

*Artículo de Investigación*

# Propuesta para sostenibilidad del servicio ecosistémico hídrico en sistemas productivos del grupo asociativo ASOENSAY

## Proposal for sustainability of the water ecosystem service in productive systems of the associative group ASOENSAY

Johanna Giraldo Brito

Administradora Ambiental, Universidad Tecnológica de Pereira

[johis50@gmail.com](mailto:johis50@gmail.com)

Fecha de recibo: 10 de diciembre 2019

Fecha de revisión: 17 de diciembre de 2019

Fecha de aprobación: 22 de febrero de 2020

DOI 10.25054/22161325.2246

### Resumen

En las zonas rurales la oferta de agua proviene de los servicios ecosistémicos que permiten la distribución del recurso en actividades agrícolas, pecuarias y domésticas, las cuales generan alteraciones en su calidad y disponibilidad a largo plazo. Deterioro que algunos estudios fundamentan provienen principalmente de la cadena productiva del sector agrícola; este contexto conllevó a estructurar un modelo que coadyuve en la sostenibilidad del servicio ecosistémico hídrico. Para este proceso, se caracterizaron las fuentes abastecedoras de las fincas que conforman el grupo asociativo ASOENSAY en la vereda San Isidro a través de un muestreo físico-químico y microbiológico, aunado con una encuesta estructurada que permitió la recolección de información concerniente con usos del agua y prácticas que los productores consideraron viables a implementar según su dinámica socio-económica y productiva.

Los resultados establecieron en términos de índices de calidad que el agua es buena y, a nivel de contaminación las cualificaciones oscilaron entre baja y muy baja, lo que fundamentó que la disponibilidad del servicio ecosistémico hídrico y el beneficio que los productores obtienen al aprovechar características de calidad y cantidad para suplir actividades propias del entorno rural, corresponda con una propuesta de sostenibilidad hídrica que evidenció los usos del agua como una variable que condicionó la oferta del recurso; frente a esto, en el modelo establecido se determinaron un conjunto de medidas de manejo que permitieron equilibrar la relación oferta-demanda. Concluyendo que el agua a la cual se accede presenta características favorables que permiten dinamizar las actividades productivas, razón por la que los productores deben facilitar la implementación de prácticas preventivas, de mitigación y compensación que permitan garantizar la disponibilidad del servicio ecosistémico hídrico para generaciones futuras.

**Palabras clave:** disponibilidad hídrica; usos del agua; medidas de manejo

### Abstract

In rural areas, the supply of water comes from ecosystem services that allow the distribution of this resource in agricultural, livestock and household activities. This generates alterations in the water's quality and long-term availability. Some studies suggest this deterioration comes mainly from the productive chain of the agricultural sector. This scenario led to the structuring of a model that contributed to the sustainability of the water ecosystem service.

To do so, the sources supplying the farms of the associative group ASOENSAY in San Isidro village were characterized through a physical-chemical and microbiological sampling. Additionally, a structured survey was conducted, which allowed the collection of information concerning water uses and practices that producers considered viable to implement according to their socio-economic and productive dynamics.

The results established that the water is good in terms of quality indices, whereas the qualifications ranged from low to very low at the level of pollution. As a result, the availability of the water ecosystem service and the benefit that producers obtain by taking advantage of quality and quantity to supply activities of the rural environment should correspond to a water sustainability proposal that evidenced the uses of water as a variable that conditioned the supply of the resource. Therefore, a set of management measures were determined allowing the balance of the supply-demand relationship in the established model. It was concluded that the water accessed has favorable characteristics that make it possible to boost productive activities. This is why producers must facilitate the implementation of preventive, mitigation and compensation practices that guarantee the availability of the water ecosystem service for future generations.

**Keywords:** water availability; water uses; management measures

## 1. Introducción

Se le conoce al servicio ecosistémico hídrico como el beneficio que el ecosistema de la cuenca hidrográfica proporciona a los usuarios del agua en términos de suministro de agua dulce, flujo de agua en época seca, régimen de caudales para mantener los hábitats silvestres y recreación acuática (CIAT y CGIAR-WLE, 2015). Este servicio es aprovechado en el área rural y, específicamente en el sector agropecuario en actividades que son amplias y dinámicas como la producción cafetera, dado que estas zonas proveen condiciones favorables para que el sostenimiento de la demanda del sector primario de la economía sea apropiado según los crecientes escenarios demográficos. Este contexto, aunado con la disponibilidad de agua ha privilegiado el desarrollo de procesos productivos desde fases iniciales hasta la obtención del bien sea éste agrícola o pecuario.

La relación entre el servicio ecosistémico hídrico y los escenarios de utilización de este recurso, se manifiesta en el valor que representa la disponibilidad de agua para llevar a cabo prácticas agropecuarias que generan bienestar para las comunidades. Esta relación de uso enmarcada en las intervenciones que los grupos sociales realizan en el ecosistema para obtener elementos o servicios como es el caso de abastecimiento de agua, genera disturbios en este recurso que termina limitando la capacidad propia del ecosistema para regenerarse y garantizar las interacciones hombre-naturaleza que soportan la vida sobre la tierra. A nivel rural, se ha identificado que la afectación al servicio ecosistémico hídrico proviene de las actividades productivas del hombre como es la agricultura (IDEAM-, *et al.*, 2016).

