante todo el período de análisis, conforme a las especificaciones del RAS.

Los resultados se organizaron por cuenca según la asignación municipal establecida en la armonización con los POMCA existentes, generando series temporales de demanda que permiten el análisis de tendencias de crecimiento y la integración posterior con el modelo hidrológico Hydro-BID.

1.3. Sector Agrícola

La estimación de demanda hídrica agrícola se enfocó exclusivamente en los cultivos de palma de aceite y banano por ser los más representativos del área de estudio según las coberturas Corine Land Cover disponibles para la región. Estos cultivos concentran la mayor superficie agrícola irrigada en las cuencas analizadas y representan los sectores económicos con mayor demanda de recurso hídrico para riego en la zona norte del departamento del Magdalena. El procedimiento metodológico seguido para cada cultivo fue diferente debido a la disponibilidad de información técnica específica y las características particulares de manejo hídrico de cada sistema productivo.

Para el cultivo de palma de aceite, la demanda hídrica se calculó utilizando la zonificación agroclimática desarrollada por Cenipalma para el departamento del Magdalena (Delgado, 2023), que establece requerimientos hídricos diferenciados según las condiciones climáticas y edáficas específicas de cada zona. En contraste, para el cultivo de banano se implementó la metodología de balance hídrico basada en el cálculo de evapotranspiración de referencia utilizando datos de la plataforma meteorológica PALMET, aplicando coeficientes de cultivo específicos y considerando la precipitación efectiva mensual para determinar las necesidades netas de riego. Para el cálculo de las demandas a nivel de cuenca se utilizaron las áreas de cobertura de estos cultivos obtenidas de los mapas Corine Land Cover del IDEAM para los años 2018, 2020 y 2022 (IDEAM, 2025, interpolando linealmente para obtener series anuales continuas en el período de análisis).

1.3.1. Palma de Aceite

La base para la estimación de la demanda hídrica por parte de la palma de aceite fue la zonificación agroclimática para el departamento del Magdalena que establece clusters homogéneos según condiciones

climáticas y edáficas específicas. El procedimiento metodológico inició con la intersección espacial entre los polígonos de cultivo de palma de aceite de los años 2018, 2020 y 2022 (obtenidos de Corine Land Cover) y las zonas de la zonificación agroclimática. Para cada año de análisis, se calcularon los centroides de los polígonos de palma y se asignó cada centroide a la zona agroclimática más cercana mediante análisis de vecino más próximo. Posteriormente se cuantificó la distribución porcentual de área de palma por zona agroclimática dentro de cada cuenca, considerando únicamente las zonas con representatividad significativa (más de 3 polígonos por zona).

Los requerimientos hídricos se obtuvieron del balance hídrico establecido en la zonificación para condiciones de año normal y palma adulta, utilizando los valores de demanda de riego bruta reportados para cada zona específica. La demanda total por cuenca se calculó aplicando la proporción de área de palma correspondiente a cada zona agroclimática multiplicada por su respectivo requerimiento hídrico unitario y por el área total de palma en la cuenca. Para los años 2018, 2020 y 2022 se procesaron las áreas reales de cada cuenca, mientras que para los años intermedios se aplicó interpolación lineal. Los cálculos consideraron una eficiencia de riego del 30% para sistemas de riego por gravedad típicos en palma de aceite (Delgado et al., 2024).

1.3.2. Banano

La estimación de demanda hídrica para banano se fundamentó en la metodología de balance hídrico utilizando datos de evapotranspiración de referencia de la plataforma meteorológica PALMET. El procedimiento inició con la asignación espacial de datos climáticos a cada polígono de cultivo de banano mediante análisis de vecino más cercano, calculando los centroides de los polígonos de cobertura para los años 2018, 2020 y 2022 y asignando a cada centroide los valores de evapotranspiración de referencia (ET_0) y precipitación del punto PALMET más próximo. Se utilizaron datos mensuales de ET_0 y precipitación con resolución espacial de 5.5 km, garantizando representatividad climática para cada área de cultivo identificada en las coberturas Corine Land Cover.

El cálculo de demanda hídrica siguió la secuencia estándar del balance hídrico cultivo-específico. Se aplicó un coeficiente de cultivo (K_c) de 1.10 para banano (Allen et al., 2006), calculando la evapotranspiración del cultivo ($ET_c = ET_0 \times K_c$) mensual para cada polígono. La precipitación efectiva se estimó como el 80% de la precipitación total mensual, determinando las necesidades hídricas netas como la diferencia positiva entre ET_c y precipitación efectiva. Para obtener la demanda bruta de riego se aplicó una eficiencia de riego del 80%, correspondiente a sistemas de riego tecnificado típicos en banano. La demanda mensual en m^3 se calculó multiplicando las necesidades brutas (mm) por el área de cada polígono, sumando posteriormente los valores mensuales para obtener la demanda anual por cuenca. Los resultados se procesaron para los años 2018, 2020 y 2022, aplicando interpolación lineal para los años intermedios del período de análisis.

1.4. Caudal Ecológico

La estimación del caudal ecológico se fundamentó en la metodología establecida por CORPAMAG, que define este parámetro como el 25% del caudal medio anual de cada estación limnigráfica (CORPAMAG, 2025). Se utilizaron datos históricos de caudales diarios de ocho estaciones limnigráficas del IDEAM ubicadas en las cuencas de estudio (Figura 1), con registros que abarcan desde 1984 hasta 2024, garantizando representatividad estadística para el cálculo de caudales mínimos mensuales históricos. El procesamiento consistió en calcular los caudales medios mensuales para cada estación agrupando los datos diarios por mes y año, seguido del cálculo del caudal mínimo mensual promedio histórico para cada mes del año. Posteriormente se identificó el mes con menor caudal promedio histórico y se aplicó el factor de 25% establecido por la autoridad ambiental.

