

Evaluación del efecto del establecimiento de barreras de aislamiento y protección sobre un nacimiento de agua en el Centro de Investigación Obonuco de AGROSAVIA.

Evaluation of the effect of the establishment of protection and water protection barriers in the Obonuco Research Center of AGROSAVIA

Edgar F. Ponce Vallejo^{*1}, Carlos E. García Lopez², Edwin Castro Rincón³

* Autor para correspondencia

1 Centro de Investigación Obonuco – AGROSAVIA Km 5 Vía Pasto – Obonuco – Nariño, Colombia.

2 Universidad de Manizales - Cra. 9 #No 19-03, Manizales, Caldas, Colombia

3 Centro de Investigación Obonuco – AGROSAVIA Km 5 Vía Pasto – Obonuco – Nariño, Colombia.

Email Edgar Ponce: eponce@agrosavia.co

Email Carlos García: cegarcial@umanizales.edu.co

Email Edwin Castro: ecastro@agrosavia.co

Resumen

La actividad pecuaria en la ribera de las fuentes de agua impacta directamente en la vegetación y las condiciones del suelo propias de estas zonas, limitando su regeneración natural. Debido a esto se hace necesario el planteamiento e implementación de estrategias de conservación y restauración sobre el recurso hídrico en los sistemas ganaderos de la región con prácticas pecuarias sostenibles. Con el objetivo de evaluar el efecto del establecimiento de barreras de aislamiento y protección en el corredor ribereño de una quebrada presente en el área destinada a la ganadería en el Centro de Investigación Obonuco de AGROSAVIA, se monitorearon durante siete meses las variables de cantidad y calidad sobre la fuente, buscando determinar la eficacia de las medidas en la conservación y disponibilidad del recurso. En el periodo de análisis el caudal de agua disponible se mantuvo constante sin importar las condiciones meteorológicas predominantes de la zona. En cuanto a la calidad del agua en la fuente, los análisis realizados arrojaron resultados muy satisfactorios para los parámetros fisicoquímicos monitoreados, presentando una evolución positiva en el tiempo en los sitios de muestreo definidos. Adicionalmente se realizó el cálculo del balance hídrico de la fuente evaluada teniendo en cuenta la información disponible tomada en campo, las condiciones actuales de la zona de estudio y la información meteorológica de la zona de influencia del estudio. De esta manera se concluye que las medidas de aislamiento y protección propuestas son efectivas, siendo replicables en cualquier sistema ganadero, contribuyendo a la disponibilidad del recurso incluso en periodos de sequía; para garantizar la mejora en la calidad del agua se debe controlar el pastoreo en zonas donde la topografía del terreno favorece la formación de pequeñas corrientes que arrastran contaminantes hacia la fuente que afectan la calidad microbiológica del agua.

Palabras clave: Calidad, Cantidad, Corredor ribereño, Protección y Conservación de fuentes hídricas.

Abstract

Livestock activity on the banks of water sources directly impacts the vegetation and soil conditions of these areas, limiting their natural regeneration. Due to this, it is necessary to plan and implement conservation and restoration strategies on water resources in the livestock systems of the region with sustainable livestock practices. With the objective of evaluating the effect of the establishment of isolation and protection barriers in the riparian corridor of a stream present in the area destined for livestock in the Obonuco Research Center of AGROSAVIA, the variables of quantity and quality were monitored during seven months. On the source, seeking to determine the effectiveness of the measures in the conservation and availability of the resource. In the period of analysis, the available water flow remained constant regardless of the prevailing weather conditions in the area. Regarding the quality of the water at the source, the analyzes carried out showed very satisfactory results for the monitored physicochemical parameters, showing a positive evolution over time in the defined sampling sites. Additionally, the calculation of the water balance of the source evaluated was made taking into account the available information taken in the field, the current conditions of the study area and the meteorological information of the area of influence of the study. In this way it is concluded that the proposed isolation and protection measures are effective, being replicable in any livestock system, contributing to the availability of the resource even in periods of drought; To guarantee the improvement in water quality, grazing should be controlled in areas where the topography of the land favors the formation of small currents that carry pollutants to the source that affect the microbiological quality of the water.

Keywords: Quality, Quantity, Riparian Corridor, Protection and Conservation of water sources

Citación:

Presentado:
Aceptado:
Publicado:

Información sobre los autores:

EFPV realizó el planteamiento, ejecución y redacción del trabajo; CEGL y ECR brindaron asesoramiento en el planteamiento y redacción del trabajo.

Los autores manifestamos que no existe conflicto de intereses de ningún tipo.

Introducción

El manejo del recurso hídrico, es un aspecto usualmente olvidado en los sistemas de producción ganaderos, sin embargo, de su manejo adecuado depende en buena medida la sostenibilidad de la producción forrajera, la respuesta en producción animal, la calidad e inocuidad de la leche y el equilibrio ambiental, por lo tanto, se hace necesario ofrecer alternativas y evaluar estrategias y recomendaciones que contribuyan a optimizar el uso del recurso hídrico en los sistemas ganaderos garantizando su disponibilidad, en busca del manejo integral del agua a nivel predial minimizando el impacto ocasionado a los recursos suelo y agua.

