EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LOS MÓDULOS DE CONSUMO HÍDRICOS DEL SECTOR AGRÍCOLA EN LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

PAULO MARIO BARRERO RAMÍREZ

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE
MODALIDAD VIRTUAL
COHORTE 30
2024

EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LOS MÓDULOS DE CONSUMO HÍDRICOS DEL SECTOR AGRÍCOLA EN LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

PAULO MARIO BARRERO RAMÍREZ

Trabajo presentado como requisito para optar al título de:
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Tutora
GLORIA MARÍA RESTREPO FRANCO, PhD

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE
MODALIDAD VIRTUAL
COHORTE 30
2024

Contenido

1. Introducción 7

2. Planteamiento del problema 10

2.1. Pregunta de investigación 11

3. Supuesto 12

4. Justificación 13

5. Marco teórico 15

5.1. Antecedentes 15

5.1.1. A nivel mundial 15

5.1.2. A nivel latinoamericano 17

5.1.3. A nivel nacional 18

5.1.4. A nivel regional 20

5.2. Marco normativo 20

5.3. Marco conceptual 22

5.3.1. Módulos de consumo 22

5.3.2. Gestión integral del recurso hídrico – GIRH 22

5.3.3. Desarrollo sostenible 23

6. Objetivos 25

7. Metodología 26

7.1. Tipo de investigación 26

7.2. Localización del estudio 26

7.3. Determinar la situación actual del departamento del Tolima en el otorgamiento de concesiones de aguas superficiales y subterráneas, y la disponibilidad del recurso hídrico. 26

7.4. Identificación de la situación actual del departamento del Tolima en términos de gestión integral del recurso hídrico. 27

7.5. Proyectar el impacto económico y ambiental en la gestión integral del recurso hídrico según la estimación de los módulos de consumo hídricos para el sector agrícola. 27

8. Análisis de la información 29

9. Resultados 30

9.1. Determinación de la disponibilidad del recurso hídrico **30**

9.2. Identificación de la gestión integral del recurso hídrico. **37**

9.3. Proyección ambiental. **43**

10. Conclusiones y recomendaciones ***51***

11. Referencias ***53***

Listado de figuras

Figura 1. Concentración concesiones de aguas uso agrícola y distritos de riego otorgados por Cortolima hasta el 2023 30

Figura 2. Densidad de puntos según la distribución de caudales en el departamento del Tolima 31

Figura 3. Sistematización de la distribución de caudales y aptitudes de cultivo de arroz en el departamento del Tolima. 32

Figura 4. Índice de Vulnerabilidad Hídrica por subzonas en el departamento del Tolima. 35

Figura 5. Alteración de precipitaciones por el fenómeno del niño en el departamento del Tolima. 36

Figura 6. Comportamiento proporcional de flujos por categorías 41

Listado de tablas

Tabla 1. Categorías de Índice de Uso del Agua de las Subzonas Hídricas del departamento del Tolima. 34

Tabla 2. Sistematización de la normativa vigente relacionada a la gestión integral del recurso hídrico y módulos de consumo. 38

Tabla 3. Preguntas y datos adicionales de la entrevista semiestructurada 39

Tabla 4. Cuantificación de códigos por categorías y expertos. 40

Tabla 5. Valores de la Radiación y Evapotranspiración de cultivo de referencia (ETo). 45

Tabla 6. Valores anuales de precipitación y precipitación efectiva. 45

Tabla 7. Cálculo de los módulos de consumo hídricos para el semestre 1 y 2, en eventos normales y críticos de riego. 46

Tabla 8. Cuantificación de la proyección ambiental por medio del cálculo de la Huella Hídrica del cultivo de arroz en el departamento del Tolima. 48

1. Introducción

La escasez de agua es uno de los principales problemas a los que se enfrentarán muchas sociedades y el mundo en el siglo XXI (Pereira, et al, 2002, pág. 12). Según él IDEAM (2018) la demanda total del agua en Colombia para el año 2016 ascendió a 37.308 millones de m^3, 5% más con relación al año 2012 (pág. 168). El comportamiento de la disponibilidad del agua a nivel mundial es paralelo a lo que se presenta en Colombia. La UNESCO (2021), en su informe El Valor del Agua, manifiesta que el uso del agua dulce a nivel mundial ha incrementado por un factor de seis en los últimos 100 años y continúa creciendo a un ritmo de aproximadamente el 1% anual desde la década de 1980 (pág. 14) lo cual guarda coherencia con lo emitido por la WWAP (2018) en su informe mundial, donde se argumenta que la demanda mundial de agua ha ido aumentando a un ritmo del 1% anual y uno de los factores giran en función en los cambios de patrones de consumo (pág. 15).

En Colombia, uno de los grandes factores que influyen en el acentuamiento de esta problemática, recae en parte a la inadecuada gestión integral de los recursos hídricos por parte del Gobierno o las entidades ambientales. Por ley, la Nación tiene el dominio sobre las aguas de uso público, en este hace parte el control y vigilancia del uso y goce de los particulares (MINAMBIENTE, 2015, pág. 299), control que es realizado por medio de unos derechos de adquisición. Según el Decreto 2811 de 1974, el derecho de usar los recursos naturales renovables puede ser adquirido por medio del ministerio de la ley, permiso, concesión y asociación (Decreto 2811, 1974, pág. 13).

A lo anterior, se suma la ineficiencia en el uso y ahorro del agua que en pocas palabras, se traduce a un exiguo control en las pérdidas de agua. Lo analizado por Minambiente (2022) es que, a pesar de los esfuerzos realizados para la promoción del uso eficiente, la implementación de los Programas de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA) se reducen a tan solo un 1,3% del total de las concesiones otorgadas, lo que deja al descubierto un panorama muy poco favorable para la Nación y las entidades ambientales.

Sin embargo, no es posible centrarse en un solo factor dentro de la cadena de valor del problema, son diversos factores los que fluctúan y se integran entre ellos, robusteciendo la problemática de escasez de agua y por ende, exigiendo un mayor esfuerzo y estructuramiento en las soluciones, encaminadas a un desarrollo sostenible y hacia una conservación de los recursos hídricos.

Uno de los factores a analizar son los módulos de consumo hídricos. En Colombia, los módulos de consumo son elementos implementados para los estudios de reglamentaciones de corrientes hídricas[1], como también para la consolidación y conformación del Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH), en el área temática de la disponibilidad hídrica[2]. Así mismo, son implementados para llevar a cabo los cobros por la tasa de utilización del agua[3] y como plan de emergencia en casos de presentarse eventos de escasez[4].

Si bien es cierto, según lo establece el Congreso de Colombia (1997) por medio de la Ley 373 de 1999, es deber de la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico de las Corporaciones Autónomas Regionales y demás autoridades ambientales, de acuerdo con sus competencias, establecer consumos básicos en función de los usos del agua. Sin embargo, a nivel nacional, la determinación de módulos de consumos hídricos por parte de las entidades ambientales se reduce a que de las 33 Corporaciones Autónomas Regionales, solo 13 Corporaciones han elaborado resoluciones, términos de referencia, guías y han calculado los módulos de consumo (MinAmbiente, 2018, pág. 28), entre la cantidad de Corporaciones que no han llevado a cabo la determinación de módulos de consumo se encuentra la Corporación Autónoma Regional del Tolima.

El objetivo de este estudio mixto con diseño de triangulación metodológica, fue el de evaluar la incidencia de los módulos de consumo hídricos agrícolas en la gestión integral del recurso en el departamento del Tolima desarrollado en tres fases.

Su primera fase de desarrollo, consistió en una etapa cuantitativa, donde se determinó la situación actual del departamento del Tolima en el otorgamiento de concesiones de aguas superficiales y subterráneas y la disponibilidad del recurso hídrico por medio de una recopilación de la información secundaria en la página del DANE y CORTOLIMA, relacionada con las condiciones climatológicas del departamento del Tolima y distribución de las concesiones de aguas otorgadas por la entidad ambiental CORTOLIMA. La información recopilada se sistematizó en

[1] Artículo 2.2.3.2.1.3.4 Visita ocular y estudios de reglamentación de una corriente. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible – 1076 del 2015.
[2] Artículo 2.2.3.5.1.1. Sistema de Información del Recurso Hídrico, SIRH - Artículo 2.2.3.5.1.5. Áreas temáticas. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible – 1076 del 2015.
[3] Artículo 2.2.9.6.1.6. Base Gravable - Capitulo 6. Tasas por utilización del agua. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible – 1076 del 2015.
[4] Artículo 2.2.3.2.13.16. Restricción de usos o consumos temporalmente. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible – 1076 del 2015.

una hoja de cálculo en Excel y en archivos tipo Shape con herramientas de sistemas de información geográfica como ArcGIS.

La segunda fase consistió en dos procesos cualitativos con un análisis de triangulación de datos para identificar la situación actual del departamento del Tolima en términos de gestión integral del recurso hídrico. En esta etapa se realizó recopilación y sistematización de las normativas a nivel nacional, conforme con la aplicación y determinación de los módulos de consumo, aunado a la aplicación de una entrevista semiestructurada a expertos que hacen parte de la Corporación Autónoma Regional del Tolima. La información obtenida se codificó mediante el software ATLAS Ti.

Finalmente, en la tercera fase se proyectó el impacto económico en la gestión integral del recurso hídrico según la estimación de los módulos de consumo hídricos para el sector agrícola. En el proceso cuantitativo, se emplearon los softwares CropWat y ClimWat para calcular los módulos de consumo hídricos del sector agrícola, específicamente del cultivo de arroz. De los resultados, se realizó la proyección ambiental calculando la huella hídrica azul y verde.

2. Planteamiento del problema

Actualmente, la escasez de agua es una problemática que envuelve globalmente a todos los países y regiones, donde por mínimo que sea el suceso, el recurso hídrico es algo que nos une y repercute desde un nivel regional hasta un nivel global en las actividades económicas y humanas, siendo la disponibilidad de los recursos hídricos el principal canal de transmisión de los impactos del cambio climático (CEPAL, 2015, pág. 8) donde el agua se considera capital natural crítico por definición (Chavarro Velandia, 2011).

Colombia es un país que se encuentra delimitado por cinco áreas hidrográficas, el Área hidrográfica del Caribe, del Pacífico, del Magdalena-Cauca, del Orinoco y del Amazonas. La transición del recurso hídrico se realiza de manera jerárquica, iniciando por unidades hidrográficas de nivel 3, 2 y 1 pasando luego a la Subzona hídrica. La investigación se centró específicamente en el área correspondiente al departamento del Tolima, el cual hace parte del Área hidrográfica del Magdalena-Cauca codificada con el ID número 2. El departamento se compone por un total de 3 zonas hídricas, 23 subzonas hídricas y 122 microcuencas[5].

La presente investigación nace de una problemática a nivel departamental, relacionada con la determinación de módulos de consumo hídricos. Actualmente, entidades ambientales como la Corporación Autónoma Regional del Tolima no ha definido dichos módulos hídricos en las diferentes actividades productivas que conlleven al uso del agua, en especial las que se relacionan con actividades agrícolas, siendo este el sector con mayor demanda en el país, equivalente a 16.760,3 millones de m^3 (46,6% del total) (IDEAM, s.f.). Hasta el 2023, Cortolima contaba con un registro total de 4.401 usuarios de concesiones de aguas superficiales y subterráneas, para un total de 157.580,6 litros por segundo, prevaleciendo el uso agrícola en un 80,41%, para un total de 1647 usuarios y 126.707 litros por segundo concesionados[6], concesiones de aguas que no presentan un común denominador o una equidad al momento del otorgamiento, en lo que se podría argüir como un conflicto. Muy bien lo cuestiona Unesco (2021), la agricultura intensifica la competencia intersectorial por el agua y aumenta su escasez, además de que el sector productivo agudiza el uso ineficiente del agua, impulsando la degradación ambiental, incluyendo el agotamiento de los acuíferos (pág. 19).

---

[5] Información suministrada de los datos abiertos de la Corporación Autónoma Regional del Tolima https://datosabiertos.cortolima.gov.co/datasets/6819ffc1449b414fa83a6dde225f180d_0/explore?location=4.093897%2C-75.292846%2C8.46

[6] Información suministrada del Maestro de Aguas años 2023 – Corporación autónoma Regional del Tolima.

En términos ambientales, la WWF (2012) en su estudio realizado a nivel nacional, determinó que el cultivo de arroz representa el 12% de la distribución porcentual de la Huella Hídrica verde y el 41% de la distribución de la Huella Hídrica azul, identificando la necesidad de emprender estudios de producto con un alto consumo de agua de riego como el arroz.

Al no tener determinados los módulos de consumo hídricos por parte de las entidades ambientales del departamento, se intuye que se estarían afectando diferentes factores que influirían en la escasez del recurso, el incremento de la huella hídrica, la deficiencia en el uso eficiente y el ahorro del agua y sobre todo las falencias en la gestión integral del recurso hídrico.

Con lo anterior, la presente investigación se centró en una evaluación de la incidencia de los módulos de consumo hídricos del sector agrícola en la gestión integral del recurso en el departamento del Tolima. Esta investigación busca el poder determinar un estado actual y compararlo en un plano de proyección a nivel ambiental, partiendo de una determinación de los módulos de consumo hídricos del sector agrícola por medio de softwares computacionales, con el fin de poder generar una base sólida para los instrumentos de planificación del recurso hídrico, aportes a futuras investigaciones y la concientización al desarrollo sostenible del recurso hídrico de entidades ambientales como la Corporación Autónoma Regional del Tolima.

2.1. Pregunta de investigación

¿Cómo incide la determinación de los módulos de consumo hídricos en el sector agrícola, en la gestión integral del recurso en el departamento del Tolima?

3. Supuesto

Definir los módulos de consumo hídricos, generaría un factor primordial para la gestión integral del recurso hídrico en el departamento, además de convertirse en un fomento para los instrumentos de planificación del territorio en base al recurso hídrico.