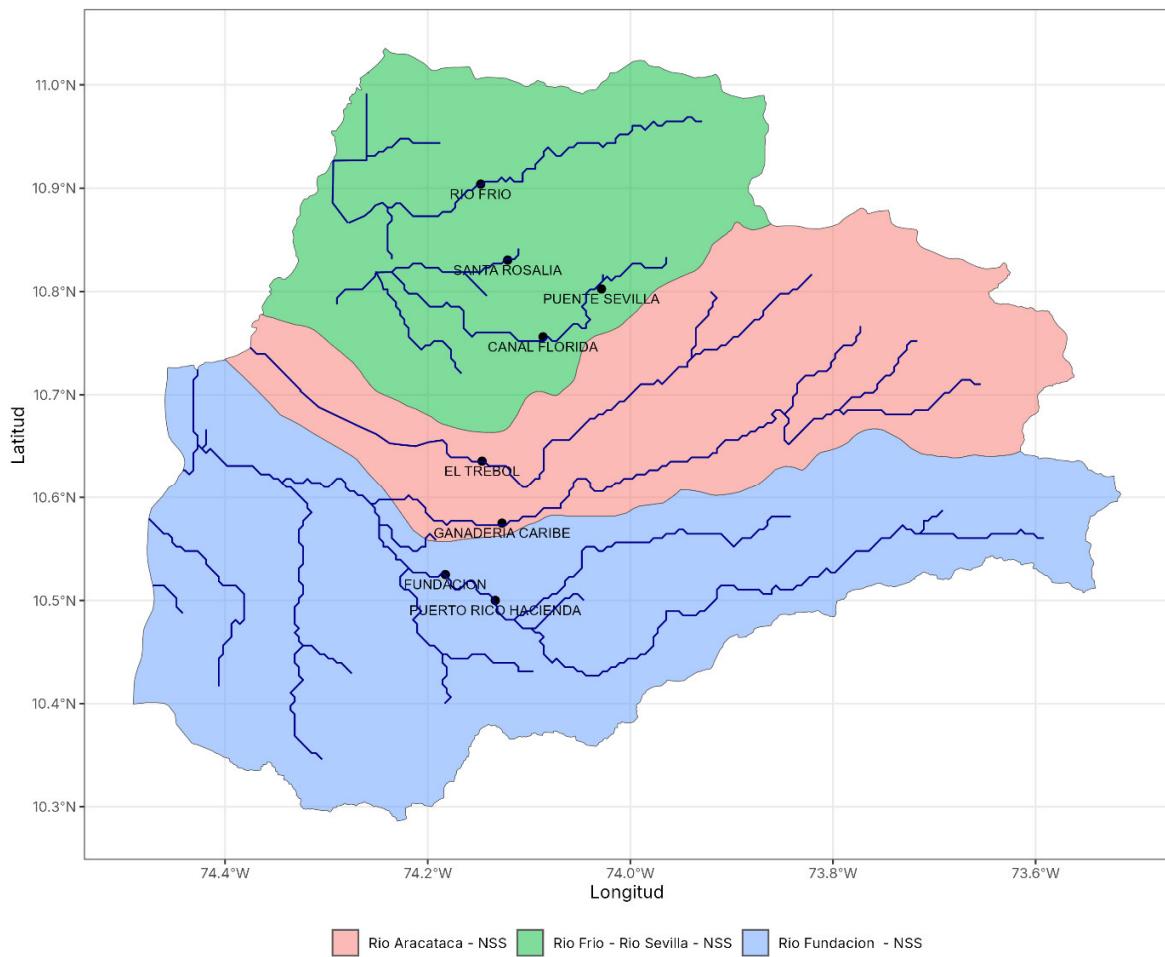


Figura 1. Ubicación de estaciones hidrométricas utilizadas para el cálculo de caudal ecológico en las cuencas de estudio.

Para asignar un caudal ecológico representativo por cuenca, se seleccionaron las estaciones más aguas abajo en cada sistema hidráulico, considerando que los ríos de la región fluyen hacia el occidente desembocando en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Las estaciones seleccionadas fueron RIO FRIO [29067070] para la cuenca Frío-Sevilla, EL TREBOL [29067010] para la cuenca Aracataca, y FUNDACION [29067120] para la cuenca Fundación. Este criterio de selección asegura que el caudal ecológico calculado represente las condiciones hídricas integradas de cada cuenca completa, justo antes de la descarga hacia el sistema lagunar costero. Los caudales ecológicos resultantes se mantuvieron constantes durante todo el período de análisis 2018-2024, expresándose en unidades de $\text{m}^3/\text{año}$ para su integración con las demandas sectoriales.

1.5. Consolidación de Demandas Sectoriales

La consolidación de la demanda hídrica total por cuenca se realizó integrando los resultados de los tres componentes analizados: sector agrícola (palma de aceite y banano), sector doméstico y caudal ecológico para el período 2018-2024. Las demandas del sector agrícola se expresaron en $\text{m}^3/\text{año}$ mediante la suma de los requerimientos mensuales calculados, mientras que las demandas domésticas se mantuvieron en las series anuales ya procesadas según la metodología RAS. El caudal ecológico, calculado como valor constante basado en datos históricos 1984-2024, se convirtió de m^3/s a $\text{m}^3/\text{año}$ multiplicando por el factor

de conversión temporal correspondiente. La demanda total por cuenca resultó de la suma de estos tres componentes, permitiendo identificar la participación relativa de cada sector en la presión sobre el recurso hídrico y establecer el marco de referencia para los análisis de balance hídrico y escenarios de gestión del modelo Hydro-BID.