El análisis del contexto agropecuario y el servicio ecosistémico hídrico es complejo e involucra interpretar la perspectiva del productor en términos del beneficio económico que obtiene por la producción, el uso de los servicios que brinda el ecosistema en especial el agua, la responsabilidad en la conservación de los ecosistemas y todo un conjunto de situaciones que confrontan a las comunidades rurales hacia la necesidad de satisfacer sus necesidades de alimento, vivienda, entre otras y la urgente importancia de tomar acciones en pro de controlar la evidente escasez de recursos como el agua, que pone en riesgo la dinámica productiva de la cual los mismos productores son dependientes.

La dinámica del servicio ecosistémico hídrico es un escenario que a nivel de la ruralidad puede no ser desconocido, ya que la disponibilidad de agua para el productor es una situación que constantemente se afronta ante el contexto real de sistemas agropecuarios que demandan de este recurso para su funcionalidad, en este sentido se ha identificado que en muchas partes del mundo, la intensificación de la agricultura ya ha resultado en pérdidas de biodiversidad que amenazan la prestación de los servicios de los ecosistemas (Landis, 2017). Dado que el interés del productor puede centrarse en escalar altos niveles de producción, las condiciones propias de las áreas rurales ponen límites al acelerado sistema agropecuario, en la medida que la producción primaria genera deterioro paulatino al servicio ecosistémico hídrico, esta degradación es el resultado de la intervención que el productor realiza sobre las fuentes de agua

enmarcada en el aprovechamiento de características afines con cantidad y calidad del recurso utilizado en las actividades intrínsecas de los contextos rurales.

Los productores colombianos identifican la provisión de agua como el servicio ecosistémico más importante para el manejo de los cultivos (Andrade, *et al.*, 2017). Debido al hecho que, los procesos productivos son necesarios para mantener la dinámica del renglón primario de la economía nacional; pero el mantener la productividad agropecuaria implica el deterioro del agua por la demanda creciente en cantidad y calidad de los sistemas descritos.

Con base en lo indicado, es relevante priorizar la sostenibilidad del agua, ya que la oferta de este recurso es limitada por los efectos de las actividades socio-económicas sobre los elementos del ambiente en el tiempo. A nivel nacional se muestra a manera de diagnósticos no sólo la degradación paulatina de la cual es objeto el recurso hídrico, sino la necesidad de implementar acciones que contrarresten los efectos que ya son visibles en los mismos entornos habitados por las comunidades. Todo esto demuestra que en el marco del suministro de agua se erigen las actividades que estructuran la producción y por ende el contexto económico sobre el cual las poblaciones rurales dinamizan sus entornos; como colectividad del escenario rural el grupo asociativo ASOENSAY conformado por fincas que se localizan en la vereda San Isidro del Municipio de Campoalegre-Huila ha privilegiado su variable productiva y el medio ecosistémico con el que se interactúa, identificando prioritariamente la oferta hídrica para desarrollar las actividades productivas.

El Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2018) refiere que en el Huila los servicios ecosistémicos realizan un gran aporte hídrico que soporta los procesos productivos, permitiendo que los productores asuman la disponibilidad de agua como un escenario ilimitado dado que la naturaleza lo brinda sin restricción alguna. Esta perspectiva, ha provocado un uso sin control donde los frecuentes requerimientos de agua incrementan la probabilidad desfavorable asociada a la disminución de la cantidad y calidad del recurso, que además conlleva a efectos negativos en la interacción de los componentes bióticos y abióticos que hacen sostenible el servicio ecosistémico hídrico en el contexto rural.

De esta forma, desde el grupo asociativo se reconoce que las actividades agropecuarias ponen en riesgo el servicio ecosistémico hídrico y, por lo tanto, es necesario tomar acciones que aporten al sostenimiento del recurso desde el rol que tienen los actores involucrados en el uso del agua, en este proceso es relevante tener en cuenta que las medidas de manejo además de estar encaminadas a garantizar la provisión del servicio, buscan lograr un uso racional del recurso (Martínez y Flores, 2015). En este sentido, el objetivo de este trabajo fue proponer un esquema a partir de un diagnóstico hídrico en el cual los productores prioricen las acciones que permitan mantener el servicio ecosistémico hídrico para la utilización en los procesos productivos de las fincas.

Acciones tipo preventivas, mitigación, corrección y/o compensación enfocadas en los componentes bióticos y/o abióticos que se afectan por el aprovechamiento que el ser humano realiza del ecosistema en pro de la satisfacción de necesidades básicas como es el consumo humano, son indispensables ya que la constante intervención del factor antrópico en los ecosistemas, ha hecho vulnerable la capacidad del mismo para mantener en el tiempo la disponibilidad de bienes y servicios que regulan las condiciones ambientales del entorno como el clima y, aprovisionan a la sociedad de recursos necesarios para la vida como el agua.

## **2. Materiales y métodos**

La investigación se realizó en las 22 fincas que conforman el grupo asociativo ASOENSAY. La selección del área de estudio se realizó teniendo en cuenta que en estos sitios las actividades se enfocan en la producción agropecuaria seguido por la doméstica, lo cual referenció los requerimientos de agua para el mantenimiento de los sistemas productivos y el uso directo en acciones propias de los predios. En la tabla 1 se muestran los puntos de abastecimiento de agua en la vereda San Isidro con la respectiva finca.