4. Justificación

Actualmente, el recurso hídrico es un eje político primordial para el desarrollo económico y social de un país, como también para la planificación de dicho territorio. Para nadie es un secreto que Colombia es un país ubicado estratégicamente, no solo por su topografía y variedad de regímenes climáticos, sino también por su gran riqueza en recursos hídricos. “Sin embargo, cuando se considera en detalle que la población y las actividades socioeconómicas se ubican en regiones con baja oferta hídrica, que existen necesidades hídricas insatisfechas de los ecosistemas y que cada vez es mayor el número de impactos de origen antrópico sobre el agua, se concluye que la disponibilidad del recurso es cada vez menor” (MinAmbiente, 2010, pág. 23). No obstante, la abundancia de recurso hídrico en el contexto nacional no se traduce necesariamente en un buen aprovechamiento para la producción económica a partir del mismo y aunque Colombia es el decimoquinto país a escala mundial en disponibilidad de agua, los recursos hídricos no se aprovechan de manera eficiente ni se conservan (CONPES, 2018, págs. 45,46) situación que se ve reflejada a nivel departamental.

La preocupación por dicha disponibilidad del recurso hídrico cada vez toma una mayor fuerza. A nivel mundial la agricultura es el sector que presenta mayor demanda de agua (Pereira & Cordery, 2009). Según las estadísticas del IDEAM la demanda total del agua en Colombia para el año 2016 ascendió a 37.308 millones de metros cúbicos, aumentado un 5% con respecto a la demanda para el año 2012[7]. Paralelo a esto, a nivel nacional la actividad económica con mayor porcentaje de uso y demanda de agua es el sector agrícola y por consiguiente las actividades donde se generan los mayores porcentajes de perdidas por el ineficiente uso del agua.

Dicho lo anterior, se vuelve de gran interés obtener la mayor información sobre los diferentes usos y manejo de las aguas en el departamento del Tolima, además de la oferta y demanda actualizada, que en últimas palabras, se resume a la gestión integral del recurso hídrico en el departamento, evidenciando que la situación actual del departamento del Tolima se reduce en la falta de definición de los módulos de consumo para los diferentes sectores económicos, lo que generaría directamente una desigualdad al momento del otorgamiento de un permiso ambiental de concesión de aguas sean superficiales o subterráneas y por ende, una ineficiencia en la administración y gestión del recurso.

---

[7] Información obtenida de la sección de administración del recurso hídrico de la página del Ministerio de Ambiente https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/demanda/

Además, en términos de desarrollo sostenible, la investigación se encuentra enfocada en las metas propuestas en el Objetivo de Desarrollo Sostenible de Agua Limpia y Saneamiento (ODS No. 6). Evaluar la incidencia de la definición de los módulos de consumo hídricos en el sector con mayor demanda (agrícola) para el departamento del Tolima estaría aportando a la meta de una gestión integrada del recurso hídrico. Aunque la investigación tiene un alcance más institucional, esta podría ser base para futuras investigaciones que promuevan el uso eficiente de los recursos hídricos y que permitan hacer frente a la escasez de agua.

Es así como la presente investigación surge de la necesidad de evaluar la incidencia de los módulos de consumo hídricos agrícola en la gestión integral del recurso en el departamento del Tolima. La investigación busca servir como base para que la Corporación Autónoma Regional del Tolima determine los módulos de consumo de los diferentes sectores productivos y contribuir al ordenamiento de los volúmenes de agua para el otorgamiento de concesiones de agua equitativas ajustadas a la realidad del territorio tolimense como también al fortalecimiento de la gestión integral del recurso hídrico en el territorio, además de poder crear bases para en un futuro generar la concientización del uso eficiente y ahorro del agua.

5. Marco teórico

5.1. Antecedentes

5.1.1. A nivel mundial

A nivel mundial, uno de los principales referentes teóricos es la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO, en su informe No. 56 presenta la guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (FAO, 2006). En esta publicación se actualiza el procedimiento para calcular la evapotranspiración de referencia y la evapotranspiración del cultivo a partir de datos meteorológicos y coeficientes del cultivo.

Siguiendo la trazabilidad de las publicaciones realizadas por la FAO, en 1977 se presentó por primera vez avances investigativos referentes a los requerimientos hídricos por medio del informe No. 24. Posterior a este en 1990 la FAO organizó una consulta de expertos e investigadores, con la colaboración de la Comisión Internacional de Riego y Drenaje y la Organización Meteorológica Mundial, para revisar las metodologías de la FAO para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos y para producir lineamientos para la revisión y actualización de los procedimientos utilizados, donde se recomendó la aplicación de la metodología conocida como Penman-Monteith (FAO, 2006, pág. 12). Para Pereira L. (2021):

> El informe No. 56 publicado por la FAO respondió a varios objetivos, entre los cuales el proporcionar una herramienta consolidada para facilitar el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos y por tanto proporcionar información a los usuarios que les ayude a optimizar el uso y la gestión del agua, como también el de apoyar la adopción de medidas que controlen los impactos del riego en el medio ambiente y respondan mejor a los desafíos del cambio climático y la demanda de agua en particular (pág. 1).

Otro de los principales referentes a nivel mundial, es la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura – UNESCO. En su informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos - El Valor del Agua (2021) recalca que:

> Para lograr una gestión sostenible y equitativa de los recursos hídricos y poder alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda para el Desarrollo Sostenible de 2030 de las Naciones Unidas, es fundamental el reconocer, medir y expresar el valor del agua, e incorporarlo a la toma de decisiones. Además, refuerza la problemática resultante producto del sector agrícola, relacionándola como el sector que emplea el 69% de los recursos hídricos a nivel mundial. (pág. 16).

Las investigaciones que conciernen la determinación o implementación de módulos de consumo hídricos o requisitos de agua presentan un factor común, y es el de la importancia de ser implementados para contrarrestar la escasez de agua o el de generar una eficiencia en el uso del agua. Según Pereira et al. (2002) las políticas y prácticas de gestión del agua en condiciones de escasez de agua deben enfocarse en objetivos específicos de acuerdo con las causas de la escasez del agua, partiendo del supuesto de que el agua no será abundante (pág. 23). Así mismo, determinan que para hacer frente a la escasez de agua, se requiere que las medidas y políticas de gestión del agua estén en consonancia con el desafiante y ampliamente aceptado concepto de desarrollo sostenible (pág. 26). En afinidad con esto, Lankford (2012) realza que el objetivo es revelar la diversidad desde puntos de vista dentro del área aparentemente mundana de la eficiencia y productividad del riego y vincularlos con las preocupaciones políticas y sociales sobre la gobernanza de los recursos.

En Israel, se realizó una investigación en donde se integró el modelo FAO en conjunto con técnicas GIS[8], concluyendo que los administradores del agua y los formuladores de políticas deben comenzar a considerar el uso excesivo de agua de riego como una grave amenaza para los recursos hídricos de la región (Al Najar , 2011). No obstante en Pakistán, Haider & Ullah (2019) en su artículo investigativo titulado “Requerimiento de agua de cultivo proyectado en una región agroclimáticamente diversificada de Pakistán” abarca la problemática desde el cambio climático e indicando la importancia de explorar la variabilidad futura de los CWR[9] en los escenarios de cambio climático del siglo XXI para proporcionar una base teórica para el diseño de instalaciones de riego, conservación de agua y gestión de recursos hídricos agrícolas (pág. 2). De igual manera, para D’Urso (2009) la evaluación de los requerimientos hídricos de cultivos (CWR) es una información esencial para la gestión de los recursos hídricos, especialmente en regiones áridas y semiáridas donde el riego representa el mayor consumidor de agua, contradictorio a esto, Hachimi et al (2022) las investigaciones realizadas durante varias décadas hasta la actualidad sobre la determinación de las necesidades hídricas de los cultivos se han centrado principalmente en aproximaciones experimentales.

Por otro lado, Pereira et al. (2020) aportan que el desequilibrio actual entre la oferta y la demanda de agua en la agricultura ha impulsado la búsqueda de nuevos equilibrios mediante la

[8] Geographical Information System.
[9] Crop water requirement (Requerimiento de agua de cultivo)

adopción de modernas tecnologías y herramientas de gestión para optimizar el uso del agua de riego. Sin embargo, Al Najar (2011) considera que la tendencia de degradación de los recursos hídricos continuará si no se preparan planes serios además de políticas y estrategias para la asignación eficiente del agua.

5.1.2. A nivel latinoamericano

Las investigaciones encontradas a nivel latinoamericano guardan una total coincidencia a las encontradas a nivel mundial. Como se ha mencionado, los módulos de consumo están ligados a las problemáticas de escasez de agua y a la falta de gestión y gobernanza por parte de los gobiernos. En superioridad, se han llevado a cabo investigaciones implementando el método propuesto por la FAO. En México, en donde por medio del software CropWat se desarrolló la planeación y manejo del recurso hídrico en la costera del Golfo de México, destacó la importancia de los programas de simulación para la facilitación de las estimaciones de las necesidades hídricas, lo que ayudaría a generar criterios para la planeación y manejo del riego, con lo cual se da un mejor uso al recurso hídrico (Arteaga Ramírez et al., 2011). Otra investigación, realizada en el Perú, sustenta que en la gestión de recursos hídricos se está usando modelos de simulación que cumplen con la función de instrumento práctico para el manejo del agua y el cálculo de las necesidades de agua de los cultivos (Gerrero Padilla, 2017).

En un estudio realizado en Ecuador por Nieto et al. (2018) se expone lo siguiente:

> El porcentaje de destinación de agua dulce es para riego, alcanzando un aproximado del 70% como sucede a nivel mundial, lo que esto justifica cualquier esfuerzo de investigación o estrategia para optimizar el aprovechamiento del agua de riego.
>
> Según lo concluido, tanto el déficit como el exceso de agua de riego en las unidades de producción agropecuaria, que provocan ineficiencias en el aprovechamiento de este recurso escaso, estarían propiciadas entre otros factores por la modalidad del reparto equitativo de agua en las comunidades, que no obedece a factores técnicos como la disponibilidad de tierra regable para adjudicar los caudales o volúmenes de agua requeridos.

En Argentina, se encontró una investigación del efecto del régimen de riego en el rendimiento de alfalfa para corte en el Valle Central de Catamarca, en donde se expone que la falta de conocimiento de los requerimientos hídricos del cultivo en esta zona es un grave inconveniente (Demin & Aguilera, 2012). Acorde a este, de Olivera et al. (2009) manifestaron:

> Un mejor conocimiento de los requerimientos de agua de los cultivos es esencial para distribuir el agua de manera eficiente, resaltando la preocupación por la información publicada y disponible sobre los requisitos de agua de cultivo en la literatura, razón por la cual se llegaría a la conclusión de que la información generada a partir de la investigación por parte de entidades gubernamentales, universidades y científicos no está siendo compartida y distribuida de manera eficiente.

5.1.3. A nivel nacional

A nivel nacional, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible por medio de la Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico- DGIRH publicó para el año 2019 una propuesta metodológica para el diseño de módulos de consumo del agua con el fin de alcanzar a nivel individual e institucional propósitos tanto de la política pública, como de instituciones privadas, garantizando la existencia de un uso eficiente, equitativo, y sostenible del agua, alcanzando una mayor productividad y eficiencia de la actividad económica (MinAmbiente, 2019). La propuesta metodológica define los módulos de consumo como:

> Un instrumento de política pública que contribuye a ordenar los volúmenes de uso de agua, a través de las concesiones otorgadas, pues establece el requerimiento de agua para realizar una actividad. Es una herramienta que contribuye a otorgar concesiones ajustadas a la realidad territorial y de los usuarios del agua y potencializa otros mecanismos de la política. De esta manera contribuye a la toma de decisiones más sólidas en relación con el ahorro y eficiencia en el uso (pág. 7).

En el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, en su pacto por la sostenibilidad "producir conservando y conservar produciendo" busca consolidar acciones que permitan un equilibrio entre la conservación y la producción, de forma tal que la riqueza natural del país sea apropiada como un activo estratégico de la Nación (Gobierno de Colombia, 2019, pág. 459). Para alcanzar con dichas acciones, se establecieron un total de 4 objetivos, entre estos, se estipulo el objetivo No. 2 componente que se enfoca en reducir las desigualdades relacionadas con el acceso a recursos (pág. 471). Para este componente se estableció lo siguiente:

> Una acción para la reducción de la presión y mejoramiento de la calidad del recurso hídrico promoviendo la implementación del Plan Hídrico Nacional enfatizado en los programas de regulación hídrica, de aguas subterráneas, de legalización de usuarios, de investigación y de

monitoreo del recurso hídrico (aguas superficiales, subterráneas y marinas), además del diseño de módulos de consumo del agua y huella hídrica para sectores prioritarios (pág. 472).

Los planes nacionales se han preocupado de cierta manera en lo que viene siendo la gestión y administración del recurso hídrico, un claro ejemplo es el Plan Hídrico Nacional – PHN 2012-2014, en cual contó con programas enfocados en su primera fase, al fortalecimiento de las Autoridades Ambientales en la gestión del recurso hídrico[10], toda vez que una vez realizado el diagnostico se concluyó que las Autoridades Ambientales Competentes tienen una débil estructura institucional para atender los temas relacionados al recurso hídrico (MinAmbiente, 2010, pág. 30).

El PHN en su "Programa Nacional Legalización de usuarios del Recurso Hídrico y Registro de los Usuarios del Recurso Hídrico" proyecta a corto plazo, la meta de alcanzar la legalización del uso del agua en usuarios de cuencas priorizadas hasta en un 40% y a su vez, proponen la medida de la elaboración y socialización de una Guía de módulos de consumo de uso del agua (MinAmbiente, 2010, pág. 33). Referente a los objetivos del PHN, estos se amplían, abarcando problemáticas de demanda hídrica[11], riesgo[12] y gobernabilidad[13].