Dentro del paisaje ganadero, el modelo tradicional de pastoreo en praderas sin árboles, y la falta de tecnologías para una producción más sostenible, han ocasionado el crecimiento de la frontera agrícola, destruyendo grandes áreas de bosques naturales y generando problemas ambientales, como pérdida de la diversidad biológica, degradación de suelos y la contaminación de fuentes de agua (Murgueito, et.al, 2003)

Por otra parte, en predios ganaderos gran parte de los nacimientos de agua, humedales, cauces de los ríos y riberas de quebradas se encuentran desprotegidos, lo cual impacta directamente sobre la disponibilidad, el flujo constante y la calidad del recurso.

Además de la disponibilidad del recurso, la calidad del agua suministrada a los animales es un factor que influye de manera significativa y directamente sobre su salud y la producción, de tal forma que deben considerarse diferentes parámetros de control que garanticen un adecuado desarrollo y bienestar del animal.

El proyecto Sistemas de recuperación, manejo del suelo y de renovación de praderas degradadas para recobrar potencial reproductivo en sistemas de lechería en Nariño, desarrollado por AGROSAVIA, con financiación de recursos del sistema general de regalías (SGR) del departamento de Nariño, contempla la implementación de estrategias del manejo y uso sostenible del recurso hídrico, para lo cual planteó el establecimiento de una barrera de protección en la ribera de una quebrada en inmediaciones del lote identificado con el No. 33 en el centro de investigación Obonuco de AGROSAVIA, el cual históricamente ha presentado flujos intermitentes con variaciones en su caudal asociadas a los periodos de invierno y verano de la zona.

En Colombia la información sobre el efecto de la implementación de barreras de aislamiento y protección con árboles multiestrato en sistemas ganaderos sobre las condiciones de las fuentes de agua es escasa. La presente investigación pretende determinar el comportamiento de las variables calidad y cantidad en un periodo de tiempo frente a estas medidas de conservación implementadas.

Según Bremmer 1989, los sistemas silvopastoriles, que combinan leñosas perennes con pastos y arbustos, son una alternativa para una producción con mayores beneficios económicos y ambientales. Dichos sistemas podrían ofrecer importantes beneficios en la protección del agua y suelo, ya que su asociación con la vegetación herbácea podría disminuir la escorrentía, pues las raíces funcionan como filtros que

atrapan sedimentos y nutrientes, evitando así la alteración de la calidad del agua y del ecosistema acuático.

Para el desarrollo de la investigación se propusieron tres objetivos específicos para alcanzar los resultados esperados. Inicialmente se monitorearon las variables caudal y calidad en de la fuente hídrica, posteriormente mediante el análisis de datos se determinó la incidencia de las medidas de protección implementadas sobre las variables monitoreadas y finalmente se realizó el cálculo del balance hídrico para la fuente teniendo en cuenta la información meteorológica de la zona de estudio y los datos capturados en campo.

Los resultados mostraron que, gracias a las medidas implementadas sobre el nacimiento y la ribera de la fuente, el caudal disponible se mantuvo constante durante el periodo de monitoreo incluso durante los periodos de verano que se presentaron en la zona de influencia. Con relación a la calidad del agua de la fuente, la protección de la franja ribereña incidió directamente sobre los parámetros fisicoquímicos monitoreados, con relación a los parámetros microbiológicos no se obtuvieron resultados positivos en cuanto a disminución de la concentración de Coliformes totales y *E. Coli*.

Material y métodos

Área de estudio. La microcuenca Mijitayo nace a una altura de 4200 m.s.n.m en las estribaciones del volcán Galeras y tiene un punto de desemboque a los 2550 m.s.n.m en el río Pasto en el barrio Las Cuadras de la zona urbana del municipio de Pasto. La microcuenca cuenta con un área de 1315 Ha., y posee como afluentes principales las quebradas Midoro y Juanambú. Además, cuenta con una zona de producción de 239,3 Ha, una zona de protección con 914,17 Ha, una zona de restauración con 17,6 Ha y una zona urbana con 143,0 Ha (POMCH, 2010). La Microcuenca limita al norte con el corregimiento de Anganoy, al sur con los corregimientos de Obonuco, Jongovito, El Rosal y Las Malvas y al oriente con la ciudad de San Juan de Pasto (Figura 1).

La microcuenca además de los afluentes principales mencionados cuenta con el aporte de la fuente de agua sin nombre, objeto del presente estudio que nace en el lote 33 del Centro de Investigación Obonuco de AGROSAVIA ubicada entre potreros dedicados exclusivamente a la ganadería (Figura 1).

Procedimiento. Se estableció en la ribera de la fuente un cerco vivo multiestrato para su protección, el cual se compone de dos líneas de árboles, la primera con especies de porte mediano y bajo y la segunda con especies de porte alto y medio a 2.5 m de distancia entre ellos (Tabla 1). Para garantizar el adecuado desarrollo de las especies establecidas e impedir el acceso libre de los animales, se instaló una cerca en alambre a lado y lado de la fuente a una distancia promedio de 3 m de las orillas y en el contorno del afloramiento de agua.

Se toma como referencia las recomendaciones de Pedraza, Giraldo, & Chará, (2008), y se realizó la labor de rocería en la franja de protección implementada con el fin de disminuir la competencia de las gramíneas presentes con los árboles sembrados, también se realizó una limpieza y ploteo periódicamente a cada árbol con el fin de garantizar el buen desarrollo de los mismos. Es de aclarar que no se realizó

ningún tipo de fertilización a fin de no afectar los resultados de los análisis de calidad de agua.