**Tabla 1.** Distribución de abastecimiento de agua por finca

<u>Punto de Abastecimiento</u>	<u>Finca</u>
PM1	P13
PM2	P14-P16
PM3	P15
PM4	P13-P17
PM5	P1
PM6	P22
PM7	P5-P21
PM8	P14-P19-P20
PM9	P4-P7-P18
PM10	P3-P6
PM11	P2-P8-P9-P10-P11-P12
PM12	P22

La investigación llevó a cabo un diagnóstico hídrico y productivo, para el cual se aplicó un muestreo físico-químico y microbiológico de agua de los puntos que abastecen las fincas que incluyó la medición in-situ de caudal, este procedimiento correspondió con un ejercicio de campo para toma de datos que permitieron estructurar índices de calidad y de contaminación del agua. Así mismo, se utilizó un instrumento de recolección de información tipo encuesta que permitió estructurar los usos del servicio ecosistémico hídrico en el área de estudio.

A partir de este proceso, se obtuvieron datos cuantitativos asociados a oferta del recurso y consumo, cualitativos como disponibilidad de fuentes hídricas, análisis de la comunidad y propuesta para conservación de agua; la información de la caracterización de agua se empleó para determinar índices de calidad y de contaminación. A raíz de este proceso se identificaron las variables involucradas en la oferta y demanda del servicio ecosistémico hídrico, teniendo en cuenta los escenarios que son comunes a la vereda como son sistemas productivos y prácticas domésticas, que se realizan gracias a la disponibilidad de agua bajo características de cantidad y calidad.

En la determinación de la propuesta de sostenibilidad de agua las acciones comunitarias e institucionales son las que permiten la conformación de escenarios que favorezcan la disponibilidad de agua en el tiempo, por lo tanto, se tuvo en cuenta que los grupos sociales intervienen en la ejecución de actividades en doble sentido: por un lado, puede producirse la inversión que las personas realizan en su comunidad para satisfacer necesidades individuales y, por otro lado, el trabajo conjunto de sus integrantes que resulta en beneficios colectivos para la propia comunidad (Ramos, *et al.*, 2014).

Con base en lo indicado, la propuesta se abordó bajo una estructura de oferta y demanda hídrica, teniendo como referente que el tamaño de la propiedad, la caracterización hídrica de los puntos de abastecimiento y los sistemas productivos que modelan la percepción de quienes usan el agua frente a las medidas de manejo que deben adoptarse para lograr un equilibrio entre oferta y demanda bajo un esquema de conservación del recurso hídrico.

Para la estructuración del modelo de sostenibilidad hídrica se tuvo en cuenta lo planteado por Larrain y Sachs (2002) quienes afirman que el consumo de un período en particular depende de las expectativas de ingreso por toda la vida y no del ingreso del periodo actual. Para el contexto del servicio ecosistémico hídrico la disponibilidad de agua que los productores utilizan en la actualidad, es el resultado de las prácticas de conservación que se han llevado a través de largos períodos de tiempo que conforman los denominados ciclos de vida. En este sentido, se referenció en la ecuación 1 el modelo de ciclo de vida desarrollado por Franco Modigliani en 1988 que esboza la incidencia de las etapas de la vida en los comportamientos de las personas para mantener niveles de consumo, el modelo se plantea en la siguiente regresión:

Modelo de ciclo de vida

Ecuación 1.

$$C=c_1Yd + k_1W$$

Las variables planteadas relacionan la incidencia que tiene una acción sobre otra, condicionada por las etapas que agrupa un ciclo de vida y que generaran consecuencias en el tiempo. Bajo esta premisa, en el modelo se tuvo en cuenta que el consumo o uso del agua es una práctica constante y creciente, que se requiere mantener para dinamizar en este caso de estudio los sistemas productivos. Con base en lo indicado, se identificaron el conjunto de variables que tienen relación con la oferta y demanda de agua, siendo fundamental establecer acciones de manejo que se conviertan en el ahorro del sistema hídrico que en el largo plazo reflejarán el ingreso que se tiene, es decir la disponibilidad de uso del recurso para las generaciones futuras.

De esta manera, para diseñar la propuesta de sostenibilidad de agua se tuvo en cuenta la información asociada con disponibilidad hídrica y demanda del recurso, a partir de la cual se identificaron las acciones propuestas por la población objetivo como elementos fundamentales para garantizar posibilidades de uso del agua a generaciones futuras.

En este contexto, las prácticas determinadas por los productores a través del instrumento de recolección de información utilizado, fueron involucradas en la propuesta como medidas de manejo en términos de prevención, mitigación y compensación para equilibrar los escenarios de oferta y demanda.

### 3. Resultados y discusión

El diagnóstico mostró que los predios involucrados en el grupo asociativo ASOENSAY y su dinámica productiva son dependientes de la disponibilidad hídrica para llevar a cabo las prácticas tanto agropecuarias como domiciliarias. Ya que las 22 fincas que hacen parte del grupo evidenciaron la utilización del agua en un contexto de cantidad y calidad que convierte al servicio ecosistémico en la base que sostiene los procesos productivos dinamizados por los productores que integran la población objetivo.

En el área de estudio se registraron 12 fuentes hídricas tipo arroyo que abastecen las 22 fincas y, esta provisión incluye actividades domésticas del grupo familiar y requerimientos en los sistemas productivos. En la figura 1 los requerimientos de agua se mostraron en una escala descendente que correspondió al orden de los usos indicados, en el 86% de las fincas los mayores consumos de agua (90 l/d) fueron referentes al consumo agrícola y el pecuario en el 18% (P3-P14-P17-P20) tuvo un comportamiento igual a la variable mencionada.

