

**Revisión y análisis de información secundaria de la calidad del agua de consumo del
municipio de Ocaña, Norte de Santander**

José Federico Lozano Arenas

Edinael Torrado Cuadros

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente -ECAPMA

Tecnología En Saneamiento Ambiental

Mayo de 2021

**Revisión y análisis de información secundaria de la calidad del agua de consumo del
municipio de Ocaña, Norte de Santander**

José Federico Lozano Arenas

Edinael Torrado Cuadros

Directora

Diana Marcela Ibarra Mojica

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente -ECAPMA

Tecnología En Saneamiento Ambiental

Mayo de 2021

Índice

Parámetros de calidad de agua para consumo.....	10
Calidad de agua de consumo en el municipio de Ocaña, Norte de Santander	17
Sistema de captación y potabilización de agua del municipio de Ocaña.....	17
Calidad del agua para el consumo humano Ocaña 2017-2018.....	19
Estudios realizados al río Algodonal	20
Análisis microbiológico de la calidad del agua del rio algodonal	20
Informe diagnóstico caracterización del agua para el Municipio de Ocaña	23
Diagnóstico del uso actual del recurso hídrico	28
Contaminación del río Algodonal por pesticidas.....	29
La calidad del agua para consumo humano mediante indicadores	30
Entomofauna bioindicadora del río Algodonal.....	31
Valoración de la disposición a pagar por la protección del río Algodonal.....	32
Capacidad máxima de asimilación del río Algodonal	32
Conclusiones.....	34
Referencias.....	36

Lista de tablas

Tabla 1. Características Químicas que tienen reconocido efecto adverso	12
Tabla 2. Características microbiológicas	13
Tabla 3. Características Físicas.....	13
Tabla 4. IRCA Municipal zona Urbana	19
Tabla 5. Muestreo en las temporadas más lluviosas	22
Tabla 6. Muestreo en las temporadas de menos lluvia	23

Lista de figuras

Figura 1. Captación Río Algodonal 17

Figura 2. Captación Río Tejo..... 18

Dedicatoria

A Dios Bendito, por otórgame la sabiduría, y la fuerza suficiente para llevar a cabo la meta trazada, que sin su Bendición y su amor no fuera posible de alcanzar. A mi familia maravillosa quien han creído siempre en mí, enseñándome a valorar cada esfuerzo que me motivan el deseo de la superación y de triunfos en la vida.

Agradecimientos

Agradezco a todos los Docentes de la Universidad Abierta y A Distancia, que gracias a sus conocimientos y ayuda pude concluir con éxito, a mis compañeros fueron de gran ayuda, por su amistad, solidaridad y compañerismo.

Resumen

El agua es fundamental para el desarrollo de la vida en nuestro planeta, sin embargo, no siempre se encuentra en las condiciones adecuadas para consumo. En Colombia, el marco legal de calidad de agua para consumo se consagra en la resolución 2115 de 2007, en la cual se establecen máximos permisibles para parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

En este trabajo, se llevó a cabo la revisión de información existente sobre la calidad del agua para consumo que se provee al municipio de Ocaña, Norte de Santander. Se estableció que el municipio de Ocaña cuenta con dos fuentes de abastecimiento para el acueducto, el río Algodonal y el río Tejo, los cuales hacen parte de la cuenca del río Catatumbo con un caudal de captación mínimo en verano de $0,8 \text{ m}^3$ y $0,07 \text{ m}^3$ respectivamente.

El Instituto Departamental de salud y CORPONOR certifican que la captación, almacenamiento y distribución del agua en el municipio de Ocaña es apta para el consumo humano; sin embargo, recomienda la vigilancia, manejo y control de los niveles máximos permisibles recomendados en la legislación colombiana, teniendo en cuenta que entre 2017 y 2018 el índice de riesgo de calidad de agua potable -IRCA en zona urbana se mantuvo alrededor de cero (0), sin embargo, para el área rural en 2017 alcanzó un nivel medio (27.4), por lo que es necesario hacer un mayor seguimiento.