Figura 1 Localización del estudio

Tabla 1 Estructura y composición del cerco vivo multiestrato para protección de fuente hídrica.

Nombre común	Nombre científico	Arreglo	Estrato	Ubicación
Roble andino	<i>Quercus humboldtii</i>	Intercalado	Alto	Línea externa
Cedro nogal	<i>Cedrela montana</i>	Intercalado	Alto	Línea externa
Palma de cera	<i>Ceroxylon sp</i>	Intercalado	Alto	Línea externa
Caucho	<i>Chrysophyllum gardneri</i>	Intercalado	Alto	Línea externa
Rodamonte	<i>Escallonia myrtilloides</i>	Intercalado	Medio	Línea externa
Sauce	<i>Salix babilonica</i>	Intercalado	Medio	Línea externa
Sauco	<i>S. nigra</i>	Intercalado	Medio	Línea interna
Siete cueros	<i>Tibouchina lepidota</i>	Intercalado	Medio	Línea externa
Aliso	<i>Alnus acuminata</i>	Intercalado	Medio	Línea interna
Arboloco	<i>Smallanthus pyramidalis</i>	Intercalado	Medio	Línea interna
Mano de oso	<i>Oreopanax floribundum</i>	Intercalado	Medio	Línea externa
Chilco	<i>Baccharis latifolia</i>	Intercalado	Bajo	Línea interna
Mortiño	<i>Hesperomeles goudotiana</i>	Intercalado	Bajo	Línea interna

Se realizó el aforo de caudal en la fuente 2 veces en semana por un periodo de 7 meses, con dos dispositivos fijos (canaleta utah) instalados sobre la fuente, uno aguas arriba cerca al afloramiento y el otro, aguas abajo cerca de su desembocadura en la quebrada Mijitayo. Igualmente, durante este periodo, se monitoreó la calidad del recurso realizando cuatro muestreos puntuales sobre la fuente cerca al afloramiento y antes de su desembocadura, dos en época de lluvia y dos en época seca. Los parámetros que se determinaron para monitorear son: Potencial de Hidrogeno (pH), Turbiedad, Conductividad, DBO5, DQO, Color aparente, Dureza Total, Alcalinidad Total, Nitritos, Oxígeno disuelto (OD), Hierro total, Solidos suspendidos, Coliformes Totales y Coliformes fecales.

Análisis de datos. Los datos de caudal tomados en la fuente se tabularon en tablas de Excel y se generaron los gráficos para el análisis descriptivo del comportamiento de esta variable en el tiempo y se compararon con los datos de precipitación de la zona de estudio durante el periodo de evaluación.

Para los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitoreados, se realizó un análisis estadístico con el software SPSS Versión 22, mediante un ANOVA de un factor el cual permite contrastar la hipótesis nula de que los promedios de la variable dependiente (VD) respecto de un factor o variable independiente (VI) con más de dos grupos o niveles son iguales, frente a la alternativa de que al menos el promedio en un grupo es diferente a los demás.

De esta manera se configuró un diseño de medidas repetidas en el tiempo con dos factores que corresponden al sitio y a la época de muestreo, después de comprobar la homogeneidad de varianzas por medio de la prueba de esfericidad de Mauchly, al no presentarse homogeneidad se aplican contrastes multivariados y el estadístico empleado para determinar el nivel de significancia fue la Traza de Pillai. Cabe aclarar que en ningún caso se presenta prueba de comparación de medias, debido a que solo se comparan dos niveles de un factor.

Resultados y discusión

Caudal. El aforo de caudal sobre la fuente se inició el 30 de enero de 2018, en la gráfica 1 y 2 se muestra el comportamiento del caudal en la fuente cerca al afloramiento y en la desembocadura respectivamente. Durante el periodo de tiempo de monitoreo el caudal en la fuente se mantuvo constante lo cual se asocia a las medidas implementadas sobre la fuente, se observaron variaciones leves y se presentaron algunos picos asociados a los días con precipitaciones altas sobre la zona de influencia.

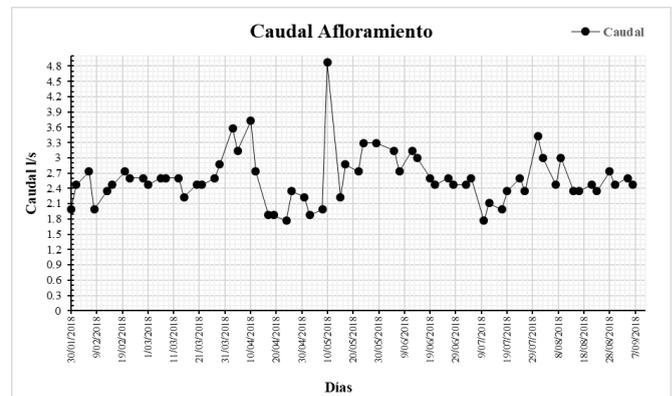


Figura 2 Comportamiento del caudal de la fuente en el afloramiento

El caudal máximo y mínimo presentados durante el periodo de evaluación en la fuente en el afloramiento fueron 4.87 l/s y 1.77 l/s y en la desembocadura 3.43 l/s y 0.84 l/s respectivamente.