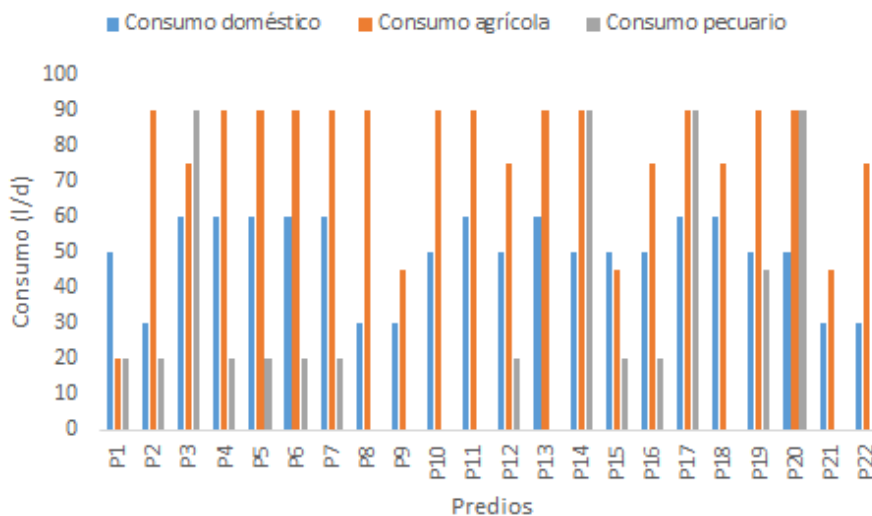
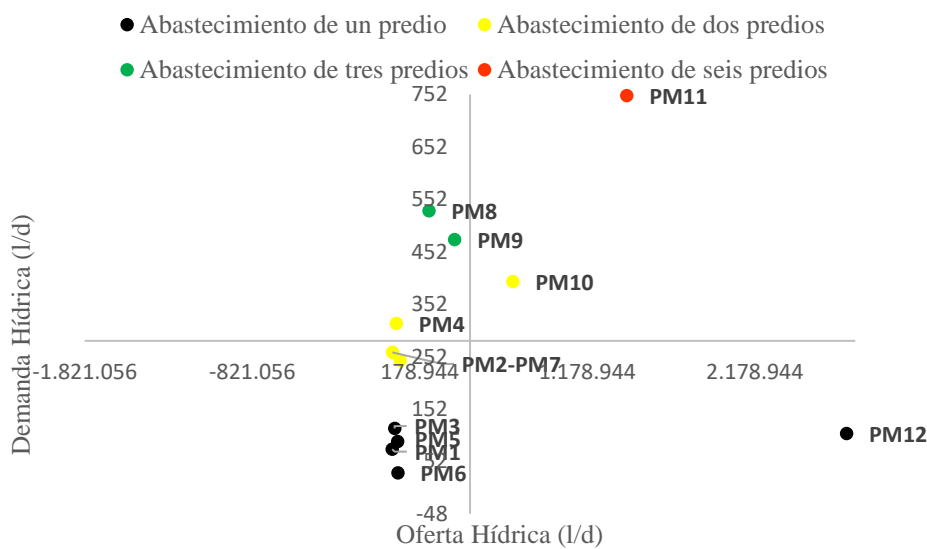


Figura 1. Registros demanda de agua

Frente a lo determinado en la figura 1, la Agencia para el Desarrollo Internacional –USAID- (2016) refiere que en las zonas rurales colombianas el agua suele ser empleada para diversos usos, entre los que se cuentan el consumo humano-doméstico, los usos agrícolas-pecuarios y, es el sector agrícola el principal usuario del agua dulce, donde aproximadamente el 70% de los suministros hídricos son demandados por este sector. De esta forma, el contexto real del área de estudio sitúa la producción agrícola como el uso que mayoritariamente impacta el servicio ecosistémico hídrico, evidenciándose tendencia creciente de los sistemas productivos que pone en riesgo la disponibilidad de agua en el largo plazo, lo que fundamenta la necesidad de prácticas de conservación hídrica.

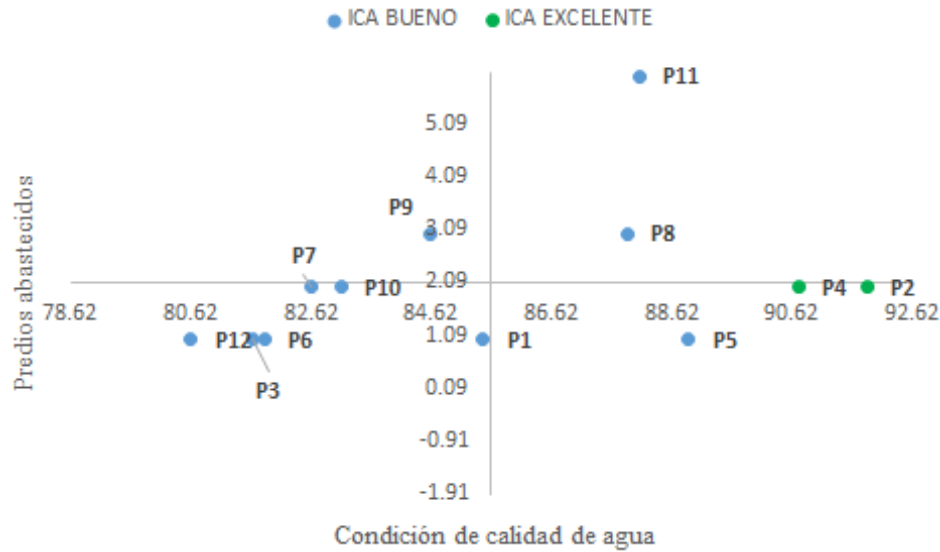
En términos de la caracterización hídrica en los 12 puntos (PM) se registraron los caudales que son utilizados para el abastecimiento de agua en las fincas, la figura 2 mostró que el 42% (PM1-PM3-PM5-PM6-PM12) son sitios que suplen un predio respectivamente y, que frente a los volúmenes de agua correspondiente con caudal se destacaron PM5-PM6 como puntos con oferta hídrica que estuvieron alrededor del promedio (748.944 l/d), mientras que PM1-PM3-PM12 presentaron resultados distantes del valor indicado y, específicamente en PM12 se encontró la disponibilidad de agua más alta.