Palabras clave: Agua para consumo, Ocaña, río Algodonal, acueducto.

Abstract

Water is essential for the development of life on our planet, however, it is not always in the right conditions for consumption. In Colombia, the legal framework for the quality of drinking water is enshrined in resolution 2115 of 2007, in which the maximum permissible for physical, chemical, and microbiological parameters are met.

In this work, a review of existing information on the quality of drinking water that is provided to the municipality of Ocaña, Norte de Santander was carried out. It was established that the municipality of Ocaña has two sources of supply for the aqueduct, the Algodonal River and the Tejo River, which are part of the Catatumbo River basin with a minimum catchment flow in summer of 0.8 m^3 and $0,07 \text{ m}^3$ respectively.

The Departmental Institute of Health and CORPONOR certify that the collection, storage and distribution of water in the municipality of Ocaña is suitable for human consumption; However, it recommends the surveillance, management and control of the maximum permissible levels recommended in Colombian legislation, taking into account that between 2017 and 2018 the risk index for drinking water quality -IRCA in urban areas remained around zero (0), however, for rural areas in 2017 it reached a medium level (27.4), which is why it is necessary to do more monitoring.

Keywords: Drinking water, Ocaña, Algodonal River, Aqueduct.

Parámetros de calidad de agua para consumo

El agua es fundamental para la vida en la tierra (animales, plantas), por ejemplo, el cuerpo humano está compuesto en tres cuartas partes de agua. En el funcionamiento de los organismos, el agua dada su capacidad disolvente participa activamente en la dinámica interna, a nivel celular. Del mismo modo, el agua es el compuesto básico de todas las formas de vida. Por otra parte, el agua en su forma natural no es totalmente pura, ya que trazas de minerales y sustancias orgánicas disueltas o en suspensión (Levine, 1998).

Desde un punto de vista químico, Madigan (2012) afirma que la importancia del agua radica en que todos los procesos químicos en la naturaleza de dicho recurso son líquidos compuestos por dos sustancias gaseosas: oxígeno e hidrógeno, y su fórmula química está representada por H₂O.

La demanda de agua en el mundo ha venido aumentando en un 1% anual desde los años 80's, promovido por el aumento demográfico y el avance industrial; estimando un aumento del 30% a 2050 con respecto a la demanda actual (Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura -UNESCO, 2019). En Colombia, a pesar de contar con una oferta natural de 2200km³ por año, el país presenta regiones con problemas de abastecimiento de agua de calidad, por cuenta de la contaminación y la ineficiencia en la gestión del recurso (Red de Desarrollo Sostenible, 2014).

Con el tiempo la calidad del agua a nivel mundial ha ido en constante cambio, siendo esta de no muy buena calidad. Con el fin de incrementar el bienestar de la comunidad, se han planificado una serie de estrategias para solucionar muchos problemas sanitarios, debido al conjunto de patologías transmitidas por agua de dudosa potabilidad; por lo tanto, se debe

verificar su calidad sanitaria mediante monitoreo permanente para evitar epidemias (Cardona, 2011).

Resulta fundamental analizar los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua para determinar si es necesario tratarla y adoptar el proceso óptimo para alcanzar la calidad demandada (Romero, 2009). Además de evaluar sus parámetros, es de suma importancia obtener buenos resultados de calidad, para que pueda ser comparado con los estándares de calidad de la Organización Mundial de la Salud (Orellana, 2005).

Los parámetros físicos y químicos brindan amplia información sobre las propiedades de las sustancias presentes en el agua, pero no brindan información sobre su efecto en la fauna y flora acuática; los métodos biológicos brindan esta información, pero no indican ninguna información sobre contaminantes, por eso gran cantidad de investigadores reflexionan sobre la necesidad de combinar ambos tipos de evaluaciones (Orozco , Pérez, Gonzáles, Rodríguez, & Alfayate, 2005).