2. RESULTADOS

2.1. Sector Doméstico

2.1.1. Distribución y Magnitud Poblacional por Cuenca

El análisis de las proyecciones demográficas revela una distribución poblacional marcadamente heterogénea entre los municipios de estudio (Figura 2). Ciénaga concentra la mayor población con 120,071 habitantes en 2018, alcanzando 133,601 habitantes hacia 2024, representando aproximadamente el 45% de la población total del área analizada. La Zona Bananera presenta una población intermedia de 68,722 habitantes en 2018 que se proyecta hacia 77,793 habitantes en 2024, mientras que El Retén mantiene los menores valores poblacionales con 19,697 habitantes en 2018 y 21,875 habitantes proyectados para 2024. Esta distribución establece un patrón donde Ciénaga concentra casi una tercera parte de la población, seguida por Fundación y Zona Bananera con cerca del 17% cada uno, y los municipios restantes con participaciones menores (Figura 1).

Las tendencias de crecimiento poblacional muestran comportamientos diferenciados entre municipios. Ciénaga presenta el mayor crecimiento absoluto con un incremento de 13,530 habitantes durante el período 2018-2024, equivalente a una tasa de crecimiento promedio anual del 1.79%. La Zona Bananera exhibe un crecimiento intermedio de 9,071 habitantes (tasa del 2.09% anual), mientras que El Retén muestra el menor crecimiento absoluto con 2,178 habitantes adicionales, aunque mantiene una tasa de crecimiento sostenida del 1.77% anual. Estas tasas de crecimiento relativamente homogéneas entre municipios indican procesos demográficos regionalmente consistentes, aunque con magnitudes absolutas muy diferentes debido a las poblaciones base.

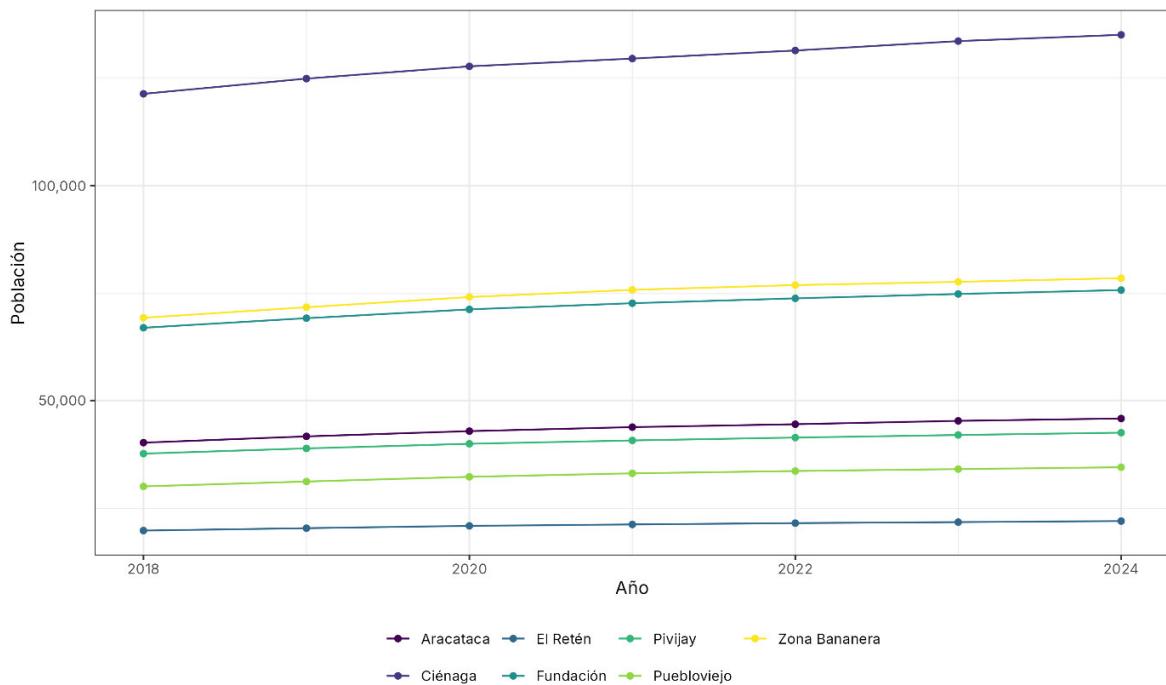


Figura 2. Proyecciones de población total por municipio en el área de estudio, período 2018-2024. Fuente: Proyecciones DANE (2025) procesadas según asignación municipal por cuenca.

El crecimiento poblacional sostenido en todos los municipios, con tasas superiores al 1% anual, indica incrementos progresivos en la demanda hídrica doméstica que deben ser considerados en la planificación de infraestructura de abastecimiento y en los escenarios de modelación hidrológica. El crecimiento poblacional proyectado, desde 262,800 habitantes en 2018 hasta 290,000 habitantes en 2024, constituye la base demográfica para la aplicación anual de las metodologías de cálculo de demanda según los parámetros técnicos del RAS.