En Colombia las investigaciones encontradas son mínimas. Aun así, es relevante mencionar que a nivel nacional existen Corporaciones Ambientales que han realizado estudios para determinar los módulos de consumo hídricos para los diferentes sectores productivos y de consumo humanos. Según el Ministerio de Ambiente (2018) del total de autoridades ambientales a nivel nacional, 13 han elaborado resoluciones, términos de referencia, guías y han calculado los módulos de consumo (pág. 28). Un ejemplo de las pocas investigaciones que se han desarrollado fue una investigación a manera de trabajo de grado, en donde se determinó los módulos de consumo del recurso hídrico en el sector agrícola, y validación mediante el software CropWat, para la cuenca alta del río Bogotá, implementando la metodología de Penman-Monteith propuesta por la FAO y ratificando que determinar unos módulos de consumo de agua contribuiría a un uso más eficiente

---

[10] Fase 1. 5.1.1 Programa de Fortalecimiento de las Autoridades Ambientales en la Gestión Integral del Recurso Hídrico. PHN 2012-2014

[11] Objetivo No. 2 – Demanda. En la estrategia 2.3 referente al Uso eficiente y sostenible del
Agua se proyecta como metas a corto, mediano y largo plazo "Promover esquemas de producción y consumo sostenible en los diferentes sectores usuarios". PHN 2012-2014.

[12] Objetivo No. 4 – Riesgo. En la estrategia 4.1 referente a la Gestión del Riesgo por escasez de agua, se proyecta una meta a corto plazo de "Promover la recuperación de la resiliencia y la adopción de planes de contingencia de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano y actividades productivas." PHN 2012-2014.

[13] Objetivo No. 6 – Gobernabilidad. En la estrategia 6.2 referente a la Cultura del agua, se propone una línea de acción encaminada a "Promover una cultura del agua orientada al desarrollo de patrones de un consumo responsable y racional del agua". PHN 2012-2014.

y óptimo del recurso agua (Pinzón Albarracín, 2016). Otro caso, es el de Cleves (2016), en donde se considera lo siguiente:

> El uso de herramientas como los modelos de simulación, aportan información relevante para aumentar la resiliencia cultural de los agroecosistemas y que, además son útiles en los procesos de planeación y de ordenamiento territorial, al facilitar la zonificación agrícola del país, teniendo en cuenta las condiciones climáticas, edáficas y de manejo agronómico de los cultivos (pág. 12).

Para Valencia (2020) el programa Cropwat se ha utilizado ampliamente como un instrumento práctico de gestión para la programación del riego y estimar las reducciones de rendimiento en condiciones de déficit hídrico (pág. 115). Toro et al. (2016), tras su investigación de requerimientos de riego y predicción del rendimiento en el cultivo de banano mediante un modelo de simulación en el Urabá antioqueño, concluye que el software CROPWAT es una herramienta que ayuda a optimizar los recursos hídricos y maximizar los rendimientos.

5.1.4. A nivel regional

A nivel regional, el referente teórico es nulo. Sin embargo, es importante mencionar que la Corporación Autónoma Regional del Tolima expidió para el año 2010, por medio la Resolución No. 0039, la adaptación de módulos de consumo hídricos para el sector agrícola en 7 cuencas del departamento, con el fin de contrarrestar y controlar el desabastecimiento del agua en el departamento por los efectos del Fenómeno del Niño.

5.2. Marco normativo

La normativa en Colombia referente a los módulos de consumo hídricos carece en amplitud y aplicabilidad. Las leyes, decretos y demás, relacionan los módulos de consumo principalmente con el uso eficiente y ahorro del agua, como también con el cobro por tasas de uso y ordenamiento del recurso hídrico. En el presente marco legal, se relacionarán las Leyes, Decretos y Resoluciones a nivel nacional y regional, en donde se referencian directamente la determinación de los módulos de consumo hídricos.

En el Decreto Único Reglamentario del Sector de Ambiente y Desarrollo Sostenible - 1076, expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015)., en su artículo 2.2.3.2.1.3.4, hace referencia a:

> Las visitas oculares y estudios de reglamentación de las corrientes hídricas, en donde se exige que para la respectiva reglamentación de una fuente hídrica se deberá tener en cuenta 12 diferentes aspectos, entre los cuales se encuentran los módulos de consumo. La reglamentación del uso de las aguas es competencia de las Autoridades Ambientales, y se realiza con el fin de obtener una mejor distribución de las aguas de cada corriente o derivación. (pág. 319).

En su Capítulo 5, "sistema de información del recurso hídrico" el Decreto 1076 en su artículo 2.2.3.5.1.5, definido como Áreas temáticas, declara:

> La disponibilidad hídrica tiene que estar conformada como mínimo por la información generada por las redes hidrometeorológicas y/o estaciones de medición de caudales y de aforos, la estimación de la oferta hídrica superficial y subterránea, la información sistematizada y georreferenciada de concesiones de agua otorgadas vigentes, el registro de usuarios del agua, la caracterización de usuarios de acuerdo al sector y a la actividad, la demanda actual de agua por los usuarios y módulos de consumo (pág. 401).

Referente a los cobros por las tasas de utilización del agua, el Decreto 1076 en su Artículo 2.2.9.6.1.6, estipula:

> La tasa por utilización del agua se cobrará por el volumen de agua efectivamente captada, dentro de los límites y condiciones establecidos en la concesión de aguas. Para el caso de los usuarios que no cuenten con concesión de uso de las aguas, se cobrará la tasa por el volumen de agua presumiblemente captado a partir de la mejor información disponible por parte de la autoridad ambiental competente, como la contenida en los instrumentos de planificación y administración del recurso hídrico correspondiente, en el censo de usuarios del recurso hídrico, o a partir de módulos de consumo adoptados o utilizados por la autoridad ambiental competente para los diferentes tipos de usos (pág. 614).

Para el caso de eventos de escasez, el Decreto 1076 en su Artículo 2.2.3.2.13.16, determina que la Autoridad Ambiental competente podrá restringir los usos o consumos temporalmente. A tal efecto podrá establecer turnos para el uso o distribuir porcentualmente los caudales utilizables (pág. 322). Para el caso del departamento del Tolima, la Corporación Autónoma Regional del Tolima, por medio de la Resolución No. 0039 del 2010, declaró la emergencia ambiental por desabastecimiento del agua al departamento del Tolima debido al Fenómeno del Niño, adoptando módulos de consumo exclusivamente para el sector agrícola en 7 cuencas del departamento (CORTOLIMA, 2010).

Ley 373 expedida en el año 1997, decretado por el Congreso de Colombia, en donde se establece el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua. En el artículo 7, se establece que es deber de la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico de las Corporaciones Autónomas Regionales y demás autoridades ambientales, de acuerdo con sus competencias, establecer consumos básicos en función de los usos del agua, desincentivar los consumos máximos de cada usuario y establecer los procedimientos, las tarifas y las medidas a tomar para aquellos consumidores que sobrepasen el consumo máximo fijado (Congreso de Colombia, 1997, pág. 3).

5.3. Marco conceptual

5.3.1. Módulos de consumo

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en su documento Metodología para el diseño de módulos de consumo del agua (2019) define a los módulos de consumo como un instrumento de política pública que contribuye a ordenar los volúmenes de uso de agua, a través de las concesiones otorgadas, pues establece el requerimiento de agua para realizar una actividad (pág. 7). En esta misma metodología, se dan las siguientes definiciones:

> Una herramienta que contribuye a otorgar concesiones ajustadas a la realidad territorial y de los usuarios del agua y potencializa otros mecanismos de la política.
>
> Herramienta para la estimación de la cantidad de agua requerida en un proceso destinado a obtener un bien o un servicio bajo condiciones de uso eficiente y ahorro de agua y rentabilidad económica. Se expresa en unidades de volumen por unidad de producto, área o masa (pág. 14).

Para CORNARE (2023) define a los módulos de consumo como:

> Herramientas que contribuyen a otorgar concesiones ajustadas a la realidad territorial y de los usuarios y pueden potencializarse con otros mecanismos de la política para contribuir de manera más sólida a la toma de decisiones en relación con el ahorro y eficiencia en el uso, permitiendo establecer el equilibrio entre el uso y su conservación.

5.3.2. Gestión integral del recurso hídrico – GIRH

La Haya (2000) en su IV Conferencia de las partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, resalto la GIRH como el camino adecuado para abordar los problemas de agua a nivel mundial. Para la Global Water Partnership – GWP (2002) la GIRH

garantiza el desarrollo y gestión coordinados del agua, los terrenos y recursos relacionados al objeto de optimizar el progreso social y económico sin menoscabo de la sostenibilidad de los ecosistemas esenciales.

La ONU (1992) la define como la administración integrada de recursos de agua está basada en la percepción del agua como una parte esencial del ecosistema, un recurso natural y un bien social y económico, cuya cantidad y calidad determinan la naturaleza de su uso. Aunado a esto, la ONU (2018), en su informe del progreso sobre la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, argumenta que la GIRH es una ayuda a equilibrar y dar soporte a las dimensiones económicas, sociales y medioambientales del desarrollo sostenible.

En Colombia, la Gestión Integral del Recurso Hídrico surge establecer directrices unificadas para el manejo agua en el país (MinAmbiental, 2010). El ministerio de Ambiente, en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico - PNGIRH (2010), define la gestión del recurso hídrico como:

> Un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.
>
> Una necesidad que surgió en respuesta a la "crisis del agua" expresada en la presión insostenible sobre el recurso hídrico, debida a la creciente demanda de agua, la contaminación y el crecimiento demográfico, buscando orientar el desarrollo de políticas públicas en materia de recursos hídricos, a través de una conciliación entre el desarrollo económico y social y la protección de los ecosistemas.
>
> La gestión integral del recurso hídrico la dividen en cuatro grandes grupos: planificación, administración, seguimiento y monitoreo, y manejo de conflictos relacionados con el agua, buscando una mejora continua.

5.3.3. Desarrollo sostenible

El concepto de Desarrollo Sostenible fue acogido por primera vez gracias a la Comisión Brundtland (1987) en su Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, definió el Desarrollo Sostenible como el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (pág. 59), concepto que es aplicado actualmente. Sin embargo, fue el Banco

Mundial quien enfocó primeramente el estudio del desarrollo sostenible a través de un marco triangular, englobando aspectos sociales, económicos y ambientales (Aguado et al., 2009).

En la actualidad existen varios conceptos de desarrollo sostenible, como cualquier definición y sobre todo por su ambigüedad (Gómez López, 2020, pág. 26). Las distintas definiciones del desarrollo sostenible comparten el respeto por la necesidad de integrar los intereses económicos y ecológicos (Gallopín, 2003, pág. 23).

Carrizosa (1998) resalta el aporte del Banco Mundial al modelo de desarrollo sostenible reconociendo un mundo multifactorial, mas no, monofactorial al hablar de capital social, capital humano y capital institucional. Además, Carrizosa (2005) maneja el concepto de desarrollo sostenible como una función de numerosas variables biofísicas y culturales, cuyo conjunto está determinado por las características del territorio, entendiendo este como una construcción sociocultural sobre un ecosistema especifico.

Para Maya (2003) el concepto de desarrollo sostenible tal como ha sido diseñado en la última década, está hecho para paliar los profundos cambios culturales que exige la crisis ambiental contemporánea. Maya, propone el cambio del término desarrollo al término de cultura, argumentando que el término de “desarrollo” lleva consigo la connotación de crecimiento continuo, en cambio, el término “cultura”, abarca cualquier estrategia adaptativa de la especie humana, a lo largo de su historia (Maya, 2003).

En Colombia, el concepto de Desarrollo Sostenible es definido en la Ley 99 de 1993 en su artículo 3, entendiéndose como:

El que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades (Congreso de Colombia, 1993).

6. Objetivos

6.1. Objetivo general

Evaluar la incidencia de los módulos de consumo hídricos del sector agrícola en la gestión integral del recurso en el departamento del Tolima.

6.2. Objetivos específicos

- Determinar la situación actual del departamento del Tolima en el otorgamiento de concesiones de aguas superficiales y subterráneas, y la disponibilidad del recurso hídrico.
- Identificar la situación actual del departamento del Tolima en términos de gestión integral del recurso hídrico.
- Proyectar el impacto ambiental en la gestión integral del recurso hídrico según la estimación de los módulos de consumo hídricos para el sector agrícola.

7. Metodología

7.1. Tipo de investigación

La investigación tiene un enfoque de tipo mixto con un diseño de triangulación metodológica, compuesto por 3 fases. Una primera fase de tipo cuantitativa desarrollada por medio de una recopilación de información secundaria en bases de datos oficiales del DANE y CORTOLIMA. La segunda fase de tipo cualitativa, con actividades de recopilación y sistematización de las normativas a nivel nacional y la aplicación de una entrevista semiestructurada a expertos que hacen parte de la Corporación Autónoma Regional del Tolima. La tercera fase se compone de un proceso cuantitativo con la implementación de los softwares CropWat y ClimWat y un proceso matemático para el cálculo de los valores de huellas hídricas.

7.2. Localización del estudio

La investigación se localiza en el departamento del Tolima, en el área de jurisdicción de la Corporación Ambiental – CORTOLIMA. El tema central son los módulos de consumo hídricos del sector agrícola para cultivo de arroz.

7.3. Determinar la situación actual del departamento del Tolima en el otorgamiento de concesiones de aguas superficiales y subterráneas, y la disponibilidad del recurso hídrico

La recopilación de la información se realizó para el 2023. Se consultó información secundaria en la página del DANE relacionada con las condiciones climatológicas del departamento del Tolima. Igualmente, se determinó el número de concesiones de aguas superficiales y subterráneas otorgadas por la entidad ambienta CORTOLIMA.

La información recopilada se sistematizó en una hoja de cálculo en Excel que incluyó la siguiente información: tipo de fuente, código de fuente, nombre de fuente, zona hidrográfica, municipio, caudal, uso, aptitud del arroz, lluvia, temperatura, brillo solar, humedad relativa, evaporación y evaporación potencial.

En una segunda etapa, se hizo una sistematización por medio de ArcGIS representados por medio de archivos tipo Shape. En los archivos se incluyó información como: cantidad de caudal, zonas hídricas, zonas de aptitud de arroz, riesgos y amenazas de la disponibilidad del recurso hídrico.

7.4. Identificación de la situación actual del departamento del Tolima en términos de gestión integral del recurso hídrico

Se realizó una recopilación de las normativas a nivel nacional donde se tomaron directrices conforme a la aplicación y determinación de los módulos de consumo. La información recopilada se sistematizó en una hoja de cálculo en Excel que incluyó la siguiente información: normativa, indicativo, año, puntuación, descripción, articulo, descripción módulos, normativa anterior y vigencia.