Se pudo establecer que no existe una correlación entre el caudal de la fuente y la precipitación registrada en el periodo de evaluación (Figura 4), además se evidenció que en el periodo seco que se presentó en la zona durante aproximadamente 3 meses, el caudal aguas arriba y aguas abajo se mantuvo en los niveles promedio monitoreados que correspondieron a 2.59 l/s y 1.30 l/s respectivamente.

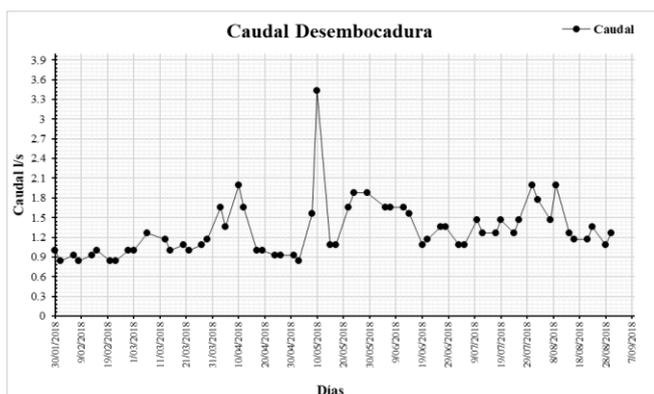


Figura 3 Comportamiento del caudal de la fuente en la desembocadura

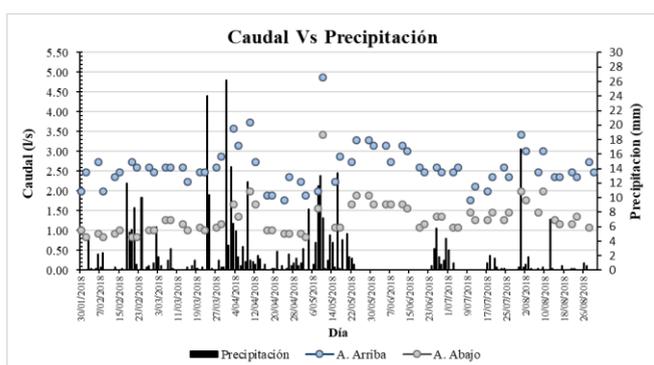


Figura 4 Comportamiento del caudal en la fuente asociado a la precipitación diaria

Se observó inicialmente una tendencia que marca un aumento del caudal en los sitios de monitoreo que se puede asociar a las precipitaciones presentadas durante los primeros meses, sin embargo, para los meses 5, 6 y 7 donde las precipitaciones fueron mínimas o nulas, la fuente logró mantener su caudal promedio.

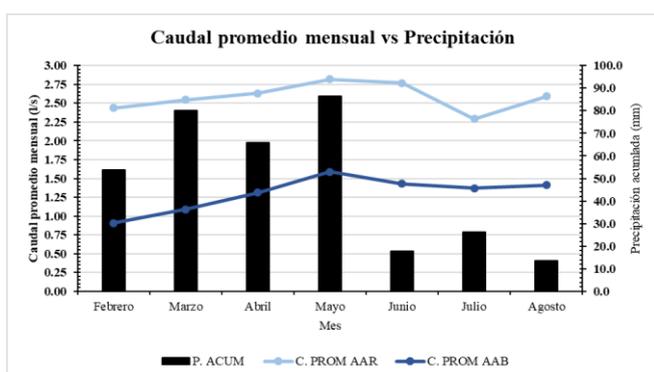


Figura 5 Comparación de caudal promedio con la precipitación acumulada en el periodo de evaluación.

Calidad de agua. Para el análisis de calidad de agua se consideraron 15 parámetros entre fisicoquímicos y microbiológicos tomados en dos épocas con dos repeticiones. De esta manera, se tomaron en total 4 muestras aguas arriba cerca al afloramiento y 4 aguas abajo cerca a la desembocadura en época seca o de verano y en época lluviosa o de invierno respectivamente. En los meses de marzo y mayo de 2018 se realizaron el primer y segundo muestreo, correspondientes a la época de lluvia, así mismo, en los meses de julio y septiembre se realizaron el tercer y cuarto muestreo, correspondientes a la

época seca. Los puntos definidos para toma de muestras de agua se presentan en la figura 6.

En la tabla 2, se presentan los parámetros de calidad de agua monitoreados sobre la fuente de estudio.

Tabla 2 Parámetros de muestreo.

PARAMETRO	UNIDADES	METODO UTILIZADO
Temperatura	°C	Medición in situ
pH	Unidades de pH	SM 4500-H+ B. Ed. 22/2012
Turbiedad	NTU	SM 2130 B. Ed. 22/2012
Conductividad	µS/cm	SM 2510 B.
DBO5	mg O ₂ /L	SM 5210 B. 4500 O-G
DQO	mg O ₂ /L	SM 5220 C.
Color Aparente	Pt/Co	SM 2120 C.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	SM 2340 C.
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	SM 2320 B.
Nitritos	mg NO ₂ -N /L	SM 4500-NO ₂ - B
Oxígeno disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SM 4500-O C
Hierro total	mg Fe/L	Fotométrico
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	SM 2540 D
Coliformes Totales	NPM/100 ml	SM 9223 B
<i>Escherichia coli</i>	NPM/ 100 ml	SM 9223 B

Figura 6 Sitios de toma de muestra de agua. A la izquierda punto afloramiento y a la derecha punto desembocadura.