2.1.2. Magnitud y Distribución de la Demanda Hídrica Doméstica

La aplicación de la metodología RAS a las proyecciones demográficas procesadas genera demandas hídricas domésticas diferenciadas por cuenca que reflejan directamente los patrones poblacionales identificados (Figura 3). La cuenca Frío-Sevilla presenta la mayor demanda hídrica, iniciando con aproximadamente 15.0 millones de m³/año en 2018 y alcanzando 16.9 millones de m³/año hacia 2024, representando el 57% de la demanda doméstica total del área de estudio. La cuenca Fundación registra una demanda intermedia que evoluciona desde 8.5 millones de m³/año en 2018 hasta 9.6 millones de m³/año en 2024, mientras que Aracataca-Tucurinca mantiene los menores volúmenes de demanda con 2.7 millones de m³/año iniciales y 3.1 millones de m³/año proyectados para el final del período.

El análisis temporal revela incrementos sostenidos en la demanda hídrica doméstica para todas las cuencas, con tasas de crecimiento que mantienen correspondencia directa con las dinámicas demográficas. La cuenca Frío-Sevilla presenta el mayor incremento absoluto con 1.9 millones de m³/año adicionales durante el período 2018-2024, equivalente a una tasa de crecimiento anual del 2.01%. La cuenca Fundación exhibe un incremento de 1.4 millones de m³/año con tasa anual del 2.05%, mientras que Aracataca-Tucurinca registra el menor incremento absoluto con 0.4 millones de m³/año pero mantiene una tasa de crecimiento del 2.3% anual. Las tendencias lineales observadas en las tres cuencas indican

patrones de crecimiento predecibles establecidos según la metodología adoptada por el DANE para realizar sus proyecciones poblacionales.

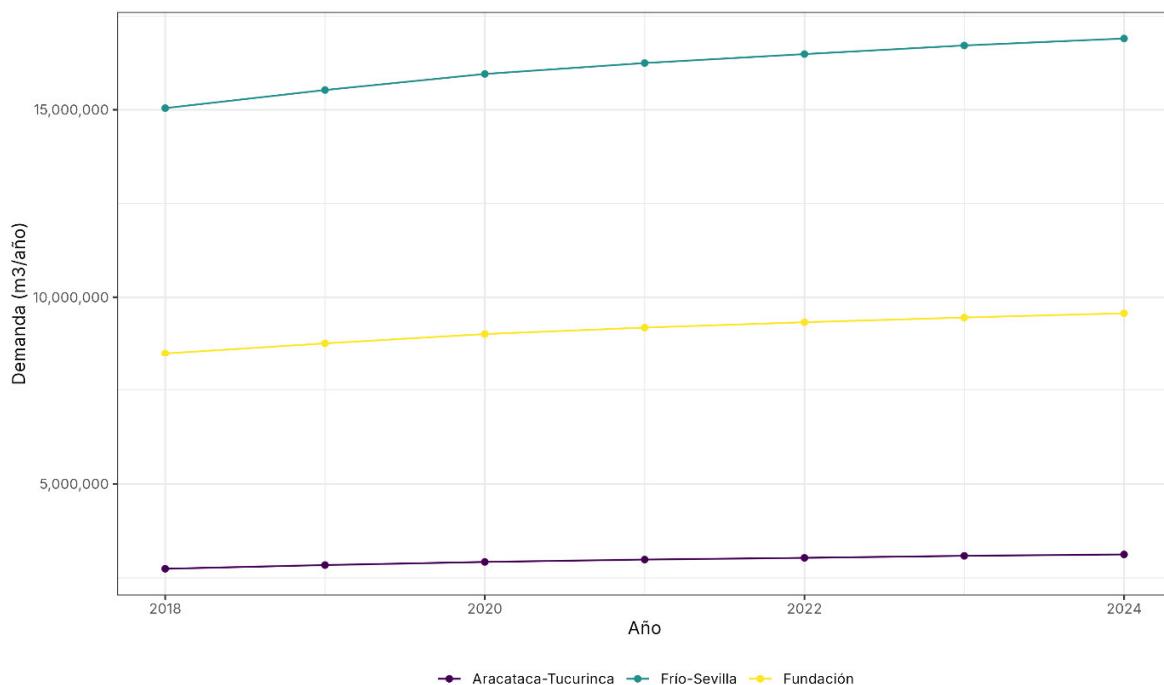


Figura 3. Proyección de la demanda hídrica total (m³/año) en las cuencas Aracataca–Tucurinca, Frío–Sevilla y Fundación (2018–2024), insumo para la evaluación de la presión sobre la oferta hídrica.

La demanda hídrica doméstica total del área de estudio evoluciona desde 26.2 millones de m³/año en 2018 hasta 29.6 millones de m³/año en 2024, representando un incremento del 13% durante el período analizado. Este crecimiento de aproximadamente 3.4 millones de m³/año equivale a un promedio de 566,000 m³/año de incremento anual que debe ser considerado en los balances hídricos y escenarios de disponibilidad del modelo Hydro-BID. La concentración del 57% de la demanda en Frío-Sevilla requiere análisis específicos de la capacidad de los ríos Frío y Sevilla para sostener estas presiones, mientras que el crecimiento sostenido en todas las cuencas establece la necesidad de incorporar proyecciones de demanda en los instrumentos de planificación territorial y gestión del recurso hídrico a nivel regional.

La información presentada en la Tabla 2 confirma un patrón de incremento sostenido en la demanda hídrica doméstica de todas las cuencas, con diferencias claras en magnitud y ritmo de crecimiento. Estos resultados ponen de manifiesto la concentración de presiones en determinadas áreas y la necesidad de enfoques diferenciados de gestión del recurso, incorporando las tendencias observadas en los escenarios de disponibilidad hídrica a nivel regional.