Para el ítem de puntuación, se tomó en cuenta la jerarquía de la ley colombiana según la pirámide Hans Kelsen como se relaciona a continuación: Corte constitucional (1), ley (2), decreto (3), resolución (4), ordenanza (5) y acuerdo (6). El valor 1 corresponde al valor más alto en la pirámide y el valor 6 el menor.

Como un segundo momento, se desarrolló una entrevista semiestructurara aplicada a expertos que hacen parte de la Corporación Autónoma Regional del Tolima de la subdirección de Administración de Recursos. Para la codificación y análisis de los resultados cualitativos, se empleó el software ATLAS. Ti, definiendo previamente categorías y códigos relacionados con los módulos de consumo hídricos y a la gestión integral del recurso.

7.5. Proyectar el impacto económico y ambiental en la gestión integral del recurso hídrico según la estimación de los módulos de consumo hídricos para el sector agrícola

Inicialmente, se calcularon los módulos de consumo hídricos del sector agrícola, implementando los softwares CropWat y ClimWat para cultivos de arroz en dos periodos (marzo-junio y septiembre-diciembre). Se empleó el software ClimWat para determinar variables climatológicas como temperatura mínima, temperatura máxima, humedad, viento e insolación, con las cuales se obtuvieron los valores de radicación y evapotranspiración de referencia (ETo) partiendo de la base de información de estaciones climatológicas en el departamento del Tolima que contiene el software ClimWat.

Una vez se determinaron las variables climatológicas, se empleó el software CropWat, con el cual se obtuvieron valores de variables como precipitación, cultivo, suelo, requerimiento de agua del cultivo (RAC), programación de riego de cultivo, patrón de cultivo y aprovisionamiento del sistema.

Como segundo momento, se realizó la proyección ambiental y económica. En la proyección económica se determinaron los valores de huella verde y huella azul empleando el software CropWat conforme a los valores obtenidos en el proceso del cálculo de los módulos de consumo.

El cálculo de la huella hídrica del cultivo de arroz se realizó partiendo de los términos de referencia y ecuaciones estipuladas en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica aplicando los valores de rendimiento del cultivo, precipitación efectiva y requerimiento de riego.

8. Análisis de la información

La información se analizó a manera de triangulación metodológica, triangulando ambas metodologías (cualitativa y cuantitativa) e implementando herramientas ofimáticas como Excel, con un análisis a modo de matriz. Para el análisis de la información, se tuvieron como criterios los resultados obtenidos del proceso de codificación de las entrevistas semiestructuras a expertos, y a manera comparativa, se analizaron estos resultados con los obtenidos en la actividad de proyección ambiental, con el fin de validar el estado actual con respecto a un estado proyectado según unos módulos de consumo agrícolas determinados.

9. Resultados

9.1. Determinación de la disponibilidad del recurso hídrico

Se sistematizaron un total de 1.646[14] datos de concesiones de aguas superficiales y subterráneas para usos agrícolas y distritos de riego que se otorgaron por parte de la Corporación Autónoma Regional del Tolima hasta el año 2023. La información se recopiló de bases de datos de la Corporación (Figura 1). Como resultado se obtuvieron que se han otorgado un total de 126.707,85 l/s, los cuales el 62% de la demanda hídrica se localiza en la zona hídrica (ZH) Alto Magdalena, el 35% en la ZH Rio Saldaña, el 2% en la ZH Medio Magdalena y el 1% en aguas subterráneas.

Se determinó que los municipios en donde se concentra el mayor volumen de recurso hídrico otorgado es el municipio de Saldaña con un total de 25.036,8 l/s y el municipio de Espinal con un total de 20.818,0 l/s.

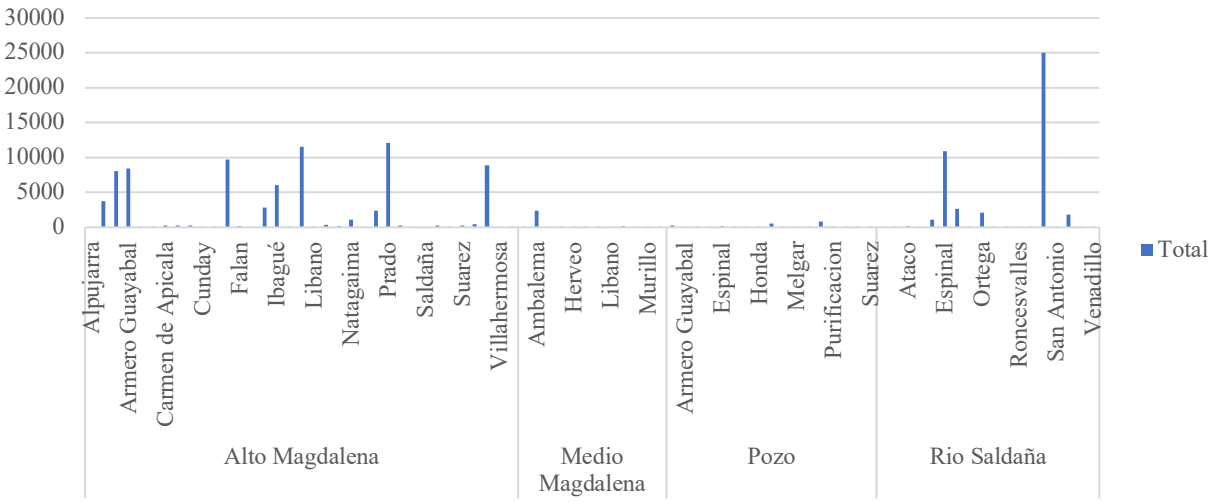


Figura 1. Concentración de las concesiones de aguas de uso agrícola y los distritos de riego otorgados por Cortolima hasta el 2023.

Nota. Datos expresados en l/seg.

Al sistematizar la información de la distribución de caudales otorgados en el departamento del Tolima, se evidencia una mayor densidad de concentración en la subzona hidrográfica bajo Saldaña

[14] Información depurada del Maestro de Aguas de CORTOLIMA.

(ver Figura 2), que hace parte de la ZH Rio Saldaña y zona que comprende los municipios de Ataco, Chaparral, Coyaima, Guamo, Purificación, Ortega y San Luis.

Aunque la sistematización demuestra una mayor densidad de concentración en la subzona hidrográfica bajo Saldaña, el mayor volumen equitativo de concentración se espacializa en la ZH Alto Magdalena.

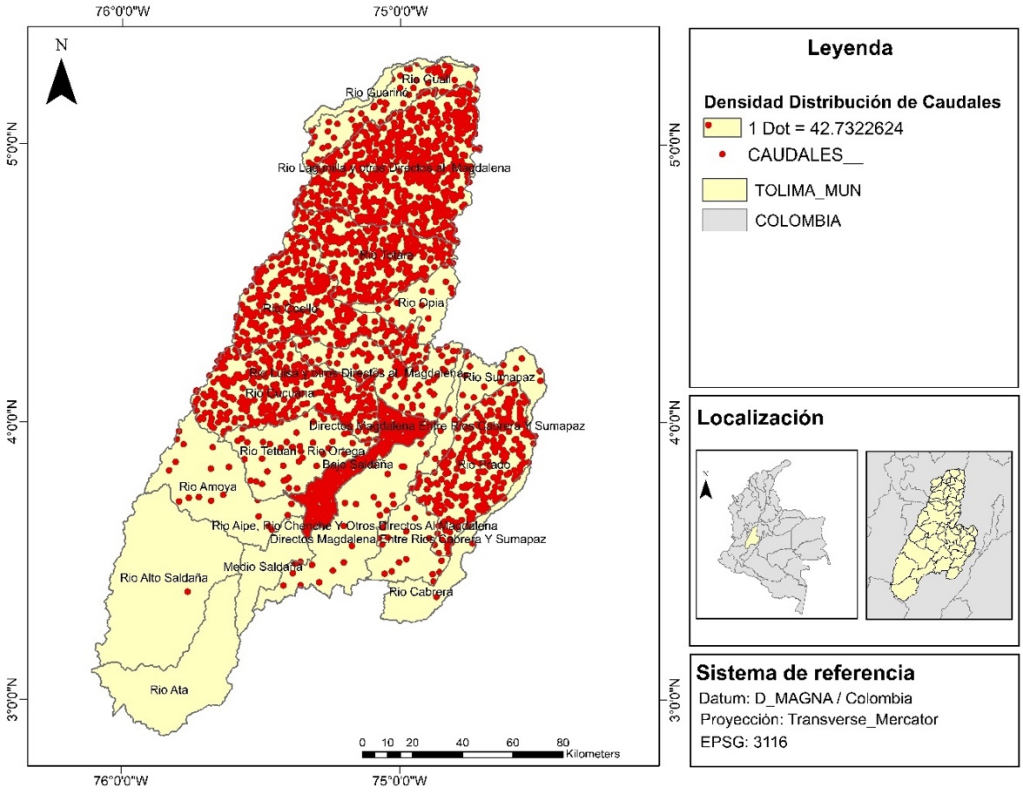


Figura 2. Densidad de puntos según la distribución de caudales en el departamento del Tolima.

Aptitud de cultivo de arroz[15]

La información se obtuvo del Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria (SIPRA). Se sistematizó la información por medio de herramientas de información geográfica como ArcGIS. En el Tolima, se cuenta con un área significativa como no apta para el cultivo de arroz, sin embargo, las zonas con aptitudes bajas, medias y altas se ubican en las zonas hidrológicas

[15] Aptitud: Áreas con potencial para el establecimiento y desarrollo del cultivo comercial de arroz (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA, 2020)

Alto Magdalena y río Saldaña con áreas más extensas en la ZH del alto Magdalena como se observa en la Figura 3.

Los municipios que presentan aptitudes altas para el cultivo de arroz son: Ataco, Chaparral, Ortega, San Luis, Prado, Natagaima, Purificación, Guamo, Espinal, Armero Guayabal, Mariquita y Honda. Para las zonas con aptitudes medias, se presentan en los siguientes municipios: Ataco, Chaparral, Ortega, San Luis, Valle del San Juan, Ibagué, Alvarado, Piedras, Melgar, Carmen de Apicalá, Guamo, Suarez, Saldaña, Prado, Dolores, Natagaima, Armero Guayabal, Mariquita y Honda.

Al sistematizar los geodatos de la distribución de caudales y aptitudes de arroz en el departamento del Tolima, se corrobora que las ZH Alto Magdalena y río Saldaña presentan mayores volúmenes de caudales y áreas potenciales altas y medios para el establecimiento y desarrollo del cultivo de arroz como se evidencia en la figura 3.

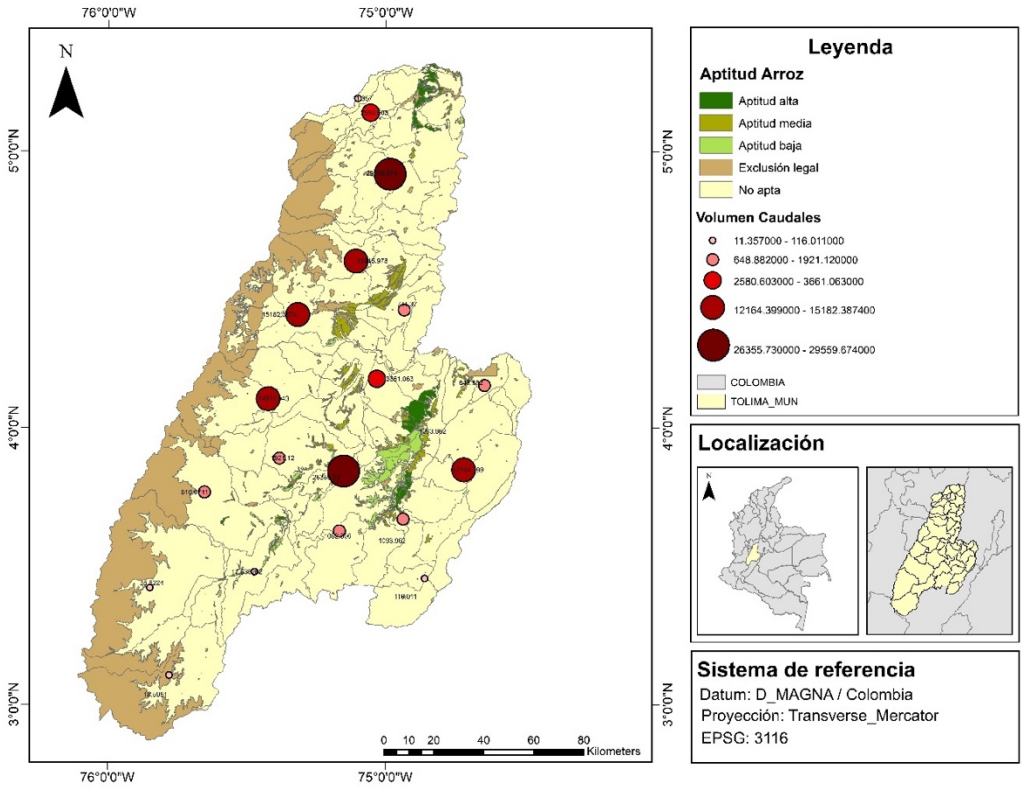


Figura 3. Sistematización de la distribución de caudales y aptitudes de cultivo de arroz en el departamento del Tolima.

Riesgos y amenazas de la disponibilidad del recurso hídrico

La escasez del recurso hídrico producto del incremento del consumo de actividades domésticas y económicas, ha propiciado impactos sobre la sostenibilidad de los modelos de gestión (Hervás Gámez & Delgado Ramos, 2019). Las sequías suponen uno de los riesgos naturales más importantes y menos comprendidos (Morote et al., 2019) por lo que, para el análisis de riesgos y amenazas de la disponibilidad del recurso hídrico, se sistematizaron datos correspondientes a los índices de uso de agua e índices de vulnerabilidad hídrica que hacen parte de los indicadores hídricos del IDEAM, como también la alteración de precipitaciones y temperaturas por el fenómeno del Niño en el departamento del Tolima.