En la tabla 3, se presentan los resultados de los muestreos de agua realizados en el periodo de monitoreo de la fuente hídrica. En general las variaciones que se presentaron en todos los parámetros fisicoquímicos en el tiempo de monitoreo favorecen las condiciones de calidad de la fuente. Sin embargo, para los parámetros microbiológicos monitoreados los resultados no muestran el mismo comportamiento.

En los resultados obtenidos en el sitio de desembocadura se observó la afectación o contaminación que sufre la fuente en comparación con los resultados del sitio cerca al afloramiento esto asociado a las actividades pecuarias que se desarrollan en el entorno, sin embargo, como se mencionó anteriormente en el transcurso de la evaluación se presenta una tendencia general

de recuperación en las condiciones de calidad en los dos sitios de muestreo.

En la tabla 3, se presentan los resultados obtenidos de los muestreos realizados durante el periodo de evaluación para los 15 parámetros definidos.

Tabla 3 Resultados de laboratorio de parámetros monitoreados

PARAMETRO	LLUVIA		LLUVIA		SECA		SECA	
	Muestreo 1 - marzo		Muestreo 2 - mayo		Muestreo 3 - julio		Muestreo 4 - septiembre	
	Punto Aflo	Punto Desem	Punto Aflo	Punto Desem	Punto Aflo	Punto Desem	Punto Aflo	Punto Desem
Temperatura °C	15	15	14.60	15.40	14.90	15.30	13.90	13.90
pH	8.23	8.07	7.99	8.48	7.97	8.31	7.69	7.69
Turbiedad	14.40	19	7.67	23.70	8.09	12.09	17.80	24.20
Conductividad	268	268	280	280	265	262	263	264
DBO5	3.26	5.47	3.03	2.99	1.20	1.46	1.27	1.34
DQO	18.09	27.56	33.09	31.11	12.65	18.49	22.08	24.41
Color Aparente	22.50	27.10	21.40	28.60	18.40	27.40	25.60	32.80
Dureza Total	113.68	117.6	125.44	127.4	118.32	118.32	127.45	127.45
Alcalinidad Total	122.91	123.42	127.50	127.50	122.88	122.88	123.84	124.32
Nitritos	0	0	0.02	0.05	0	0.02	0	0
Oxígeno disuelto (OD)	4.74	4.34	7.24	7.14	7.55	8.16	6.81	6.99
Hierro total	0.87	0.96	0.95	1.64	0.62	0.76	0.64	0.48
Sólidos Suspendidos Totales	51	71.6	30	56.71	22.57	39	43	52
Coliformes Totales	3450	32820	3450	32820	13340	1119.90	13340	27550
Escherichia Coli	0	0	68.30	151.50	172.30	365.40	300	410

Según el análisis estadístico aplicado los únicos parámetros que presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el factor sitio de muestreo fueron el Color Aparente y los Solidos Suspendidos Totales (Tabla 4). Para el caso del factor época los parámetros que presentaron diferencias significativas fueron DBO5, DQO y *Echerichia Coli* (Tabla 5).

Tabla 4 Significancia en Factor Sitio de Muestreo

Parámetro	Sitio de muestreo	n	Media	Error estándar	p	F
Color Aparente	Afloram	4	21,975	+/- 1,487	0,005	59,756
	Desemb	4	28,975	+/- 1,316		
SST	Afloram	4	36,6425	+/- 6,382	0,016	23,913
	Desemb	4	54,8275	+/- 6,729		

De igual manera con el análisis estadístico aplicado se pudo determinar que no existe interacción entre los factores sitio y época de muestreo.

Tabla 5 Significancia en Factor Época de Muestreo

Parámetro	Época	n	Media	Error estándar	p	F
DBO5	Lluvia	4	3,6875	+/- 0,597	0,023	18,335
	Seca	4	1,3175	+/- 0,055		
DQO	Lluvia	4	27,4625	+/- 3,327	0,007	42,231
	Seca	4	19,4075	+/- 2,560		
<i>E. Coli</i>	Lluvia	4	54,95	+/- 35,985	0,008	40,499
	Seca	4	311,925	+/- 51,733		

Los resultados para turbiedad, muestran que el parámetro en el afloramiento presentó una reducción entre el primer y tercer muestreo, pero para el último muestreo se obtiene el mayor valor durante la evaluación (17.8 NTU). Lo anterior se puede asociar a algún tipo de alteración en alrededores debido que se realizó pastoreo en una zona aledaña al sitio de muestreo en días previos a la toma de muestras.

Igualmente sucede con los resultados para el sitio desembocadura, donde en el último muestreo se presenta el mayor valor obtenido (24.2 NTU).

Este parámetro presenta una variación constante en el tiempo para cada sitio de muestreo, sin embargo, los valores obtenidos durante todo el periodo de evaluación se encuentran en el rango establecido para una fuente con un nivel de calidad regular (2 – 40 NTU), según lo establecido en el título B de la RAS 2000 para fuentes superficiales.

Durante la época de lluvia se presentó la mayor DBO₅ con una media de (3,6875 mg O₂/L), esto se asocia al arrastre de materia orgánica por acción de escorrentía hacia la fuente. Lo anterior coincide en primera instancia con el menor valor de Oxígeno Disuelto obtenido en el primer muestreo en época de lluvia, sin embargo, también denota una gran recuperación de la fuente ya que a pesar de que la DBO₅ fue mayor para esta época, el Oxígeno disuelto presentó mayor disponibilidad en el segundo muestreo.