Tabla 2. Proyección de la demanda hídrica total por cuenca en millones de m³/año para los años de referencia 2018–2024.

Cuenca	2018	2020	2022	2024
Aracataca-Tucurinca	2,742,746	2,924,417	3,033,419	3,123,704
Frío-Sevilla	15,044,056	15,955,713	16,485,173	16,901,295
Fundación	8,496,616	9,015,341	9,330,925	9,570,606

2.2. Sector Agrícola

2.2.1. Evolución de las Áreas de Cultivo

El análisis de las coberturas Corine Land Cover para el período 2018-2022 revela patrones diferenciados de evolución para los cultivos de palma de aceite y banano en las tres cuencas de estudio. La palma de aceite presenta una tendencia decreciente generalizada, pasando de un total de 47,499 hectáreas en 2018 a 43,718 hectáreas en 2022, equivalente a una reducción del 8.65% en el período analizado. Esta disminución tiene un comportamiento diferencial en las tres cuencas, siendo más pronunciada en Frío-Sevilla donde el área se redujo de 21,344 hectáreas a 12,953 hectáreas (35% de reducción). En la cuenca Fundación las áreas se mantuvieron estables alrededor de las 21,000 hectáreas mientras que en Aracataca se registró un incremento en el área pasando de 4,428 a 9,392 hectáreas. La distribución espacial mostrada en los mapas confirma que la palma de aceite se concentra principalmente en las zonas bajas de las cuencas, con mayor densidad en las áreas próximas a la planicie costera (Figura 4).

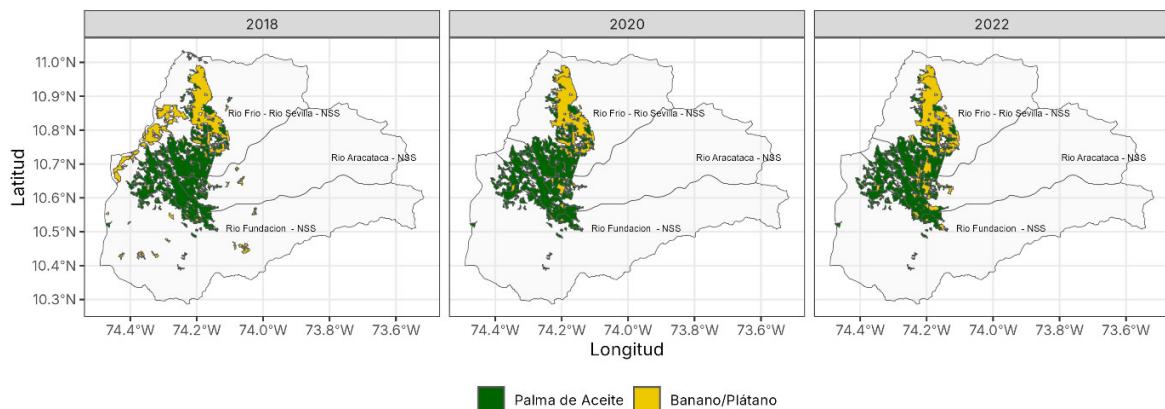


Figura 4. Distribución espacial de las áreas sembradas con palma de aceite y banano/plátano en las cuencas de estudio para los años 2018, 2020 y 2022, según información Corine Land Cover.

En contraste, el cultivo de banano exhibe un comportamiento más variable entre cuencas y años. En Aracataca-Tucurinca se observa un incremento significativo de 1,023 hectáreas en 2018 a 2,579 hectáreas en 2022, representando un crecimiento del 152%. La cuenca Frío-Sevilla muestra una tendencia descendente con reducciones de 19,879 hectáreas en 2018 a 17,179 hectáreas en 2022, mientras que Fundación presenta la mayor variabilidad con una drástica reducción de 3,229 hectáreas en 2018 a apenas 715 hectáreas en 2022. Esta dinámica irregular del banano podría estar asociada a cambios en las condiciones de mercado, reconversión productiva hacia otros cultivos como palma de aceite o

modificaciones en los criterios de clasificación de coberturas entre períodos. La distribución espacial del banano se concentra preferentemente en la cuenca Frío-Sevilla.

2.2.2. Demanda Hídrica por Cultivo y Cuenca

Los resultados revelan marcadas diferencias en las demandas hídricas agrícolas entre cuencas y cultivos durante el período 2018-2024 (Figura 5). La cuenca Frío-Sevilla concentra las mayores demandas hídricas, con la palma de aceite alcanzando un pico de aproximadamente 680 millones de m³/año en 2018 y experimentando una reducción progresiva hasta estabilizarse en torno a 457 millones de m³/año a partir de 2020. En contraste, la demanda de banano en esta cuenca se mantiene relativamente constante alrededor de 100 millones de m³/año durante todo el período. La cuenca Aracataca-Tucurinca muestra un comportamiento diferente, con la palma de aceite iniciando en 133 millones de m³/año en 2018 y aumentando progresivamente su demanda hasta alcanzar aproximadamente 347 millones de m³/año en 2020, manteniéndose estable posteriormente, mientras que el banano presenta demandas mínimas alrededor de los 10 millones de m³/año.