**Figura 2.** Oferta y demanda hídrica

En relación con la oferta y demanda hídrica del área de estudio, la Alcaldía de Campoalegre-Huila (2016) referencia que, en la zona rural del municipio de Campoalegre para el abastecimiento de agua se reconocen treinta fuentes hídricas, las cuales suministran el recurso a un número de viviendas que oscilan entre 12-260, para el caso de la vereda San Isidro se identifica la Quebrada San Isidro que abastece 160 viviendas. De esta forma, se evidencia que desde el contexto institucional se desconocen los puntos hídricos registrados y, que de acuerdo con la importancia que representa el acceso de agua y su distribución en los diferentes usos, es también relevante reconocer la conformación de estos sitios como parte de la red de abastecimiento de la vereda San Isidro.

Los datos colectados del muestreo de agua frente a la calidad de las fuentes hídricas abastecedoras de las fincas, manifestó a través del índice de calidad que ningún punto tiene condición regular con base en el diagnóstico realizado, tal como se muestra en la figura 3, en dos sitios la calidad del agua fue excelente y en los restantes se presentó en el rango del índice para condición bueno (Según los valores de WQI la condición de agua excelente se encuentra en el rango de 91-100 y agua buena en 71-90).

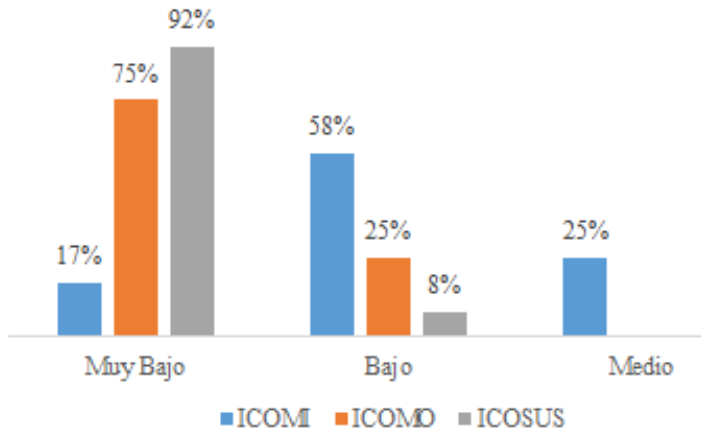


**Figura 3.** ICA en los puntos muestreados

El índice de calidad de agua (ICA) incorpora parámetros físicos, químicos y biológicos para evaluar el estado de un cuerpo de agua y determinar la vulnerabilidad de este frente a amenazas potenciales (Caho y López, 2017). Siendo los resultados del índice favorables frente a las necesidades de uso, es importante para la sostenibilidad del recurso tener en cuenta un contexto de uso racional del agua, ya que en aquellos sitios donde el ICA resultó excelente este beneficio sólo es aprovechado por el 18.18% de las fincas y, que la condición de calidad de agua buena en los demás predios abastece usos que incluyen desde consumo humano hasta prácticas agropecuarias en el 81.2% del área de estudio.

La caracterización de cargas contaminantes se agrupó según lo referenciado por Rodríguez, *et al.*, (2016) que el índice de contaminación por mineralización (ICOMI), índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) e índice de contaminación trófico (ICOTRO) conforman un análisis de los compuestos principales que complementan la calidad del agua. En este proceso todos los datos utilizados correspondieron con información concerniente a variables fisicoquímicas, a excepción del índice ICOMO que involucró el parámetro microbiológico coliformes totales.

Bajo los índices de contaminación, se encontró que en ninguno de los sitios se encontraron valoraciones (Según la escala de clasificación del nivel de contaminación utilizada por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-CVC- los valores de 0.6-0.8 corresponden para alta contaminación y 0.8-1.0 muy alta contaminación) correspondientes con índices altos, evidenciando que los resultados oscilaron entre calificaciones de muy bajo, bajo y medio, tal como se muestra en la figura 4.



**Figura 4.** Resultados índices de contaminación

Para el ICOTRO el 92% de los puntos se identificaron en categoría eutrófica evidenciando que el exceso de contenido de nutrientes presente en el agua, se asoció con el escenario intrínseco de la zona como es la dinámica agrícola por uso de abonos y, con la materia orgánica presente en los efluentes proveniente de las actividades domésticas, tal y como afirma Álvarez (2015) que la categoría eutrófica hace referencia que en la cuenca el suministro de materia orgánica es fundamentalmente autóctono.

Con base en las condiciones identificadas de la oferta hídrica y, siendo fundamental para el área de estudio mantener la dinámica productiva se determinó que dada la demanda que existe por el recurso hídrico por parte de los productores para suplir sus necesidades afines con los usos domiciliarios, agrícolas y pecuarios de las zonas rurales fue necesario estructurar un procedimiento que estuviera orientado al análisis y en la relevancia que representa el tema de sostenibilidad del ecosistema hídrico.