Para los Índices de Uso de Agua (IUA)[16] se sistematizaron por medio de una hoja en Excel, un total de 834[17] fuentes hídricas que cuentan con IUA para el año 2022. Del total de IUA, la ZH Alto Magdalena cuenta con 520 cuencas caracterizadas que hacen parte de las subzonas hídricas: Río Aipe, Río Chenche y otros directos Al Magdalena, Embalse, Río Prado, Río Luisa y otros directos al Magdalena, Río Sumapaz, Río Coello, Río Opia, Río Totare y Río Lagunilla y otros directos al Magdalena.

Para la ZH Río Saldaña se cuenta con 279 cuencas caracterizadas que hacen parte de las subzonas hídricas: Alto Saldaña, Qda. Guanábano, Río Amoyá, Río Ortega – Tetuán y Río Cucuana. Para la ZH Magdalena Medio se cuenta con 35 cuencas caracterizadas que hacen parte de las subzonas hídricas: Río Gualí y Río Guarinó.

Del Total de las 19 subzonas hídricas existentes en el departamento, las subzonas Bajo Saldaña, Directos Magdalena entre Ríos Cabrera y Sumapaz, Río Ata y Río Cabrera no cuentan con cuencas caracterizadas con IUA como se muestra en la Tabla 1.

[16]El Índice de Uso de Agua (IUA) corresponde a la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un período determinado (anual, mensual) y unidad espacial de análisis (área, zona, subzona, etc.) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades temporales y espaciales (IDEAM, 2010).

[17] Información suministrada de bases de datos de CORTOLIMA. Fuente: https://www.cortolima.gov.co/images/noticias/actualidad_tua/liquidacion_tua_2022/Tablas_IUA_MAYO_2022.pdf

Tabla 1. Categorías de Índice de Uso del Agua de las Subzonas Hídricas del departamento del Tolima.

Zona Hídrica	Subzona Hídrica	Categoría Índice de Uso del Agua						
		Crítico	**Muy Alto**	**Alto**	**Moderado**	**Bajo**	**Muy Bajo**	**S.I.**
Alto Magdalena	Directos Magdalena entre Ríos Cabrera y Sumapaz							S.I.
	Río Aipe, Río Chenche y Otros Directos Al Magdalena	75%	-	25%	-	-	-	
	Río Cabrera							S.I.
	Río Coello	24%	27%	11%	-	28%	10%	
	Río Lagunilla y otros Directos al Magdalena	13%	23%	14%	5%	11%	33%	
	Río Luisa y otros Directos al Magdalena	43%	7%	50%	-	-	-	
	Río Opia	59%	10%	-	-	-	31%	
	Río Prado	-	3%	-	3%	13%	82%	
	Río Sumapaz	20%	73%	7%	-	-	-	
	Río Totare	-	100%	-	-	-	-	
Río Saldaña	Bajo Saldaña							S.I.
	Medio Saldaña	-	-	-	-	75%	25%	
	Río Alto Saldaña	1%	3%	-	7%	22%	66%	
	Río Amoyá	-	-	6.6%	6.6%	6.6%	80%	
	Río Ata							S.I.
	Río Cucuana	6%	13%	9%	9%	35%	28%	
	Río Tetuán - Rio Ortega	83%	17%	-	-	-	-	
Medio Magdalena	Río Gualí	-	-	7%	-	36%	57%	
	Río Guarinó	-	-	-	5%	14%	81%	

Nota: La tabla representa los Índices de Uso del Agua por subzonas hídricas que se han caracterizado por CORTOLIMA hasta el año 2022.

La sistematización de los Índices de Vulnerabilidad Hídrica[18] se realizó por medio de geodatos especializados en el departamento del Tolima, reportando que en la ZH Alto Magdalena el 70% de las subzonas hídricas se encuentran en vulnerabilidad alta, el 20% vulnerabilidad media y el 10% vulnerabilidad baja. Para la ZH Río Saldaña, el 29% de las subzonas hídricas se encuentran en

[18] El Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH), permite identificar el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas (IDEAM, 2010)

vulnerabilidad alta y el 71% en vulnerabilidad baja y para el caso de la ZH Magdalena, sus dos subzonas hídricas que la componen, se encuentran en una vulnerabilidad baja (Figura 4).

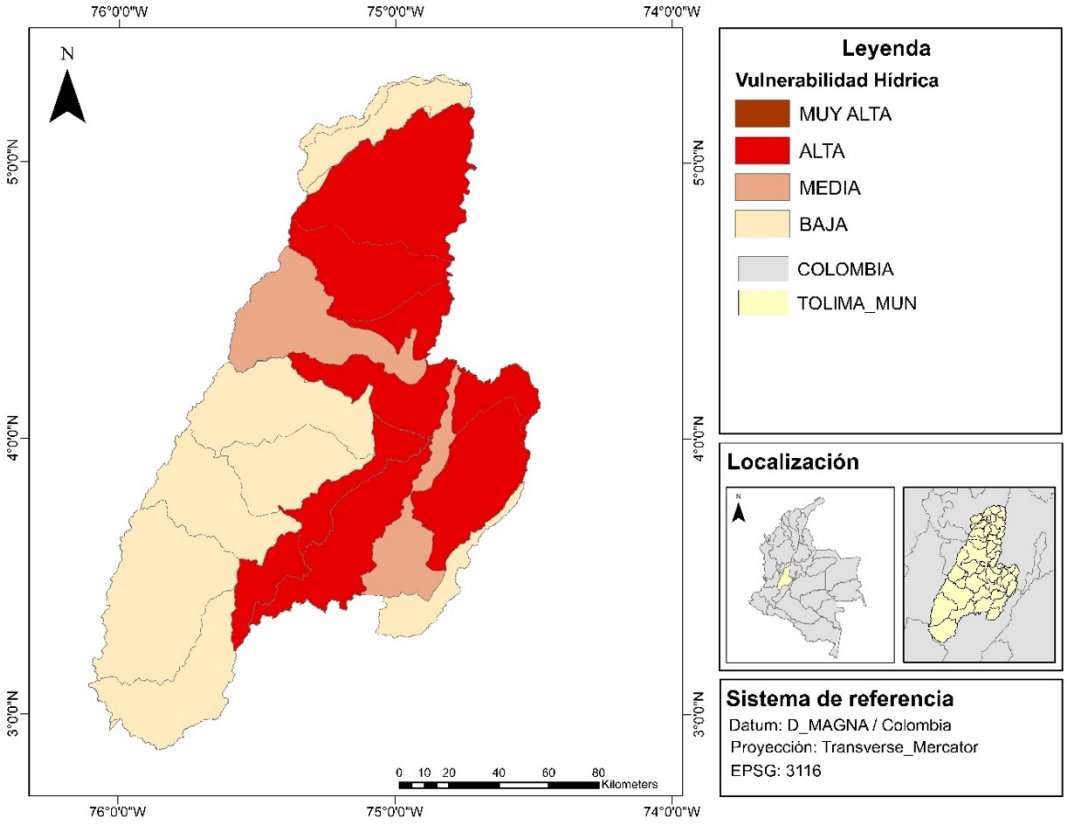


Figura 4. Índice de Vulnerabilidad Hídrica por subzonas en el departamento del Tolima.

Para la sistematización de los cambios de precipitación y temperatura por el fenómeno del Niño, se geoespacializarón datos geográficos del IDEAM del año 2010 en relación con las zonas hidrográficas del departamento. Las alteraciones de temperaturas por el fenómeno del Niño en todo el departamento se presentan en condiciones de calentamiento severo. Para las alteraciones de las precipitaciones en un área no significativa del departamento, se identifican zonas con una categoría excedente severo que superan los rangos del 160%, sin embargo, en la mayor cobertura de las zonas hídricas se presentan alteraciones excedentes con rangos que oscilan entre el 120% y 160% localizados en el centro y noreste del departamento, zonas que hacen parte de la ZH Alto Magdalena (Figura 5).

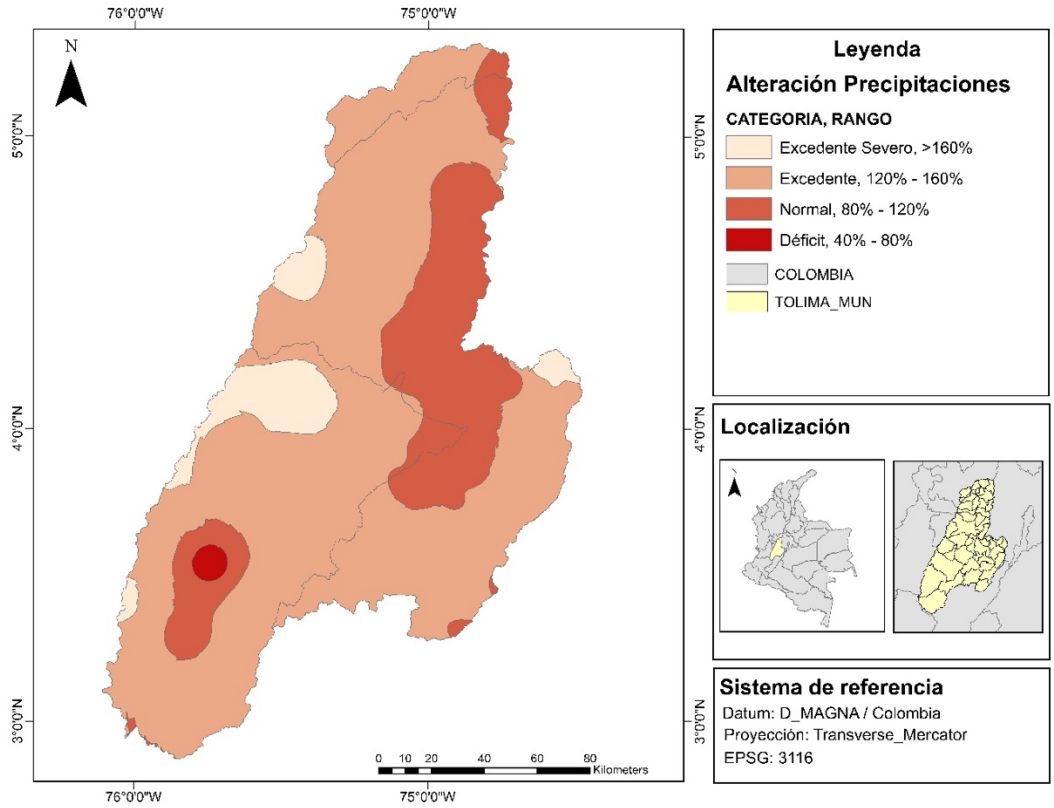


Figura 5. Alteración de precipitaciones por el fenómeno del niño en el departamento del Tolima.

Con la triangulación realizada entre la información recolectada de la distribución de las concesiones de aguas otorgadas por parte de la Corporación Autónoma Regional del Tolima y los riesgos de escasez de agua, se determinó que la zona hídrica con mayor afectación es Magdalena Medio, en donde la distribución de los caudales se centra en la parte centro y noreste del departamento, ubicándose en estas zonas los municipios con aptitudes altas y medias para el cultivo de arroz.

En la Subzona Hidrográfica Río Saldaña se evidencia una superioridad en la densidad de concentración, esta corresponde a las concesiones otorgadas en el municipio de Saldaña, principalmente el distrito de Riego.

Según la caracterización de los índices de uso del agua en la ZH Alto Magdalena el panorama es desfavorable. De las 10 subzonas que conforman la zona hídrica, siete se encuentran en un porcentaje superior al 50% en categorías críticas, muy altas y altas. Solo una subzona (Río Prado) se encuentra con un índice en categoría muy bajo y dos se encuentran sin información.

Las subzonas en donde se presentan un índice de uso de agua que superan más del 70% en estados críticos, muy altos y altos son: Río Aipe – Río Chenche, Río Coello, Río Luisa, Río Opia, Río Sumapaz y Rio Totare, por lo que son subzonas en las cuales no se cuenta con disponibilidad del recurso hídrico y en las cuales no se deberán otorgar concesiones de aguas para usos agrícolas. Estas subzonas abarcan los municipios de Ataco, Natagaima, Purificación, Saldaña, Ibagué, San Luis, Guamo, Espinal, Valle del San Juan, Guamo, Piedras, Melgar, Carmen de Apicalá y Alvarado, municipios que cuentan con aptitudes altas y medias, mayor concentración de caudales otorgados y que hacen parte de la determinación de los módulos de consumo hídricos de la presente investigación.

9.2. Identificación de la gestión integral del recurso hídrico

Normativa módulos de consumo

Se sistematizaron un total de dos normativas de jerarquía leyes – decretos que especifican el uso obligatorio de los módulos de consumo. El Decreto-Ley 1076 del 2015 obliga a las entidades ambientales a determinar los módulos de consumo para las reglamentaciones de corrientes hídricas, la conformación de áreas temáticas de información como el SIRH (Sistema de Información del Recurso Hídrico) de la disponibilidad hídrica, y para la tasa por utilización del agua del volumen captado para usuarios que no cuentan con concesión de uso de las aguas.

En lo que se dicta en la Ley 373 de 1997, se obliga a las autoridades ambientales a establecer consumos básicos en función de los usos del agua, lo que se resume en la determinación de módulos de consumo en las diferentes actividades y uso del agua.

Normativa gestión integral del recurso hídrico

La normativa de gestión integral del recurso hídrico se sistematizó un total de seis normativas con una jerarquía leyes, decretos y constitución política con el siguiente orden: Constitución Política de 1991 (1), Ley 99 de 1993 (2), Ley 2811 de 1974 (2), Decreto 3930 de 2010 (3) y Decreto 1090 de 2018 (3).

En términos normativos, el panorama a nivel nacional se muestra según la Tabla 2.

Tabla 2. Sistematización de la normativa vigente relacionada a la gestión integral del recurso hídrico y módulos de consumo.