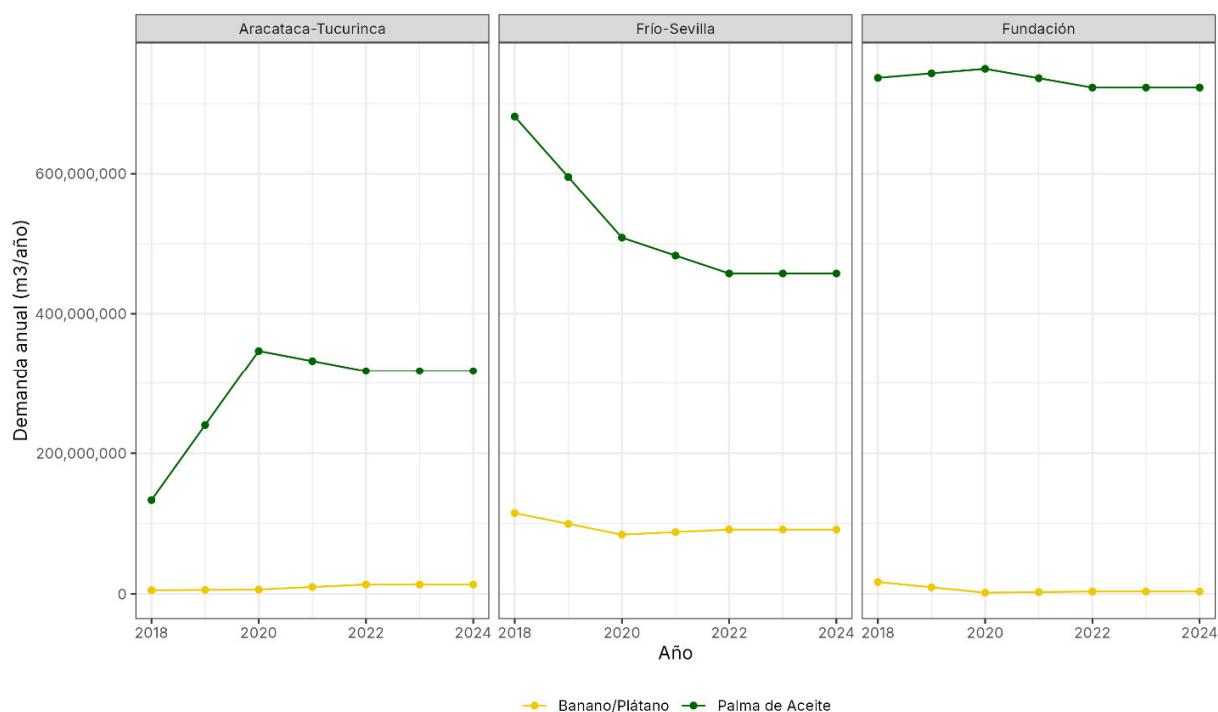


Figura 5. Evolución de la demanda hídrica anual por cultivo y cuenca en el período 2018-2024.

La evolución temporal de las demandas evidencia comportamientos contrastantes entre cultivos y cuencas. La cuenca Fundación presenta la mayor estabilidad en las demandas de palma de aceite, manteniendo valores relativamente constantes por encima de 720 millones de m³/año durante todo el período, convirtiéndose en la cuenca con mayor demanda hídrica agrícola absoluta. El crecimiento abrupto observado en Aracataca-Tucurinca entre 2018 y 2020 contrasta con la tendencia decreciente en Frío-Sevilla, sugiriendo procesos de redistribución geográfica de los cultivos o cambios en las prácticas de manejo hídrico. La demanda de banano se mantiene considerablemente más baja que la de palma de aceite en todas las cuencas, representando menos del 10% de la demanda agrícola total en la mayoría de los casos.

La palma de aceite emerge como el cultivo dominante en términos de demanda hídrica, representando más del 90% del consumo agrícola total en las tres cuencas analizadas. La demanda total de palma de aceite para las tres cuencas oscila entre 1,500 y 1,600 millones de m³/año, cifra que supera significativamente las demandas del sector doméstico calculadas previamente. Este dominio de la palma de aceite establece al sector agrícola como el principal usuario del recurso hídrico en la región, con implicaciones directas para los análisis de disponibilidad y sostenibilidad hídrica. La concentración de altas demandas en Fundación y Frío-Sevilla sugiere que estas cuencas enfrentan las mayores presiones sobre sus recursos hídricos superficiales, requiriendo especial atención en los esquemas de gestión y planificación del recurso hídrico regional.

2.3. Caudal Ecológico

Los caudales ecológicos calculados mediante la metodología de CORPAMAG revelan importantes diferencias entre las cuencas de estudio, reflejando las características hidrológicas particulares de cada sistema (Tabla 3). La cuenca Frío-Sevilla presenta el mayor caudal ecológico con 223.38 millones de m³/año, seguida por Aracataca-Tucurinca y Fundación. Esta distribución indica que la cuenca Frío-Sevilla posee la mayor capacidad hídrica natural de la región, concentrando el 47% del caudal ecológico total de las tres cuencas analizadas. La relación entre los caudales ecológicos refleja directamente las diferencias en las áreas de drenaje y los regímenes hidrológicos naturales de cada sistema, con Frío-Sevilla mostrando aproximadamente 1.6 veces el caudal ecológico de Aracataca-Tucurinca y 2 veces el de Fundación.

Tabla 3. Caudal ecológico por cuenca calculado según metodología CORPAMAG (25% del caudal medio anual histórico).