Por tanto, se planteó un modelo que buscó optimizar el uso del servicio ecosistémico hídrico para la población actual y otras generaciones, en el cual se identificó que en el contexto de utilización de agua la relación entre oferta y demanda del recurso regulan su disponibilidad. En esta investigación, se demostró que el requerimiento de agua se focalizó en actividades productivas que son necesarias para mantener la dinámica socio-económica del área de estudio, permitiéndose de esta forma priorizar lo afirmado por Bellaubí (2016) el uso racional del agua en aspectos como el uso humano y el productivo manifiestan el camino hacia la sostenibilidad del recurso hídrico.

En la organización del modelo, se identificaron un conjunto de variables que facilitaron establecer la relación entre generación, mantenimiento del recurso hídrico y los usos que implican un consumo de agua. Con las variables se planteó la dinámica de un ecosistema auto-sostenible como principal fuente de abastecimiento de agua a los productores del grupo asociativo ASOENSAY y, se diseñó la ecuación 2:

Modelo ecosistema hídrico auto-sostenible

Ecuación 2.

$$\sum_{t=0}^{\infty} \sum_{i=1}^n f(C_{it}, F_{it}, G_{it}) = \sum_{t=0}^{\infty} \sum_{j=1}^m g(C_{jt}, F_{jt}, G_{jt}, AA_{jt})$$

Donde,

T: Involucra las generaciones presentes y futuras que intervienen en el ecosistema hídrico

I: Corresponde a las intervenciones o prácticas que se realizan para que la disponibilidad del recurso sea efectiva

J: Corresponde a los actores que intervienen en los diferentes usos del ecosistema hídrico



C: Prácticas de Conservación  
 F: Disponibilidad de Fuentes Hídricas en la Zona  
 G: Gestión Administrativa  
 AA: Actividades Antrópicas

Con referencia en la estructura del modelo, se identificó que existe un desequilibrio dado que el número de parámetros que se encuentran al lado y lado de la ecuación es heterogéneo, evidenciando que el ecosistema siempre estará en desequilibrio, más aún cuando la competencia por los recursos hídricos es aguda debido a las crecientes demandas de agua por parte de los usos agrícolas y domésticos que requieren de volúmenes suficientes del recurso de buena calidad (Ortiz, *et al.*, 2015), lo que pone de manifiesto que los usos tenderán a ser mayores a las prácticas de conservación.

Por tanto, lo que buscó el presente modelo es señalar cuáles son los elementos que pueden hacer que el equilibrio se logre y, garantizar que tanto las generaciones presentes como futuras puedan hacer uso del agua, para lo cual es indispensable que, en términos de la ecuación, la variable  $i$  sea mayor que  $j$ :

$$i > j$$

Además de lo indicado, fue necesario tener en cuenta que la primera parte de la ecuación representó la generación de recurso hídrico y, que en este proceso la protección de las áreas naturales es una condición sine qua non, pues la cualidad y cantidad de las aguas producidas dependen del mantenimiento de la vegetación nativa (Centro de estudios avanzados en niñez y juventud, 2016). De este modo, para la producción de agua se identificaron cada una de las variables que se consideran influyen en la disponibilidad hídrica:

Ct = Prácticas de conservación  
 Ft = Disponibilidad de fuentes hídricas  
 Gt = Gestión Administrativa

La estructura de la oferta hídrica planteada permitiría que la calidad, cantidad y continuidad sean contextos funcionales para la dinámica de uso del agua por parte del grupo asociativo y, de esta manera los cambios que se presenten en las fuentes de agua puedan ser subsanados; más aún cuando los recursos de agua dulce en el entorno rural son extraídos mayoritariamente enfrentando una presión creciente, debido tanto a los impactos humanos como a los cambios climáticos, lo que pone en riesgo la posibilidad de asegurar la sostenibilidad del recurso y por ende de la producción de cultivos de manera favorable (Rossetto, *et al.*, 2019). Por esta razón, en la segunda parte de la ecuación se responde a los requerimientos de uso al incluirse la variable:

AA: Actividades Antrópicas

Esta variable, relacionó todos los procesos de aprovechamiento hídrico realizado por los productores en las diferentes prácticas afines con la dinámica rural, específicamente al tener en cuenta que la demanda del agua está influenciada por factores como consumo agrícola y la conducta de consumo de los habitantes (López, *et al.*, 2016).

Con referencia en lo indicado se planteó la siguiente expresión:

$$AA_t = f(D_t, Ag_t, P_t)$$

De este modo, la actividad antrópica es función del uso domiciliario (D), agrícola (Ag) y pecuario (P), convirtiéndose estas prácticas en escenarios de demanda hídrica que son abastecidos en términos de volumen y cualificaciones físico-químicas y microbiológicas del agua.

Siendo relevante para los productores la disponibilidad de agua que facilite suplir los requerimientos en el área de estudio; la estructura de un ecosistema auto-sostenible se afecta dado que los procesos naturales que regulan caudal, autodepuración y otros procedimientos que se llevan a cabo como resultado de las interacciones entre los factores bióticos y abióticos son susceptibles de alteraciones, provocadas generalmente por prácticas afines con la producción agropecuaria y los asentamientos humanos. La dinámica de los cuerpos de agua, puede corresponder con diversos factores, pero Zeinalzadeh y Rezaei (2017) indican que los recursos hídricos presentan cambios en calidad y cantidad debido al desarrollo de la agricultura alrededor de los ríos, amenazando los ecosistemas acuáticos y las condiciones ambientales río abajo.