Norma	Indicativo	Año	Artículo	Estado	Puntuación Hans Kelsen	Categoría
Constitución Política		1991	80	Vigente	1	Gestión integral
Ley	2811	1974	1, 2, 3, 9, 91, 92, 93, 133, 155, 156 y 157	Vigente	2	Gestión integral
Ley	99	1993	31	Vigente	2	Gestión integral
Ley	373	1997	7	Vigente	2	Módulos de consumo
Ley	1955	2019	258	Vigente	2	Gestión integral
Decreto	3930	2010	4 y 6	Vigente	3	Gestión integral
Decreto	1076	2015	2.2.3.2.13.4, 2.2.3.5.1.5 y 2.2.9.6.1.6	Vigente	3	Módulos de consumo
Decreto	1090	2018	2.2.3.2.1.1.2 y 2.2.3.2.1.1.3	Vigente	3	Gestión integral

Entrevista semiestructurada a expertos

Para el desarrollo de las entrevistas se seleccionaron cuatro (4) expertos que hacen parte de la subdirección de Administración de Recursos Naturales con vasta experiencia en los procesos de evaluación y seguimiento a tramites ambientales de concesiones de aguas. Se estructuraron un total de cuatro (4) preguntas tipo abiertas enfocadas en cuatro ejes: conflictos socioambientales, gestión integrada del recurso hídrico, información técnica, instrumentos de planificación y normativa.

Para el proceso de entrevista, se diseñó un formato en Word formulando las preguntas e información adicional del entrevistado como subdirección a la cual hace parte, profesión y años de experiencia o antigüedad en la corporación (Tabla 3).

Tabla 3. Preguntas y datos adicionales de la entrevista semiestructurada.

DATOS ENTREVISTADO	Subdirección:	
	Profesión:	
	Antigüedad en la Corporación:	
PREGUNTAS		**RESPUESTAS**
1	¿Como determinan la corporación los parámetros de los módulos de consumo para asegurar su efectividad, monitoreo y control del cumplimiento de éstos?	
2	¿Cuáles son los principales desafíos u obstáculos de la corporación en la implementación de los módulos de consumo para los diferentes sectores productivos?	
3	¿Qué beneficios se generarían en términos de gestión integral del recurso hídrico la determinación de los módulos de consumo para la Corporación?	
4	¿Cómo se reglamenta a nivel nacional la implementación y estimación de los módulos de consumo?	

Realizada las entrevistas, se definieron los códigos que hacen parte de cada categoría. Para la categoría conflictos socioambientales se definieron los códigos: concesiones ajustadas y equitativas, corporación y usuarios agrícolas.

En la categoría de gestión integral del recurso hídrico se definieron los códigos: administración del recurso hídrico, análisis de oferta y demanda, gobernación hídrica y uso eficiente.

En la categoría de información técnica se definieron los códigos: factores climatológicos, factores cultivo, factores de suelo e información desactualizada.

En la categoría de instrumentos de planificación se definió el código de estudios nacionales del agua. Por último, en la categoría normativa se definieron los códigos: aplicación de la norma y carencia normativa.

Ejecutada las entrevistas a los expertos se sistematizó la información en el software Atlas.Ti. En el desarrollo, se identificaron y citaron frases acordes a los grupos de códigos para luego codificar la información como se evidencia en la Tabla 4.

Tabla 4. Cuantificación de códigos por categorías y expertos.

	Experto 1.	Experto 2.	Experto 3.	Experto 4.	Totales
● **Conflictos socioambientales**	6	1	3	6	16
● **Gestión integral del recurso hídrico**	3	1	6	4	14
● **Información técnica**	2	1	5	2	10
● **Instrumentos de planificación**	1	1	3	3	8
● **Normativa**	4	2	3	2	11
Totales	**16**	**6**	**20**	**17**	**59**

En total, se obtuvieron 59 citas codificadas y dosificadas de la siguiente manera. En el experto 1 se citaron 16 códigos, en el experto 2 se citaron 6 códigos, en el experto 3 se citaron 20 códigos y en el experto 4 se citaron 17 códigos.

La información se interpretó desde un análisis de códigos por medio de gráficos Sankey y un análisis de sentimientos.

En el análisis realizado, se determinó que la categoría de conflictos socioambientales está presente en todos los expertos, pero en una mayor magnitud de flujo en los expertos 1 y 4. Al triangular la información de flujos con la identificación de sentimientos, se puede interpretar que la determinación los conflictos socioambientales influyen de manera negativa en la determinación de los módulos de consumo.

Para la categoría de gestión integral del recurso hídrico se identificó un mayor flujo de proporción en los expertos 3 y 4. Para esta categoría se determina una inclinación positiva en la gestión integral del recurso hídrico.

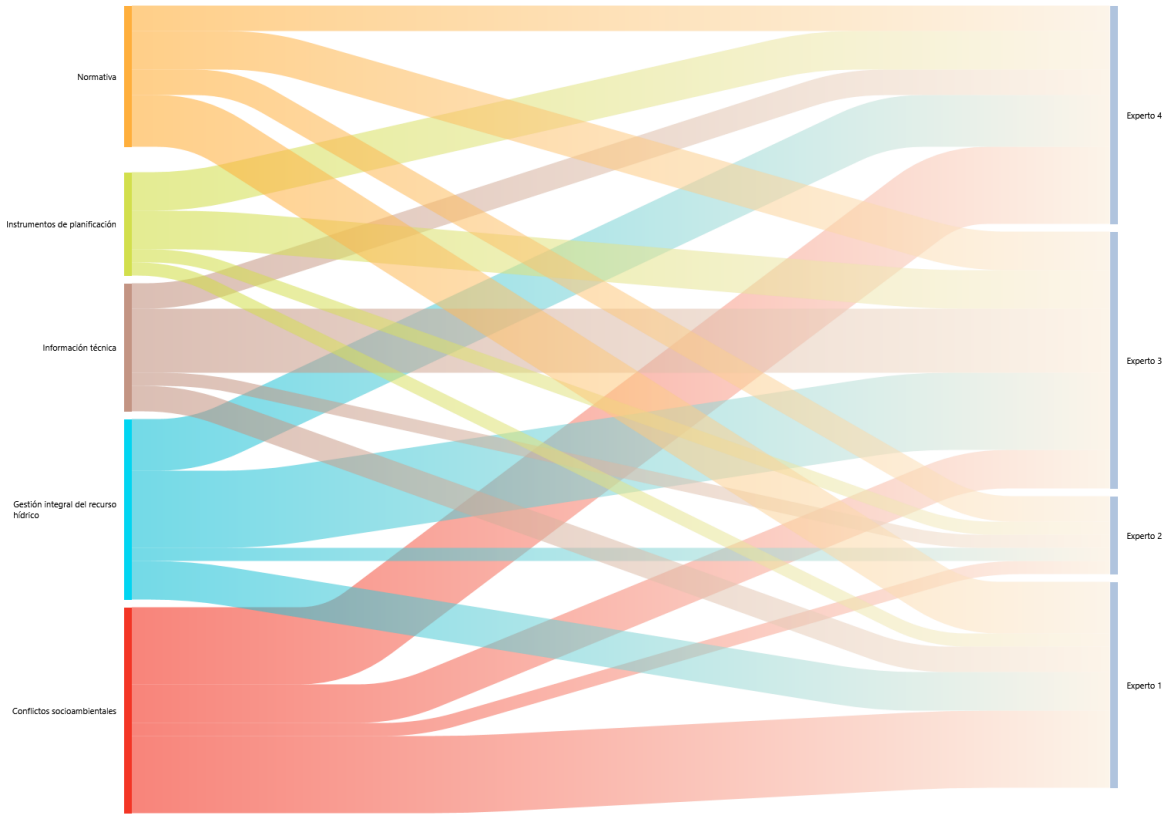
En la categoría de información técnica se presenta un mayor flujo proporcional en el experto 3. Se interpreta que la información técnica influye de manera negativa en la determinación de los módulos de consumo.

En la categoría de instrumentos de planificación se presenta mayores flujos en los expertos 3 y 4. En este, se interpreta un sentimiento que ha influido de manera negativa.

Finalmente, en la categoría normativa solo se presente un flujo de mayor magnitud en el experto 1, en donde se interpreta un sentimiento negativo.

En la Figura 6 se puede evidenciar el observar el comportamiento de los flujos según las categorías por cada experto.

Figura 6. Comportamiento proporcional de flujos por categorías.



El resultado de las entrevistas deja un panorama favorable para el proceso de la investigación. En términos de la forma en cómo se determinan los módulos de consumo para asegurar su efectividad, monitorio y control del cumplimiento de estos por parte de la corporación, se puede argumentar que para esta determinación se debe iniciar desde un proceso transdiciplinario y participativo con el sector arrocero en donde se determinen con exactitud diferentes los factores climatológicos, suelos y de cultivos que influyen de manera directa en la precisión de la determinación de los módulos de consumo.

Actualmente la Corporación realiza el otorgamiento de las concesiones de aguas a criterio técnico teniendo consideraciones del uso y la cantidad solicitada por el usuario, sin embargo, esto estaría generando conflictos socioambientales, especialmente en el otorgamiento de caudales que no están ajustadas a factores climatológicos, suelos y de cultivos del territorio, si no por el contrario, se están ajustando a parámetros de módulos de consumo estipulados en otras CAR nacionales que pueden no guardan semejanza en los factores territoriales.

En lo que respecta a los principales desafíos u obstáculos de la Corporación en la implementación de los módulos de consumo para los diferentes sectores productivos, se determina un factor común relacionado a la falta de investigación y actualización de datos de los factores climatológicos, suelos y de cultivos a nivel departamental. Esto se ve reflejado en que en el transcurso de la investigación solo se obtuvieron datos históricos hasta el 2010.

De los resultados a destacar son los beneficios que se generarían en términos de gestión integral del recurso hídrico al determinar los módulos de consumo, los cuales guardan relación directa con el otorgamiento de concesiones ajustadas y equitativas, resumiéndose en una disminución de conflictos socioeconómicos. La determinación de los módulos de consumo hídricos conllevaría al establecimiento de criterios unificados en los procesos de evaluación de los trámites de concesiones de aguas y el reajuste en la redistribución de caudales de fuentes hídricas reglamentadas conforme una realidad territorial. Esto básicamente se resume en una correcta administración del recurso hídrico.

Con base a lo normativo, existe una brecha a nivel nacional en la reglamentación de la implementación y estimación de los módulos de consumo. Esta brecha seria generada desde las directrices gubernamentales que, aunque se desarrolló la formulación de una metodología para definir los módulos de consumo a nivel nación por parte del Ministerio de Ambiente en coordinación con el IDEAM, esta metodología no se elevó a nivel de acto administrativo y por ende no establece tiempos para la ejecución y cumplimiento de la misma. Esto guarda coherencia con el vacío normativo relacionado a la obligatoriedad en la determinación de módulos de consumo por parte de cada CAR para llevar a cabo procedimientos de evaluación, seguimiento y control de toda actividad que haga uso del recurso hídrico.

9.3. Proyección ambiental

La proyección se centró en los municipios con altas y medias aptitudes y en donde se concentran el volumen de concesiones otorgadas. Los municipios en donde se desarrollaron las proyecciones fueron: Alvarado, Ataco, Armero Guayabal, Carmen de Apicalá, Chaparral, Dolores, Espinal, Guamo, Honda, Ibagué, Natagaima, Mariquita, Melgar, Ortega, Piedras, Prado, Purificación, Saldaña, San Luis, Suarez y Valle del San Juan.

Módulos de consumo hídricos sector agrícola

El cálculo de los módulos de consumo del cultivo de arroz se realizó teniendo como base los lineamientos establecidos en las Guías para la Determinación de los Requerimientos de agua de los Cultivos determinado por la FAO, proporcionando datos relacionados a clima, precipitación, cultivo y suelo.

El conjunto de datos proporcionados para el factor clima se obtuvieron de la base de datos de la estación climatológica ESPINAL del software ClimWat. Los datos extraídos fueron: temperatura mínima, temperatura máxima, humedad, viento e insolación. Con los datos se obtuvieron los valores promedios de la Radiación y Evapotranspiración de cultivo de referencia (ETo) aplicando la metodología Penman-Monteith.

En la base de estaciones climatológicas se localizó un total de tres estaciones en el departamento del Tolima, con lo que se determinó tomar los datos de la estación ESPINAL al ser este un municipio que comparte las características climatológicas de los municipios en donde se centra el estudio.

En el factor precipitación, el software realizó el cálculo aplicando el método USDA partiendo de los datos de la estación meteorológica ESPINAL para obtener la precipitación efectiva.

Para el factor cultivo los datos requeridos son el Coeficiente de Cultivo, etapa de cultivo profundidad radicular, agotamiento crítico y factor de respuesta de rendimiento. Se determinó un Coeficiente de Cultivo (Kc)[19] para un cultivo de arroz en regiones tropicales según (FAO, 2006, pág. 107) en la etapa inicial equivalente a 0,3; etapa de desarrollo 0,3; etapa media 0,8 y etapa final 0,4 para un total de 1,80 en un periodo de cultivo de 120 días según (Tascón J. & Garcfa D, 1985).

[19] El Coeficiente único del cultivo (Kc) integra las diferencias en la evaporación en el suelo y en la tasa de transpiración del cultivo, entre el cultivo y la superficie del pasto de referencia.

La profundidad radicular se tomó con una profundidad inicial de 5 cm hasta 20 cm según lo estipulado en la Guía para la fertilización en el cultivo del arroz (FEDEARROZ, 2018). El factor de agotamiento se determinó a partir de la guía de la FAO en la Figura 41 y Cuadro 22, tabulando e interpolando según los valores de ETo, obteniendo los valores en la etapa inicial de 0,24; etapa media de 0,28 y etapa final de 0,28. El factor de respuesta de rendimiento se asumió con los valores de cultivos de cereales determinados por la FAO.

En el factor suelo se dispuso de la información geográfica de agrología del IGAC, en donde se determinaron los tipos de texturas de suelo y su porcentaje de arena, arcilla y limos. Se clasificaron los tipos de suelo de los 21 municipios seleccionados con el Software SPAW obteniendo la información de humedad del suelo, tasa máxima de infiltración de la precipitación, agotamiento inicial de humedad del suelo y humedad del suelo inicialmente disponible. En los factores cultivo y suelo no se generaron resultados, son secciones en donde se ingresaron valores.