Cuenca	Caudal ecológico	
	m ³ /año	m ³ /s
Aracataca-Tucurinca	143,409,579	4.55
Frío-Sevilla	223,378,740	7.09
Fundación	109,026,692	3.46

El caudal ecológico total de 475.85 millones de m³/año para las tres cuencas representa un volumen considerable que debe ser garantizado permanentemente para mantener la integridad de los ecosistemas acuáticos y la funcionalidad de los servicios ecosistémicos asociados. Los valores obtenidos establecen los límites mínimos absolutos para cualquier esquema de aprovechamiento del recurso hídrico. La magnitud relativa de estos caudales respecto a las demandas sectoriales será determinante para evaluar la sostenibilidad de los usos actuales y futuros del agua en cada cuenca, especialmente considerando que el caudal ecológico tiene prioridad legal y ambiental sobre cualquier otro uso del recurso hídrico.

Los resultados obtenidos muestran consistencia con trabajos previos desarrolladas en la región (e.g. FINDETER, 2017), que reportaron caudales ecológicos de magnitudes comparables a los calculados en este análisis. Esta convergencia de resultados entre estudios independientes fortalece la confiabilidad de los caudales ecológicos calculados como referencia técnica para los análisis de balance hídrico y la planificación del recurso hídrico en las cuencas de estudio que se adelantan dentro del proyecto.

2.4. Demanda Sectorial Total

La consolidación de las demandas hídricas revela el predominio del sector agrícola en las tres cuencas de estudio, representando entre el 75% y el 90% de la demanda total según la cuenca y el año analizado. La

cuenca Fundación presenta la mayor demanda hídrica absoluta con valores superiores a los 950 millones de m³/año, seguida por Frío-Sevilla con demandas que oscilan entre 675 y 920 millones de m³/año, y Aracataca-Tucurinca con un rango de 285 a 500 millones de m³/año. El caudal ecológico constituye el segundo componente en importancia, representando aproximadamente el 15-20% de la demanda total, mientras que el sector doméstico mantiene una participación relativamente menor del 5-10%. Esta distribución sectorial evidencia la naturaleza eminentemente agrícola de la presión sobre los recursos hídricos en la región, con la palma de aceite como principal demandante del recurso.

Los patrones temporales muestran comportamientos específicos por cuenca que reflejan las dinámicas agrícolas identificadas previamente. Aracataca-Tucurinca exhibe un crecimiento significativo de la demanda total entre 2018 y 2020, estabilizándose posteriormente alrededor de 490 millones de m³/año, lo que coincide con la expansión del área de palma de aceite observada en este período. En contraste, Frío-Sevilla muestra una tendencia decreciente marcada desde 2018, con una reducción de aproximadamente 200 millones de m³/año que refleja la contracción del área palmera en esta cuenca. Fundación mantiene la mayor estabilidad temporal con demandas prácticamente constantes alrededor de 950 millones de m³/año, confirmando su posición como la cuenca con mayor presión hídrica absoluta y sostenida del área de estudio.