La cantidad de DBO₅ está en relación inversa con la cantidad de Oxígeno disuelto, ya que si aumenta la producción de oxígeno disminuirá la DBO₅ por la acción de las bacterias aeróbicas que tienen capacidad para degradar la materia orgánica (Auquilla Cisneros, 2005).

Este parámetro presenta una reducción constante en el tiempo tanto en el sitio de afloramiento (3.26 mg O₂/L a 1.27 mg O₂/L) como en el sitio de desembocadura (5.47 mg O₂/L a 1.34 mg O₂/L). Lo anterior permite catalogar la fuente con un nivel de calidad aceptable, de acuerdo al grado de contaminación según lo establecido en el título B de la RAS 2000 para fuentes superficiales. Situación similar ocurre con la DQO para la cual en época de lluvia se tiene la mayor concentración con una media de (27,46 mg O₂/L).

El color aparente por su parte, presenta un incremento entre sitios de muestreo durante toda la evaluación. Obteniéndose siempre los mayores valores en la desembocadura, lo cual se debe al arrastre de sólidos que se da en el trayecto de la fuente desde el afloramiento.

Los valores obtenidos para los Nitritos representan concentraciones mínimas no perjudiciales para la salud humana, el mayor valor se presentó en época de lluvia en el sitio desembocadura (0.05 mg NO₂-N/L), a partir del segundo muestreo se presentó un descenso constante en este parámetro logrando llegar a una concentración cero para el muestreo final. Su detección en aguas indica contaminación por materia orgánica en descomposición. En general la concentración de nitritos en el agua es muy baja, pero puede aparecer ocasionalmente en las aguas superficiales debido a contaminación industrial y de aguas residuales domésticas (Panachlor, 2014).

El oxígeno disuelto (OD) es uno de los factores más asociados a la vida acuática, al incidir en casi todos los procesos químicos y biológicos; las condiciones aeróbicas favorecen la diversidad de especies deseables como los peces (que en general pueden subsistir a concentraciones de OD superiores a 4 mg/l). La medida de OD puede usarse como indicador del grado de contaminación orgánica, de la tasa de degradación de sustancias orgánicas e inorgánicas susceptibles de ser oxidadas) y de la capacidad de autodepuración de corrientes superficiales (Comunidad Andina, 2008).

En la fuente de estudio, las concentraciones iniciales en los sitios de muestreo, representan limitaciones para el desarrollo de vida acuática que requiere del oxígeno disponible para su

metabolismo. Sin embargo, los valores alcanzados al final del periodo de evaluación representan una recuperación sustancial de la fuente dada la relación de este parámetro con otras de las variables monitoreadas.

El mayor incremento se presenta entre el primer y segundo muestreo realizados en época de lluvia, lo cual se asocia a la formación de corrientes y al incremento del caudal durante el periodo lluvioso, sin embargo, los niveles de concentración se mantiene a partir de allí hasta el final de la evaluación.

El oxígeno disuelto muestra la cantidad de oxígeno disponible para los procesos de descomposición de materia orgánica e inorgánica, la demanda de este es determinada por los valores de DBO₅ y DQO. Por lo tanto, con los valores obtenidos en este parámetro se deduce que la cantidad de oxígeno disponible para estos procesos fue suficiente para el desarrollo de los procesos naturales de descomposición y su disponibilidad se logra mantener aguas abajo gracias a las medidas de protección implementadas.

Para el caso del hierro total, se destaca que los niveles presentados en el sitio desembocadura muestran una disminución constante a partir del segundo muestreo, donde se llegó al menor valor durante la evaluación en la fuente con 0.48 mg Fe/L.

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las fuentes hídricas.

En la fuente de estudio, este parámetro presenta una dinámica constante entre sitios de muestreo.

Entre el primer y tercer muestreo se logra una disminución constante de la concentración de Sólidos suspendidos totales en la fuente, esto quiere decir que se lograron controlar los factores externos que originan su presencia. El incremento en el último muestreo se atribuye a las labores de mantenimiento de árboles, poda de pastos en la franja aislada y al pastoreo del ganado en un sector que favorece el arrastre de sólidos hacia la fuente.

Es de considerar que este parámetro está ligado a los resultados obtenidos para el Color Aparente en cual igualmente se presentaron diferencias significativas para el factor sitio de muestreo.

Según Panachlor, (2014), los Coliformes Fecales son microorganismos de la familia de las Enterobacterias. Comprenden distintos géneros como: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Serratia* y *Klebsiella*. Son bacterias que viven en el tracto intestinal de animales de sangre caliente. Su presencia en el agua indica contaminación microbiana reciente sin informar de su origen y una deficiente calidad del agua. No son específicos de contaminación fecal, excepto el género *Escherichia*.

A diferencia de los resultados obtenidos en los parámetros fisicoquímicos este parámetro presenta una fluctuación constante en el tiempo incluso presentando un incremento en sus niveles al final del periodo de evaluación.

La dinámica de los Coliformes Totales en el sitio de afloramiento muestra un incremento en el tiempo a pesar de las medidas de aislamiento y protección implementadas, al estar directamente ligados a la actividad del ganado en la zona se

deduce que existen factores adicionales que se tendrían que evaluar como el arrastre de materia fecal desde los potreros aledaños durante la época de lluvia y el control del paso de ganado en los sitios habilitados.