El cálculo de los módulos de consumo se realizó para dos etapas con eventos de programación de riego normales y críticos. La primera etapa comprendida entre marzo a junio y la segunda etapa entre los meses de septiembre a diciembre. Para ambas etapas, se calcularon los módulos en un evento con riego en agotamiento crítico, reposición del contenido de agua a la capacidad 100% de campo y una eficiencia de riego al 70%. En el evento crítico, se definió un riego bajo o sobre agotamiento con una capacidad de campo de reponer el contenido de agua del suelo al 200% y una eficiencia de riego del 70%.

La determinación de los módulos hídricos aplicando el software CropWat se realizó para los municipios de Alvarado, Ataco, Armero Guayabal, Carmen de Apicalá, Chaparral, Dolores, Espinal, Guamo, Honda, Ibagué, Natagaima, Mariquita, Melgar, Ortega, Piedras, Prado, Purificación, Saldaña, San Luis, Suarez y Valle del San Juan.

En los resultados del factor clima se obtuvo una radiación promedio de 15,6 MJ/m^2/día, presentándose las mayores radiaciones en los meses enero, febrero, marzo, agosto y septiembre. En la evapotranspiración de cultivo de referencia (ETo) se obtuvo un promedio de 3,67 mm/día, presentándose el mayor valor en el mes de febrero.

Tabla 5. Valores de la Radiación y Evapotranspiración de cultivo de referencia (ETo).

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	22.6	33.3	70	95	5.7	16.9	3.98
Febrero	22.6	33.7	70	104	5.1	16.9	4.13
Marzo	22.3	33	72	86	4.7	16.7	3.96
Abril	22.1	32.4	76	86	3.4	14.6	3.49
Mayo	22.2	32.5	78	69	3.6	14.4	3.32
Junio	22	33.2	75	69	4	14.4	3.36
Julio	21.7	34.5	66	78	4.4	15.3	3.73
Agosto	22.1	34.8	64	69	4.5	16	3.87
Septiembre	22.5	34.4	69	69	4.6	16.4	3.93
Octubre	22.1	32.5	73	61	3.8	14.9	3.45
Noviembre	21.9	32.3	74	61	4.3	15.1	3.38
Diciembre	22.3	32.9	72	61	4.8	15.3	3.44
Promedio	22.2	33.3	72	76	4.4	15.6	3.67

En el factor de precipitación se obtuvo un valor total de precipitación efectiva de 1077,0 mm y una precipitación total de 1393,0 mm, valores que clasifican en un criterio moderadamente llovioso.

Tabla 6. Valores anuales de precipitación y precipitación efectiva.

	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	52	47.7
Febrero	94	79.9
Marzo	124	99.4
Abril	192	133
Mayo	190	132.2
Junio	97	81.9
Julio	45	41.8
Agosto	55	50.2
Septiembre	120	97
Octubre	213	140.4
Noviembre	124	99.4
Diciembre	86	74.2

	Precipit. mm	Prec. efec mm
Total	1392	1077

Según los valores obtenidos, para el evento del semestre 1 con un caso de riego normal se obtuvo un módulo de consumo hídrico promedio de 0,444 l/s/ha. En el Caso de un riego crítico, el módulo de consumo hídrico promedio es de 0,835 l/s/ha. Para ambos casos, los requerimientos de riego dieron un promedio de cero, lo que indica que, para un evento normal y crítico entre los meses de marzo y junio los cultivos pueden satisfacerse de las precipitaciones que se presentan en este periodo, sin presentarse incrementos en los volúmenes de agua suministrados a los cultivos.

Las condiciones cambiaron para los eventos del semestre 2, en donde se obtuvieron módulos de consumo hídricos promedios de 0,440 l/s/ha y 0,823 l/s/ha con una inferioridad mínima a comparación de los del semestre 1. Sin embargo, el promedio del requerimiento de riego fue de 17,4 mm/dec, indicando que para el periodo comprendido entre septiembre y diciembre las precipitaciones no satisfacen las necesidades hídricas de los cultivos por lo que se deberá emplear un caudal de riego.

Tabla 7. Cálculo de los módulos de consumo hídricos para el semestre 1 y 2, en eventos normales y críticos de riego.

			Panorama Semestre 1 (Mar - Jun)					***Panorama Semestre 2 (Sep - Dic)***				
Municipio	**Eto (mm/día)**	**Kc prom**	**Etc (mm/dec)**	**Prec. Efec (mm/dec)**	**Req.Riego (mm/dec)**	**Módulo 1 (l/s/ha)**	**Módulo 2 (l/s/ha)**	**Etc (mm/dec)**	**Prec. Efec (mm/dec)**	**Req.Riego (mm/dec)**	**Módulo 1 (l/s/ha)**	**Módulo 2 (l/s/ha)**
Alvarado			320,1	442	0	0,452	0,855	322,4	406,8	17,4	0,440	0,828
Ataco			320,1	442	0	0,452	0,855	322,4	406,8	17,4	0,440	0,828
Armero Guayabal			320,1	442	0	0,401	0,701	322,4	406,8	17,4	0,412	0,720
Carmen de Apicalá			320,1	442	0	0,452	0,855	322,4	406,8	17,4	0,440	0,828
Chaparral			320,1	442	0	0,452	0,855	322,4	406,8	17,4	0,440	0,828
Dolores	3,67	0,765	320,1	442	0	0,449	0,833	322,4	406,8	17,4	0,449	0,829
Espinal			320,1	442	0	0,451	0,871	322,4	406,8	17,4	0,450	0,864
Guamo			320,1	442	0	0,451	0,871	322,4	406,8	17,4	0,450	0,864
Honda			320,1	442	0	0,401	0,701	322,4	406,8	17,4	0,412	0,720
Ibagué			320,1	442	0	0,452	0,855	322,4	406,8	17,4	0,440	0,828
Natagaima			320,1	442	0	0,449	0,833	322,4	406,8	17,4	0,449	0,829

Municipio	Eto (mm/día)	Kc prom	*Panorama Semestre 1 (Mar - Jun)*					*Panorama Semestre 2 (Sep - Dic)*				
			Etc (mm/dec)	Prec. Efec (mm/dec)	Req.Riego (mm/dec)	Módulo 1 (l/s/ha)	Módulo 2 (l/s/ha)	Etc (mm/dec)	Prec. Efec (mm/dec)	Req.Riego (mm/dec)	Módulo 1 (l/s/ha)	Módulo 2 (l/s/ha)
Mariquita			320,1	442	0	0,401	0,701	322,4	406,8	17,4	0,412	0,720
Melgar			320,1	442	0	0,452	0,855	322,4	406,8	17,4	0,440	0,828
Ortega			320,1	442	0	0,452	0,855	322,4	406,8	17,4	0,440	0,828
Piedras			320,1	442	0	0,452	0,855	322,4	406,8	17,4	0,440	0,828
Prado			320,1	442	0	0,451	0,871	322,4	406,8	17,4	0,450	0,864
Purificación			320,1	442	0	0,451	0,871	322,4	406,8	17,4	0,450	0,864
Saldaña			320,1	442	0	0,452	0,855	322,4	406,8	17,4	0,440	0,828
San Luis			320,1	442	0	0,451	0,871	322,4	406,8	17,4	0,450	0,864
Suarez			320,1	442	0	0,451	0,871	322,4	406,8	17,4	0,450	0,864
Valle del San Juan			320,1	442	0	0,452	0,855	322,4	406,8	17,4	0,440	0,828

Con los resultados obtenidos el panorama para el departamento del Tolima indica que, con las condiciones climatológicas, las propiedades físicas de los suelos y considerando eventos críticos donde se presente eventos climáticos extremos, el módulo de consumo hídrico para cultivo de arroz no excede litro por segundo por hectárea, siendo un valor razonable.

Se presenta la dificultad de realizar una comparativa de los valores cuantificados respecto a valores que estén establecidos por la Corporación, al carecer de una estipulación por parte de la entidad. Aun así, en términos de sostenibilidad y gestión integral del recurso hídrico, las condiciones climatológicas a nivel departamental año tras año están presentando variaciones, específicamente en la disminución de precipitaciones y el aumento de temperaturas que han desatado eventualidades de escasez y riesgo en la disponibilidad del recurso, como también las condiciones iniciales de la capacidad de caudal de las fuentes hídricas, que en su mayoría se encuentran en su máxima oferta.

Proyección ambiental

El análisis de la huella hídrica verde y azul de los módulos de consumo agrícolas para cultivos de arroz en el departamento del Tolima, se realizó para el total de 21 municipios con aptitudes altas y medias de cultivo. La recolección de información de las variables hidroclimatológicas se obtuvieron de la estación ESPINAL con la cual se llevó a cabo el procedimiento matemático en el software CropWat, el cual fue alimentado de información secundaria y consideraciones técnicas.

El resultado de valores como rendimiento del cultivo, precipitación efectiva y requerimiento de riego fueron determinantes para la cuantificación de las huellas hídricas.

La proyección económica se determinó a partir de la sumatoria de la huella verde y azul, aplicando las ecuaciones plateadas por Hoekstra et ál (2011, pág. 67):

$$Proy.Economica = HH\ verde\ +\ HH\ azul$$

$$HH\ verde: \frac{UAC\ verde}{rendimiento\ (Y)}\ \ ({}^{m^3}/_{Ton})$$

$$HH\ azul: \frac{UAC\ azul}{rendimiento\ (Y)}\ \ ({}^{m^3}/_{Ton})$$

Donde, el consumo de agua verde (UAC verde) corresponde al agua proveniente de las precipitaciones, durante todo el periodo de crecimiento del cultivo y el consumo de agua azul (UAC azul) corresponde a los requerimientos de riego (Ramírez et al., 2021).

En la cuantificación de la proyección ambiental, se obtuvo un valor único a nivel departamental discriminado por los municipios en el que se centra el estudio como se muestra en la tabla 6. Para este caso, se optó por cuantificar las huellas hídricas partiendo de las condiciones más críticas según los resultados en el cálculo de los módulos de consumo hídrico.

Tabla 8. Cuantificación de la proyección ambiental por medio del cálculo de la Huella Hídrica del cultivo de arroz en el departamento del Tolima.

Municipio	Rendimiento (Ton/ha)	Precp. Efectica (mm)	Requerimiento de Riego (mm)	Etc_{verde} (mm)	Etc_{azul} (mm)	Huella verde (m^3/Ton)	Huella azul (m^3/Ton)
Alvarado	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Ataco	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Armero Guayabal	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Carmen de Apicalá	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Chaparral	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Dolores	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Espinal	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Guamo	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Honda	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Ibagué	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Natagaima	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Mariquita	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30

Municipio	Rendimiento (Ton/ha)	Precp. Efectica (mm)	Requerimiento de Riego (mm)	Etc_{verde} (mm)	Etc_{azul} (mm)	Huella verde (m^3/Ton)	Huella azul (m^3/Ton)
Melgar	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Ortega	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Piedras	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Prado	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Purificación	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Saldaña	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
San Luis	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Suarez	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Valle del San Juan	5,8	406,8	17,4	406,8	17,4	701,37931	30
Total						14728.96	630.0

Como valor totalizado, por año se cuantificó a nivel departamental un total de 15.359 (m^3/Ton) correspondiente al consumo directo de recurso hídrico y al consumo de agua provenientes de las precipitaciones y evapotranspiración en las condiciones climatológicas y técnicas inicialmente determinadas.

Aunque no se pudo realizar una comparación directa a nivel departamental con resultados recientes de fuentes secundarias oficiales, se vuelve un foco de interés investigativo cuantificar indicadores socioambientales como la huella hídrica en actividades económicas que generan un gran impacto en el uso de recursos naturales.

Según la WWF (2012) para el año 2008, la distribución porcentual de la Huella Hídrica verde producto del cultivo de arroz representa a nivel nacional el 88% lo que equivale a 34.244 Mm^3/año con un aporte del departamento de aproximadamente 2.000 Mm^3/año, la cuantificación de la Huella Verde realizada en el estudio, arrojó una equivalencia de 1.473 Mm^3/año, representando un 74% del valor aportado en las estadísticas.

En lo que respecta a la distribución porcentual de la Huella Hídrica azul, esta acapara el 7% con una cuantificación de 2.804 Mm^3/año con un aporte del departamento de aproximadamente 900 Mm^3/año. Los resultados en la investigación arrojaron un valor de 630 Mm^3/año, lo que equivale a un 70 %.

Es importante realizar un análisis porcentual de la inferencia en los valores obtenidos con respecto a valores actuales. Sin embargo, se determinó que el cálculo de los módulos de consumo conserva una relación directa en la disminución de los valores de la Huella Hídrica,

específicamente con valores como el requerimiento de riego. Al tener un valor más ajustado a la realdad del territorio en términos hidroclimáticos y geomorfológicos, se puede llegar a disminuir.

10. Conclusiones y recomendaciones

Conforme con los resultados obtenidos en el proceso de determinación de la línea base de demanda y disponibilidad del recurso hídrico en el departamento del Tolima, se determinó que la zona hídrica del Alto Magdalena está propensa a presentar significativas afectaciones en términos de riesgo de disponibilidad del recurso hídrico por las concentraciones de volúmenes de caudales otorgados por parte de la Corporación, aunado a las susceptibilidades de los aumentos de temperaturas y disminución de precipitaciones que, guardando un común denominador, éstas afectaciones se presentarían dentro de una franja lineal que se conformaría por los municipios de Ataco, Natagaima, Purificación, Saldaña, Ibagué, San Luis, Guamo, Espinal, Valle del San Juan, Piedras, Melgar, Carmen de Apicalá y Alvarado, los cuales son municipios que presentan áreas potenciales para el establecimiento y desarrollo del cultivo comercial de arroz y fuentes hídricas en estado de entrega máxima de oferta hídrica.

Las determinaciones técnicas por parte de la Corporación, tendrán que estar enfocadas en las áreas con mayores susceptibilidades con el fin de preservar y conservar la disponibilidad del recurso hídrico. Es por ello, que el estudio realizado se vuelve de gran relevancia para las futuras decisiones y planificaciones que conlleven a mitigar eventualidades de escasez del recurso hídrico en el departamento del Tolima.