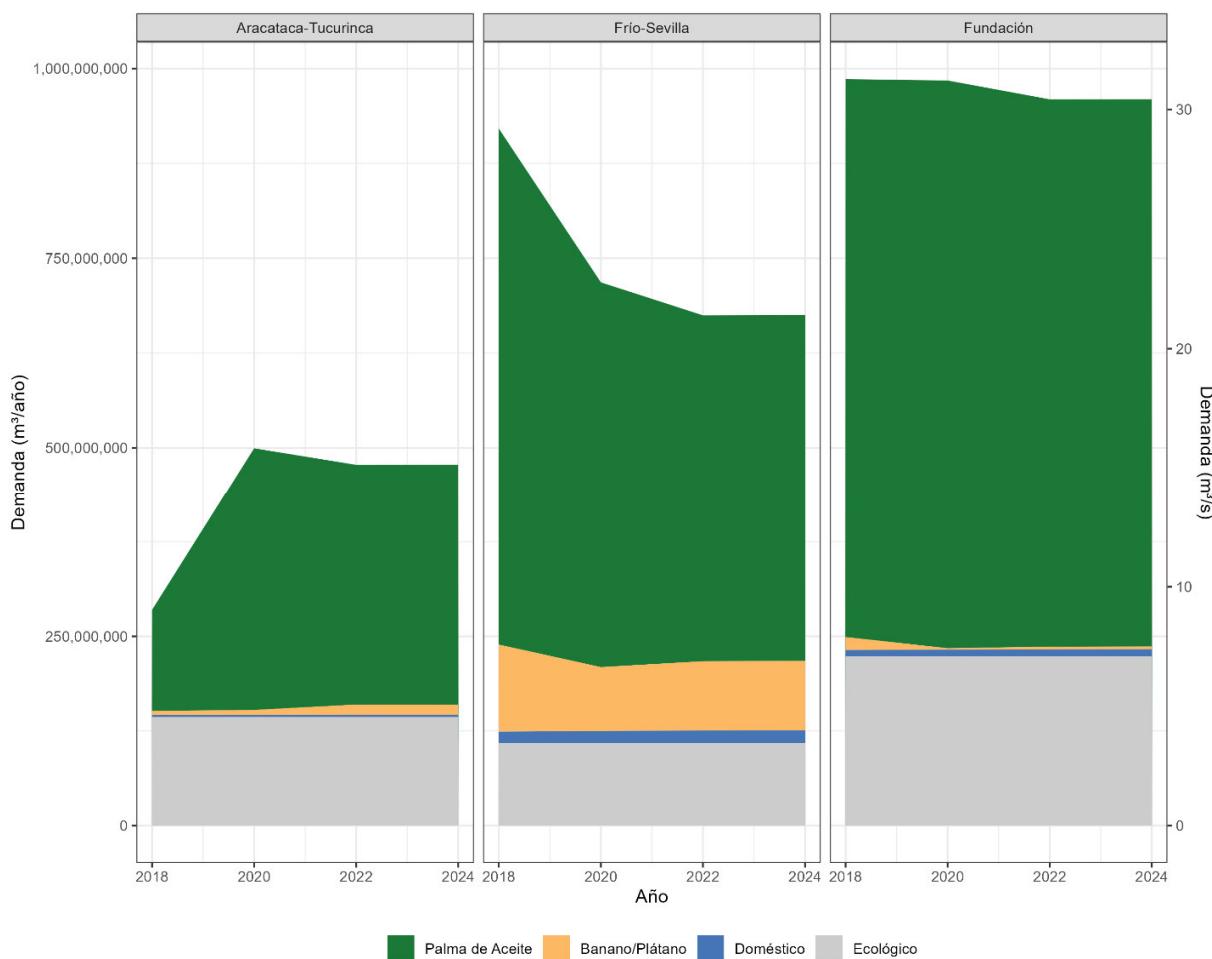


Figura 6. Demanda hídrica total por sector y cuenca en el período 2018-2024.

La demanda hídrica total consolidada alcanza magnitudes de entre 2,100 y 2,200 millones de m³/año para las tres cuencas, volúmenes que representan una presión considerable sobre los recursos hídricos superficiales disponibles. El componente de caudal ecológico, aunque proporcionalmente menor que la demanda agrícola, constituye una restricción absoluta que debe garantizarse independientemente de las condiciones hidrológicas, lo que reduce efectivamente la disponibilidad neta del recurso para usos consuntivos. Esta configuración de demandas establece el marco de referencia crítico para evaluar la sostenibilidad hídrica regional y diseñar estrategias de gestión integral del recurso en las cuencas de estudio.

CONCLUSIONES

El procesamiento y validación de datos de demanda hídrica para las cuencas de los ríos Sevilla, Frío, Aracataca, Tucurinca y Fundación permitió consolidar la información de los sectores doméstico, agrícola y caudal ecológico mediante la aplicación de metodologías técnicamente robustas y reconocidas por las autoridades competentes. La armonización con la estructura de los POMCA existentes garantizó la compatibilidad de los resultados con los instrumentos oficiales de planificación hídrica, mientras que la integración de datos de múltiples fuentes (DANE, PALMET, IDEAM, CORPAMAG) proporcionó una base de información sólida para la caracterización de la demanda actual. La metodología diferenciada aplicada para cada sector respetó las particularidades técnicas y de disponibilidad de información, logrando estimaciones confiables para el período 2018-2024.

Los resultados evidencian el carácter predominantemente agrícola de la demanda hídrica regional, con la palma de aceite como principal usuario del recurso, seguida por el caudal ecológico como componente de restricción ambiental y el sector doméstico con participación menor pero crecimiento sostenido. La heterogeneidad espacial identificada entre cuencas refleja las diferencias en los patrones de uso del suelo, las dinámicas productivas regionales y las características hidrológicas particulares de cada sistema. La consolidación temporal reveló tendencias diferenciadas que sugieren procesos de redistribución geográfica de cultivos y cambios en las presiones sobre el recurso hídrico a escala de cuenca.

La información procesada y validada constituye un insumo técnico fundamental para las fases posteriores de modelación hidrológica con Hydro-BID y análisis de escenarios de gestión del recurso hídrico. Los productos generados proporcionan el marco de referencia necesario para evaluar la sostenibilidad del aprovechamiento actual del recurso hídrico y orientar la toma de decisiones en materia de gestión integral del agua en las cuencas de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio Riego y Drenaje 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 323 p.
- CORPAMAG. 2025. Resolución 1762 de 2025. Por medio de la cual se otorga una renovación de una concesión de aguas superficiales provenientes del río Fundación a través del canal Los Achiotes y del canal de drenaje Las Cacheguas en un caudal de 36.63 lps para beneficio del predio La Alabama, ubicado en la vereda La Bodega, municipio de Pivijay y en favor de la sociedad Palmeras de Alabama S.A.S. con NIT N° 900380426-8 y se aprueba el programa de uso eficiente y ahorro del agua. Disponible en: https://www.corpamag.gov.co/archivos/resoluciones/Resol_1762-2025.pdf.
- DANE. 2025. Proyecciones de población. Actualización 2025. Dirección de Censos y Demografía. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/proyecciones-de-poblacion/Nacional/NotaTecnica-PPED-jul2025.pdf>
- Delgado, T., Ladino, G., Zapata Hernández, A., Arias, N. 2024. Boletín Técnico No. 47 – Principios básicos para el manejo eficiente del riego en el cultivo de palma de aceite. Cenipalma, Bogotá. 119 p.
- Delgado, T.E. 2023. Zonificación agroclimática para el manejo del agua de la palma de aceite en el departamento del Magdalena. Máster universitario en hidrología y gestión de recursos hídricos. Universidad de Alcalá – Universidad Rey Juan Carlos.
- FINDETER. 2017. Producto 1 – Caracterización hídrica de la zona de influencia del proyecto. Consultoría para realizar el diagnóstico para el aprovechamiento hídrico sostenible y el abastecimiento de agua potable, propiciando condiciones para la estructuración de sistemas multipropósito para el beneficio socio-económico en la región Centro y Norte del departamento del Magdalena – agua para la paz Informe Final. 156 p.
- IDEAM. 2025. Sistema de Monitoreo de las Coberturas de la Tierra – SIMCOT. Disponible en: <https://storymaps.arcgis.com/stories/6b45024fb7a247219c33adc524345589>.