Situación similar se presentó en el sitio de desembocadura, sin embargo, para el tercer muestreo se obtuvo una disminución considerable en la concentración (1119.9 NPM/100ml) que no se logró mantener para el último muestreo. Lo anterior demuestra que las medidas implementadas pueden llegar a controlar la concentración de Coliformes Totales en la fuente siempre y cuando se controlen factores externos como el pastoreo del ganado en sectores de los potreros que por su topografía favorecen el arrastre de sólidos hacia la fuente.

Finalmente, según los resultados de laboratorio obtenidos para *E. coli*, se observa que este parámetro presentó un incremento constante en el tiempo para los dos sitios de muestreo. En el muestreo inicial se logró obtener un valor de cero en su concentración, que se atribuye a las medidas implementadas y al control de factores externos a la evaluación, sin embargo, en los siguientes muestreos se incrementó la concentración hasta un máximo de 410 y 300 NPM/100ml tanto en el sitio de afloramiento como en la desembocadura respectivamente. Al igual que para los Coliformes Totales esto demuestra que hubo afectación por factores externos no controlados en el estudio.

Índice de Calidad de Agua (ICA). Con base en los resultados obtenidos para cinco de las variables monitoreadas (OD, SST, DQO, C.E y pH) se determinó el índice de calidad de agua para cada sitio de muestreo en cada época aplicando la metodología desarrollada por el IDEAM.

Tabla 6 Índice de calidad de agua

Sitio muestreo/época	Valor ICA	Clasificación
Afloramiento/Invierno	0.66	Regular
Afloramiento/Invierno	0.63	Regular
Afloramiento/Verano	0.73	Aceptable
Afloramiento/Verano	0.66	Regular
Desembocadura/invierno	0.55	Regular
Desembocadura/invierno	0.61	Regular
Desembocadura/verano	0.74	Aceptable
Desembocadura/verano	0.66	Regular

Según lo anterior la fuente hídrica en general presenta un nivel de calidad regular, sin embargo, para el tercer muestreo se logra mejorar a nivel aceptable lo cual se asocia directamente a las medidas implementadas. Tomando como referencia la dinámica presentada entre el primer y tercer muestreo a futuro se esperaría una recuperación constante de las condiciones de calidad de la fuente.

Balance Hídrico. Con el fin de caracterizar la zona de la microcuenca de la quebrada durante los meses de estudio y establecer en qué rango de disponibilidad natural del recurso se encuentra, se realizó el cálculo del balance hídrico de seguimiento como resultado de la interrelación de los parámetros hidrológicos y meteorológicos (precipitación, evapotranspiración potencial y evapotranspiración real), según la metodología de cálculo del Índice de Disponibilidad Hídrica - IDH del IDEAM.

En la tabla 5 se presenta el balance hídrico climático de seguimiento con base en los datos de precipitación y evapotranspiración potencial capturados por la estación meteorológica portátil instalada en la zona de influencia del estudio durante el periodo de evaluación.

Tabla 7. Balance hídrico de seguimiento

Rmax	120 Suelo Franco Arcilloso							
Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Prec (P)	96,8	53,8	80	66	86,4	17,8	26,25	13,6
ETP	67,99	76,35	65,76	69,01	67,93	65,07	60,3	60,62
V. Reserva (VR)	0,00	20,61	0,00	2,81	0,00	39,49	20,01	19,82
Alm (R)	120,00	99,39	113,63	110,81	120,00	80,51	60,50	40,68
ET	67,99	74,41	65,76	68,81	67,93	57,29	46,26	33,42
DEFICIT (D)	0,00	1,94	0,00	0,20	0,00	7,78	14,04	27,20
EXCESO (Ex)	0,00	0,00	0,00	0,00	9,28	0,00	0,00	0,00
IDH	100,00	97,46	100,00	99,72	103,42	88,05	76,71	55,14

P= precipitación, ETP=Evapotranspiración potencial, VR= Variación de la reserva, R= Reserva, ET=Evapotranspiración real, IDH= Índice de disponibilidad hídrica.

El valor de reserva inicial (R_{i-1}) corresponde al dato del mes de diciembre del año 2017 ($R_{i-1}=130,1$ mm), el cual se calculó

en laboratorio con la información del suelo de la zona de influencia del estudio.

El valor de Reserva máxima (Rmax) que corresponde a la cantidad de agua por unidad de superficie en milímetros que el suelo es capaz de almacenar en su perfil, bajo las recomendaciones de la metodología de cálculo por tratarse de un suelo Franco Arcilloso se asume un valor de Rmax = 120 mm.

Del Balance hídrico realizado (Figura 7), se puede determinar el estado de humedad de la microcuenca la cual está asociada al aporte de precipitación recibida y las pérdidas presentadas, esto contribuye a la planificación del recurso y la producción agropecuaria aprovechando las condiciones climáticas óptimas y asegurando mejores rendimientos.