Durante el proceso de la investigación se presentaron dificultades principalmente en la obtención de información secundaria actualizada de factores climatológicos y de suelo. Por lo que para determinaciones futuras de los módulos de consumo hídricos se recomienda precisar en este tipo variables, toda vez que las condiciones climatológicas han venido sufriendo alteraciones años tras años a raíz del cambio climático.

La implementación de softwares como CropWat se convierten en herramientas que disminuyen el grado de incertidumbre en el cálculo de los módulos de consumo. No obstante, este tipo de herramientas deben ser trabajadas de forma estructurada con información secundaria actualizada del territorio como factores climatológicos y de suelo. De Igual manera, es factible la implementación del CropWat en la etapa de evaluación de otorgamientos de concesiones de aguas, con lo que estaría contribuyendo a establecer criterios unificados y equitativos en los caudales a otorgar.

En lo que respecta al cálculo de los módulos de consumo hídrico para el sector agrícola de actividades referentes al cultivo de arroz, se cuantificó un valor de 0,823 l/s/ha asumido bajo

condiciones críticas de eventos provenientes del cambio climático. Así mismo, se determinó una relación directa en los valores anuales de la Huella Hídrica que pueden llegar aportar un ajuste a nivel departamental en la cuantificación de este indicador socioambiental.

Concluyendo así, que la definición de los módulos de consumo hídricos, generaría un factor primordial para la administración y gestión integral del recurso hídrico en el departamento del Tolima, además de ser en un fomento para los instrumentos de planificación del territorio en base al recurso hídrico.

En cuanto a lo normativo, se identificó una brecha a nivel nacional con respecto a la reglamentación de la implementación y estimación de los módulos de consumo. Al presentarse una metodología para definir los módulos de consumo sin un acto administrativo definitivo, se estaría contribuyendo a la indiferencia por parte de Corporaciones que no han elaborado resoluciones, términos de referencia, guías o cálculos de módulos de consumo.

Es así como, la determinación de módulos de consumo hídricos en las diferentes actividades económicas incide de una manera positiva y de gran inferencia en la gestión integral del recurso hídrico, no solo por el aporte significativo en la implementación de instrumentos de planificación, si no por como éstos pueden aplicarse para el ajuste en la redistribución de caudales de fuentes hídricas reglamentadas y otorgamiento de concesiones ajustadas a la realidad y necesidad del territorio, lo que se resume en un ordenamiento del recurso hídrico acorde a la disponibilidad hidrológica.

11. Referencias

Gallopín, G. (2003). *Sostenibilidad y desarrollo Sostenible: un enfoque sistémico.* CEPAL, División de Desarrollo Sostenible y. Santiago de Chile: Naciones Unidas.

Aguado Moralejo, I., Echebarria Miguel, C., & José , B. (2009). *El desarrollo sostenible a lo largo de la historia del pensamiento económico.* Sociedad de Economía Mundial. España: Revista de Economía Mundial.

Al Najar , H. (2011). *The integration of FAO-CropWat Model and GIS Techniques for Estimating Irrigation Water Requirement and Its Application in the Gaza Strip.* Islamic University of Gaza. Israel: Natural Resources. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/263273188

Arteaga Ramírez, R., Ángeles Montiel, V., & Vázquez Peña, M. (2011). *PROGRAMA CROPWAT PARA PLANEACIÓN Y MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO.* Universidad Autónoma Chapingo. México: Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.2 Núm.2.

Arteaga Ramírez, R., Ángeles Montiel, V., & Vázquez Peña, M. (2011). *PROGRAMA CROPWAT PARA PLANEACIÓN Y MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO.* México: Rev. Mex. Cienc. Agríc vol.2 no.2 . Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000200001&lang=es

Carrizosa Umaña, J. (2005). *Desequilibrio Territoriales y Sostenibilidad Local: conceptos, metodologías y realidades* (Primera Edición ed.). Colombia: Universidad Nacional de Colombia Instituto de Estudios Ambientales (IDEA).

Carrizosa, J. (1998). Construcción de la Teoría de la Sostenibilidad. En L. J. Garay, J. Carrizosa, & C. Brigard , *Misión Rural: Transición, Convivencia y Sostenibilidad.* Colombia: IICA.

CEPAL. (2015). *La incertidumbre de los recursos hídricos y sus riesgos frente al cambio climático: Herramientas para los tomadores de decisiones de los sectores público y privado.* Santiago de Chile .

Chavarro Velandia, A. (2011). Claves de una gestión pública del recurso hídrico: Una revisión de bibliografía. *Revista Gestión y Ambiente*, 16.

Cleves, J. A., Toro, J., & Martínez, L. F. (2016). *Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica.* Colombia: REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS - Vol. 10 - No. 1.

Congreso de Colombia. (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.* Ley, Departamento Administrativo de la Función Pública, Colombia.

Congreso de Colombia. (1997). *LEY 373 DE 1997 - Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.* Ley, Colombia.

CONPES. (2018). *CONPES 3934.* Informe, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, Colombia.

Coporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare - CORNARE. (18 de 9 de 2023). Resolución 3391 . *POR LA CUAL SE ACTUALIZAN LOS MÓDULOS DE CONSUMOS DE AGUA Y LOS LINEAMIENTOS PARA LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN A IMPLEMENTAR POR PARTE DE LOS USUARIOS DEL RECURSO HÍDRICO, PARA EFECTOS DEL CUMPLIMIENTO DE LOS PROGRAMAS Y OBJETIVOS DEFINIDOS POR LA LEY 373* .

CORTOLIMA. (2010). *"Por la cual se declara la emergencia ambiental en el Departamento del Tolima por desabastecimiento de agua".* Resolución, Corporación Autónoma Regional del Tolima, Tolima.

D'Urso, G. (2009). *Current Status and Perspectives for the Estimation of Crop Water Requirements from Earth Observation.* Artículo, Università di Napoli "Federico II", Italia, Italia.

de Oliveira, A., Treza, R., Holzapfel, E., Lorite, I., & Paz, P. (2009). *GESTIÓN DEL AGUA DE RIEGO EN AMÉRICA LATINA.* Chile: REVISTA CHILENA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA 6.

Demin, P. E., & Aguilera, J. J. (2012). *Efecto del régimen de riego en el rendimiento de alfalfa para corte en el Valle Central de Catamarca, Argentina.* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria . Argentina: Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias.

FAO. (2006). *Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.* Guía, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación , Roma.

FAO. (s.f.). *www.fao.org.* Obtenido de https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/en/

FEDEARROZ. (2018). *Guía para la fertilización en el cultivo del arroz.*

Gerrero Padilla, A. M. (2017). *Disponibilidad hídrica y predicción del rendimiento de Zea mays L. (Poaceae) "maíz" y Asparagus officinalis L. (Asparagaceae) "espárrago" en el valle Jequetepeque, Perú.* Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo. Perú: ARNALDOA.

Global Water Partnership. (2002). *Una Gobernabilidad Eficaz para el Agua.* GWP, Estocolmo.

Gobierno de Colombia. (2019). *Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022.* Plan de Desarrollo, Departamento Nacional de Planeación, Colombia .

Gómez López, I. (2020). *Desarrollo Sostenible* (Vol. Edición No. 1). España: ELEARNING S.L.

Hachimi, J., Hartí, A., Lhissou, R., Ouzemou, J., Chakouri, M., & Jellouli, A. (2022). *Combination of Sentinel-2 Satellite Images and Meteorological Data for Crop Water Requirements Estimation in Intensive Agriculture.* Agricultura. Suiza: MDPI. Obtenido de https://doi.org/10.3390/agriculture12081168

Haider, S., & Ullah, K. (2019). *Projected crop water requirement over agro-climatically diversified region.* Department of Meteorology, COMSATS University Islamabad, Pakistan. Pakistan: Agricultural and Forest Meteorology. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016819231930440X?via%3Dihub

Henández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Vol. Sexta Edición). México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

Hervás Gámez, C., & Delgado Ramos, F. (2019). *Política de planificación de la gestión de la sequía: de Europa a España.* Granada, España. doi:https://doi.org/10.3390/su11071862

Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard.* Water Footprint Network. Obtenido de https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_Spanish.pdf

IDEAM. (2010). *Índice de Uso del Agua (IUA).*

IDEAM. (2010). *Instituto de Hidrología, Meteología y Estudios Ambientales*. Obtenido de Indicadores Hídricos: http://www.ideam.gov.co/web/agua/ivh#:~:text=El%20Índice%20de%20Vulnerabilidad%20al,Niño)¿%20podría%20generar%20riesgos%20de

IDEAM. (2018). *Estudio Nacional del Agua.* Estudio, Colombia. Recuperado el 29 de 03 de 2023

IDEAM. (s.f.). *www.ideam.gov.co*. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/web/siac/demandaagua

Lankford, B. (2012). *Towards a political ecology of irrigation efficiency and productivity.* Agricultural Water Management. Inglaterra: ELSEVIER. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377412000832

Maya, A. Á. (2003). *La Diosa Némesis: DESARROLLO SOSTENIBLE O CAMBIO CULTURAL* (Vol. II). Cali, Colombia: Corporación Universitaria Autónoma de Occidente.

MinAmbiental. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.*

MinAmbiente. (2010). *Plan Hídrico Nacional.* Plan, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia.

MinAmbiente. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.* Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo. Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo.

MINAMBIENTE. (2015). *Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.* DECRETO, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Colombia. Recuperado el 28 de Marzo de 2023

MinAmbiente. (2015). *Decreto Único Reglamentario del Sector de Ambiente y Desarrollo Sostenible.* Decreto, República de Colombia, Colombia.

MinAmbiente. (2018). *Guía para el uso eficiente y ahorro del Agua "UNA VISIÓN COLECTIVA PARA EL USO SOSTENIBLE Y RESPONSABLE DEL AGUA".* Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia: Grupo Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental.

MinAmbiente. (2019). *METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE MÓDULOS DE CONSUMO DEL AGUA.* MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Colombia: DIRECCIÓN DE GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO.

MINAMBIENTE. (2022). *MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE*. Obtenido de Uso Eficiente y Ahorro del Agua: https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/uso-eficiente-y-ahorro-del-agua/

Minambiente. (s.f.). *www.minambiente.gov.co*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/

Morote , Á., Olcina, J., & Hernández, M. (2020). *Gestión de las sequías en la planificación hidrológica. Aplicación al sureste español.* Revista de Geografía Norte Grande. doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022020000200303

Nieto, C., Pazmiño, E., Rosero , S., & Quishpe, B. (2018). *Estudio del aprovechamiento de agua de riego disponible por unidad de producción agropecuaria, con base en el requerimiento hídrico de cultivos y el área regada, en dos localidades de la Sierra ecuatoriana.* Universidad Central del Ecuado. Ecuador: Siembra, vol. 5, núm. 1. Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=653868369005

ONU. (1992). *Agenda 21. United Nations Conference on Environment & Development Rio de Janerio, Brazil.*

Pereira, L. (2021). *Updates and advances to the FAO56 crop water requirements method.* Portugal: ELSEIVER.

Pereira, L., & Cordery, I. (2009). *Hacer Frente a la escasez de agua.*

Pereira, L., Cordery, I., & Lacovides, L. (2002). *Coping with water scarcity.* Documentos Técnicos en Hidrologí, UNESCO, Paris . Recuperado el 2023

Pereira, L., Cordery, I., & Lacovides, L. (2002). *Coping with water scarcity.* Documentos Técnicos en Hidrología No. 58, UNESCO, París.

Pereira, L., Paredes, P., & Jovanovic, N. (2020). *Soil water balance models for determining crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO56 method and the dual Kc approach.* Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa. Portugal: Agricultural Water Management. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377420303930?via%3Dihub

Pinzón Albarracín, S. (2016). *DETERMINACIÓN DE LOS MÓDULOS DE CONSUMO DEL RECURSO HÍDRICO EN EL SECTOR AGRÍCOLA, Y VALIDACIÓN MEDIANTE EL SOFTWARE CROPWAT, PARA LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.* Tesis, Colombia.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio ambiente - ONU. (2018). *Progreso sobre GEstión Integrada de Recursos Hídricos* .

Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua.* París .

Ramírez, L. F., Becerra, D., & Mora, C. H. (2021). *Huella hídrica verde y azul de la producción de caña de azúcar orgánica en la zona centro del Valle del Cauca.*

REPUBLICA DE COLOMBIA. (1974). *DECRETO 2811 DEL 18 DE DICIEMBRE DE 1974 - Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección.* DECRETO, Colombia. Recuperado el 29 de 03 de 2023

Tascón J., E., & Garcfa D, E. (1985). *Referencia de los cursos de Capacitación sobre Arroz dictados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical.*

Toro Trujillo, A. M., Artega Ramírez , R., Vázquez Peña, M., & Ibáñez Castillo, L. (2016). Requerimientos de riego y predicción del rendimiento en el cultivo de banano mediante un modelo de simulación en el Urabá antioqueño, Colombia. *Requerimientos de riego y predicción del rendimiento en el cultivo de banano mediante un modelo de simulación en el Urabá antioqueño, Colombia*.

Tribunal Internacional de Justicia . (2000). *IV Conferencia de las partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.*

UNDP. (1997). *Reconceptualising Governance* . Management Development and Governance Division, Bureau for Policy and Programme Support, New York.

UNESCO. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021 "EL VALOR DEL AGUA".* Informe Mundial, París.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA. (17 de 2 de 2020). *UPRA Catalogo Metadatos* . Obtenido de Zonificación de aptitud para el cultivo de arroz (Oryza Sativa L.) Secano mecanizado en Colombia : https://catalogometadatos.upra.gov.co/uprageonet/srv/spa/catalog.search#/metadata/0ddcfdde-4829-47b2-98d4-0157281c3c69

Valencia Gonzalez, J. N. (2020). Balance hídrico para la planeación abrícola del arroz en el Valle del Cauca, Colombia. *Balance hídrico para la planeación abrícola del arroz en el Valle del Cauca, Colombia*, 147.

World Commission on Environment and Development. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development.* Informe Mundial, ONU, New York.

World Wildlife Fund . (2012). *Una mirada a la agricultura en Colombia desde su Huella Hídrica.*