Con base en lo referenciado, se ha identificado la importancia de implementar acciones que permitan mantener la oferta hídrica y abastecer la demanda, además que la utilización de agua en actividades como las mencionadas incide en un deterioro del recurso, lo que conllevó a la necesidad de establecer un conjunto de medidas que propendan por realizar un manejo tendiente a su sostenibilidad y; por ende se permita que la variable antrópica pueda coexistir generando los mínimos impactos negativos hacia los servicios ecosistémicos, específicamente el servicio de abastecimiento hídrico.

En este contexto, la ecuación 3 muestra el equilibrio que se logra al incluir las respectivas medidas de manejo:

Modelo equilibrado

Ecuación 3.

$$\sum_{t=0}^{\infty} (P_{it} + M_{it} + C_{it}) = \sum_{t=0}^{\infty} (AA_{jt})$$

Donde,  
 P: Prevención  
 M: Mitigación  
 C: Compensación

Las medidas de manejo, fueron necesarias dado que la dinámica de consumo es variable en cada uno de los predios según el contexto, lo que permitirá que el aprovechamiento de la oferta hídrica pueda realizarse teniendo en cuenta que la implementación de prácticas de prevención, mitigación y/o compensación reflejará condiciones óptimas en términos de cantidad, calidad y continuidad del agua para los predios involucrados en el área de estudio.

Las categorías de prevención, mitigación y compensación se distribuyeron heterogéneamente en cada una de las variables determinadas en la primera parte de la ecuación, debido a que éstas fundamentan la disponibilidad del servicio ecosistémico hídrico. Las prácticas definidas fueron establecidas como acciones complementarias que fortalecen cada variable en pro de la oferta de agua y de la perspectiva de los productores, de esta forma las medidas de manejo se estructuran en función de la generación del recurso:

$$C_t = f(S_t, J_t, SC_t)$$

$$F_t = f(O_t, MC_t, V_t)$$

$$G_t = f(Ac_t, Pt_t, Cf_t)$$

A partir de lo indicado, las prácticas de conservación (C) están en función de siembra de árboles (S), jornadas de capacitación en manejo de agua (J) y sistemas de colecta de agua lluvia (SC), la disponibilidad de fuentes hídricas en la zona (F) de oferta hídrica (O), muestreos de calidad y de contaminación del agua (MC) y veeduría en manejo del agua (V), la gestión administrativa (G) de acueducto comunitario (Ac), plan de trabajo del grupo asociativo (Pt) y comité de cafeteros (Cf).

Aunque las medidas de manejo son importantes desde cualquier dimensión que aporte a un manejo sostenible del

recurso hídrico, es importante tener en cuenta que, la disponibilidad y calidad decreciente del agua aunado con los patrones de producción y consumo insostenibles e inequitativos hacen parte de las presiones interrelacionadas que encara la humanidad por los impactos que ha golpeado todas las dimensiones del agua (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2019). Por esta razón, toda acción impactará en el largo plazo con efectos que no pueden preverse dado que la escala de intervención antrópica es un factor que regula la disponibilidad del recurso.

Sin embargo, para esta investigación desde un contexto local las prácticas descritas buscan que la actual relación de oferta y demanda en el marco del contexto productivo que caracterizó el área de estudio sea sostenible, respondiendo fundamentalmente a la necesidad de garantizar agua para suplir la demanda en términos productivos y domésticos.

#### **4. Conclusiones**

La investigación determinó que en la vereda San Isidro existe una red de afloramientos hídricos que no se registran en el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Campoalegre, y son la fuente de abastecimiento productivo y domiciliario para la población objetivo de este estudio.

La demanda hídrica está representada por actividades domésticas, agrícolas y pecuarias que hacen uso de volúmenes de agua en proporciones variables, destacando que el proceso productivo agrícola fue el que obtuvo cuantitativamente los registros de mayores requerimientos del recurso.

El índice de calidad de agua-ICA- evaluado en todos los sitios muestreados evidenció que el recurso hídrico presento cualificación excelente en los puntos P2-P4 que abastecen el 18% de las fincas.

Los índices de contaminación presentaron cualificaciones que oscilaron entre bajo y muy bajo y el índice asociado con la presencia de fósforo en el agua mostró que, el 92% de los puntos de abastecimiento se encontró en categoría eutrófica indicando que el aporte excesivo de nutrientes en el agua proviene actividades como la agricultura.

El modelo de sostenibilidad del ecosistema hídrico involucro un conjunto de variables que describieron, la oferta como la dinámica para generación de agua y la demanda como las actividades antrópicas del área de estudio; generando una ecuación que demostró la necesidad de involucrar medidas de manejo como prácticas en pro de lograr un equilibrio entre la disponibilidad de agua y los constantes requerimientos de dicho recurso.

La ecuación que estructura el modelo de sostenibilidad hídrico incluye variables correspondientes con la oferta hídrica que depende de factores climatológicos como precipitaciones locales, por lo cual es necesario la realización de otros muestreos en investigaciones posteriores que permitan monitorear las condiciones ecosistémicas del área de estudio.

Las medidas de manejo participan en el modelo de sostenibilidad como acciones propias que debe llevar a cabo el productor, desde el contexto cotidiano de aprovechamiento del agua, siendo necesaria la transversalidad entre las prácticas agrícolas, pecuarias, domiciliarias y las actividades de conservación del recurso hídrico.