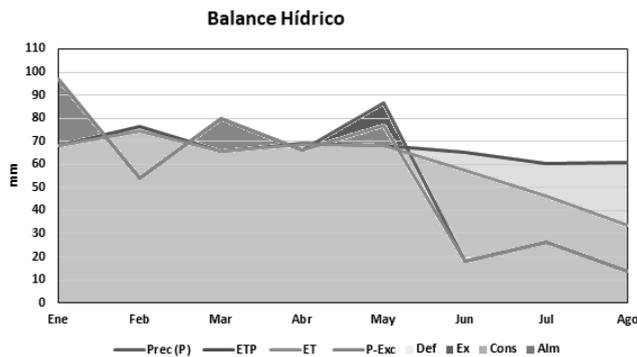


Figura 7 Balance Hídrico

Conclusiones

Con las medidas tomadas sobre el corredor ribereño se logró la recuperación de la morfología de la fuente que había sido drásticamente afectada por el ingreso incontrolado del ganado.

Gracias a los controles de crecimiento de las gramíneas predominantes, se permitió un desarrollo adecuado de las especies arbóreas establecidas en el corredor, esto favorecerá la recuperación del ambiente acuático y permitirá a futuro la interacción de cerco vivo dentro del Sistema Silvopastoril implementado.

Durante la evaluación en los dos sitios de monitoreo se observa una regularidad en el flujo de la quebrada sin importar la época, se pudo evidenciar que en el periodo seco que se presentó en la zona de influencia durante aproximadamente 3 meses, el caudal en el afloramiento y en la desembocadura se mantuvieron entre los niveles promedio (2.59 l/s y 1.30 l/s respectivamente).

En cuanto a la calidad del agua en la fuente se observó un comportamiento positivo en los parámetros fisicoquímicos entre los cuales se resalta el incremento en Oxígeno Disuelto disponible en la fuente pasando de una concentración inicial de 4,34 mg O₂/L hasta 8,16 mg O₂/L en la desembocadura, lo cual garantiza el desarrollo de la vida acuática.

Con el ANOVA realizado, los parámetros Color Aparente ($p=0,005$) y Solidos Suspendedos Totales ($p=0,016$) fueron los únicos que presentaron diferencias significativas para el factor sitio y en el caso del factor época fueron los parámetros de DBO₅ ($p=0,023$), DQO ($p=0,007$) y *E. coli* ($p=0,094$) los únicos que presentaron diferencias significativas.

Los resultados obtenidos para los parámetros microbiológicos muestran un nivel de contaminación en aumento, contrario a lo que se esperaba después de la implementación de las medidas de protección y aislamiento. Es posible que con el paso del tiempo se logre una estabilización de estas variables de manera positiva.

Según la estimación del Índice de Calidad – ICA, la fuente en el sitio de afloramiento y desembocadura se clasifica como regular, sin embargo, en el tercer muestreo correspondiente a época seca se logra un nivel aceptable de la fuente, esto se debe a que en este muestreo los subíndices de Oxígeno Disuelto, Solidos suspendidos totales y DQO para el cálculo del índice presentan un valor mayor que en los demás muestreos.

Durante el periodo de evaluación se percibió un incremento considerable de macroinvertebrados en el corredor aislado lo cual demuestra de la recuperación de las condiciones naturales de la fuente.

Literatura citada

- Aquilla Cisneros, R. C. (2005). Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la Subcuenca del Río Jabonal, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Recuperado a partir de <http://orton.catie.ac.cr/REPDOCA0725E/A0725E.PDF>
- Chará, J. 2003. Manual para la evaluación biológica de ambientes acuáticos en microcuencas ganaderas. Cali, CO. CIPAV. 52 p.
- Comunidad Andina. (2008). Manual de Estadísticas Andinas Ambientales. Lima, Perú.
- Consejo Nacional de Recursos Hídricos. (2002). División Hidrográfica del Ecuador. Memoria técnica, (8), 1-13. Recuperado a partir de http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/Reuniones/DTrabajo/SG_REG_EMAB_IX_dt_3_Ax2.pdf
- Giraldo, G. I. (1995). Manual de análisis de aguas. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.
- IDEAM. (2004). Metodología Para el cálculo del Índice de Escasez de Agua Superficial. IDEAM, 27. Recuperado a partir de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021143/metodologia-calculo.pdf>
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2013). Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial. Bogotá, D.C.: Colombia.
- Murgüeito, E.; Ibrahim, M.; Ramírez, E.; Zapato, A.; Mejía, C.; Casasola, F. 2003. Uso de la tierra en fincas ganaderas. Guía para el pago de servicios ambientales en el proyecto “Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas”. Cali, Co. 97 p
- Panachlor. (2014). Interpretación de resultado de análisis de aguas Panachlor – Mucho más que Agua. Recuperado 12 de junio de 2018, a partir de <http://panachlor.com/?p=593>

Pedraza, G. X., Giraldo, L. P., & Chará, J. D. (2008). Efecto de la restauración de corredores ribereños sobre características bióticas y abióticas de quebradas en zonas ganaderas de la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Zootecnia Tropical*, 26(3).

Uribe, F., Zuluaga, A., Valencia, L., Murgueitio, E., Ochoa, L., & . (2011). Proyecto ganadería colombiana sostenible. Recuperado a partir de <http://www.cipav.org.co/pdf/3.Buenas.Practicas.Ganaderas.pdf>

Viceministerio de Agua y Saneamiento, Básico (Ed.); Universidad de los Andes., Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Centro de Investigaciones, en Acueductos y Alcantarillados, & – CIACUA. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico [recurso electrónico]: TÍTULO B. Sistemas de acueducto. – 2 ed. (2010). Bogotá, D.C., Colombia. Recuperado a partir de <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO B 030714.pdf>