## 5. Referencias bibliográficas

- Agencia para el Desarrollo Internacional-USAID-. 2016. *Análisis sectorial del agua. Programa pilotos de innovación financiera*. <https://www.asobancaria.com/wp-content/uploads/2016/10/diagnostico-sectorial-agua-pilotos-de-innovacion-financiera.pdf>. Consultado 28 de marzo de 2019.
- Aguilar, I y Monforte, G. (2018). Servicios públicos del agua, valor público y sostenibilidad. El caso del área metropolitana de Monterrey. *Gestión y política pública*. 1, 149-179.
- Alcaldía de Campoalegre-Huila. (2016). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial. Campoalegre-Huila*. <http://www.campoalegre-huila.gov.co/Transparencia/Plan%20basico%20Ordenamiento/PBOT/04%20FORMULACION%20PBOT%20CAMPOALEGRE%202016.pdf>. Consultado 21 de enero de 2019.
- Álvarez, X. (2015). *Modelo conceptual de la eutrofización y proliferación de cianobacterias. Un caso de estudio en el embalse de A Baxe*. (tesis doctoral). Universidad de Vigo, España.
- Andrade, H., Segura, M y Sierra, E. (2017). Percepción local de los servicios ecosistémicos ofertados en fincas agropecuarias de la zona seca del Norte del Tolima, Colombia. DOI: 10.17151/luaz.2017.45.4
- Bellaubí, F. 2016. Sostenibilidad, territorio y agua. *Acta nova*. 7(4), 510-518.
- Caho, C y López, E. (2017). Determinación del índice de calidad de agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a3>
- Centro de estudios avanzados en niñez y juventud. 2016. La crisis del agua: Un problema tan grave como el del cambio climático. *Revista latinoamericana de ciencias sociales, niñez y juventud*. 14(1), 711-712.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca –CVC-. (2017). *Evaluación regional del agua Valle del Cauca-2017*. [https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018-10/EVALUACION\\_REGIONAL\\_AGUA\\_Ajustes2018\\_2.pdf](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018-10/EVALUACION_REGIONAL_AGUA_Ajustes2018_2.pdf). Consultado 20 de septiembre de 2018.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis), SINCHI (Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas), IIAP (Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico John Von Neumann) y IAvH (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt). (2016). *Informe del estado del medio ambiente y de los recursos naturales 2015. Documento síntesis*. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023641/IEARN2015.pdf>. Consultado 23 de mayo de 2018.
- International Center for Tropical Agriculture y Research Program on Water, Land and Ecosystems. (2015). *Estado de avance y cuellos de botella de los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos hidrológicos en Perú*. [http://www.bosquesandinos.org/wp-content/uploads/2016/01/cuellos\\_botella\\_2015\\_digital.pdf](http://www.bosquesandinos.org/wp-content/uploads/2016/01/cuellos_botella_2015_digital.pdf). Consultado 05 de febrero de 2018.
- Landis, D. (2017). Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2016.07.005>
- Larrain, F y Sachs, J. (2002). *Macroeconomía en la economía global*. Buenos Aires, Argentina: Pearson Education S.A.
- López, A., Martínez, L., Feria, J y Cruz, J. 2016. Planificación del recurso hídrico en la quebrada Aguas Blancas, zona rural de Montería, Córdoba. <https://doi.org/10.15665/rp.v14i2.567>

- Martínez, P. y Flores, P. (2015). *Diseño de sistemas y políticas públicas de pagos por servicios de los ecosistemas*. <http://www.comunidadism.es/wp-content/uploads/downloads/2015/02/pago-por-servicios-ambientales.pdf>. Consultado 30 de octubre de 2019.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Guía de aplicación de la valoración económica ambiental*. [http://www.minambiente.gov.co/images/NegociosVerdesysostenible/pdf/valoracion\\_economica\\_ambiental/Gu%C3%ADa\\_de\\_aplicaci%C3%B3n\\_de\\_la\\_VEA\\_Comprimida.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/NegociosVerdesysostenible/pdf/valoracion_economica_ambiental/Gu%C3%ADa_de_aplicaci%C3%B3n_de_la_VEA_Comprimida.pdf). Consultado 12 de marzo de 2018.
- Modigliani, F. (1988). Life Cycle, Individual Thrift, and the Wealth of Nations (Nobel Lecture). En *Macroeconomics and Finance: Essays in Honor of Franco Modigliani*, editado por R. Dornbusch, S. Fischer y J. Bossons. Cambridge, Mass., EE.UU.: MIT Press.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura-UNESCO-.(2019). *Informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019. No dejar a nadie atrás*. <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>. Consultado 06 de noviembre de 2019.
- Ortiz, R., González, J y Chávez, J. 2015. Modelo de asignación de agua considerando un caudal ambiental mínimo en la cuenca del Río Metztitlan en Hidalgo, México. *Agrociencia*. 49(7), 703.721.
- Ramos, I., Holgado, D., Maya, I y Palacio, J. (2014). Evaluación de procesos comunitarios y análisis de redes interorganizativas: elementos para mejorar la efectividad de las intervenciones comunitarias. <https://doi.org/10.16925/pe.v10i17.798>
- Rodríguez, J., Serna, J y Sánchez, J. (2016). Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos. <http://dx.doi.org/10.22335/rlct.v8i1.306>
- Rossetto, R., Filippis, G., Triana, F., Ghetta, M., Borsi, I y Schmid, W. (2019). Software tools for management of conjunctive use of Surface- and ground- wáter in the rural environment: integration of the farm process and the Crop Growth Module in the FREEWAT platform. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105717>
- Zeinalzadeh, K y Rezaei, E. (2017). Determining spatial and temporal changes of Surface wáter quality using principal component análisis. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.07.002>