Bajo este contexto, el marco de actuación para agua potable y sus parámetros en Colombia ha sido consagrado en la resolución 2115 de 2007, en la cual se establecen máximos permisibles para parámetros físicos, químicos y microbiológicos. En este sentido, el agua para consumo humano no debe exceder las 15 UPC (Unidades de Platino Cobalto), la turbiedad debe estar por debajo de 2 UNT (Unidades Nefelométricas de turbiedad); debe haber ausencia de total de sabor y olor, la conductividad no debe sobrepasar los 1000 microsiemens/cm y el pH debe oscilar entre 6,5 a 9,0 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

En la *tabla 1*, se presentan los valores máximos permisibles para otros parámetros químicos de la resolución 2115 de 2007.

Tabla 1

Características Químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Fuente: Resolución 2115 de 2007, Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Si los compuestos señalados en la *tabla 1*, sobrepasan el umbral permitido, es necesario realizar la respectiva identificación y posterior evaluación, todo en concordancia con el mapa de riesgo del municipio y lo estipulado por la autoridad competente con jurisdicción en el área (Min de Ambiente, 2007)

En cuanto a la calidad microbiológica del agua en el capítulo 3 de la resolución 2115 del 2007, establece que desde un punto de vista microbiológico, las características microbiológicas del agua utilizada para el consumo humano deben estar dentro del siguiente rango de valor máximo aceptable, que se basa en el límite de confianza del 95% y la tecnología con capacidad de detección de 1 unidad de entrenamiento en la colonia, 1 microorganismo en muestra establecida (UFC) o de 100 cm³:

Tabla 2*Características microbiológicas*

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm ³	< de 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm ³	0 microorganismo en 100 cm ³
Presencia – Ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

Fuente: Resolución 2115 de 2007, Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

No obstante, dentro de las características fisicoquímicas que establece la resolución del agua para consumo humano, los cuales no podrán sobre pasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas, que se señalan a continuación:

Tabla 3*Características Físicas*

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

Fuente: Resolución 2115 de 2007, Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Con respecto a la conductividad, el valor máximo aceptable de conductividad puede ser tan alto como 1000 microsiemens / cm. Este valor se puede ajustar en función del valor medio habitual y el mapa de riesgos de la zona. En general, un aumento en el valor de conductividad del agua de la fuente en más del 50% indica un cambio sospechoso en la cantidad de sólidos disueltos, y su fuente debe ser investigada inmediatamente por las autoridades de salud y

ambientales y los proveedores que proveen o distribuyen el agua para el consumo humano (Min de Ambiente, 2007).

El valor de pH del potencial de hidrógeno del agua para consumo humano debe estar entre 6,5 y 9,0.

Por otro lado, las ventajas de los métodos fisicoquímicos se basan en el hecho de que, en comparación con los métodos biológicos, basados en la observación y medición de determinadas comunidades biológicas en las aguas, su análisis suele ser más rápido y se puede monitorizar con mayor frecuencia. Estos métodos analíticos son herramientas básicas para definir la calidad física y química del agua, fundamental para diseñar sistemas de depuración adecuados que cumplan con las especificaciones establecidas por la normativa vigente. En definitiva, el conocimiento de estas tecnologías y los métodos gravimétricos y volumétricos actuales utilizados para analizar las características físicas y químicas del agua son muy importantes (Chacón Chaquea, 2016).

El índice de calidad bacteriológica del agua es bacterias coliformes. El coliforme se define como todas las bacterias aeróbicas y anaerobias facultativas, gramnegativas, no formadoras de esporas y redondas, y pueden fermentarse para formar lactosa gaseosa a las 48 horas y 35 o C. Las razones para elegir este indicador son las siguientes: aunque los coliformes generalmente no son patógenos (a menos que se encuentren en grandes cantidades), son residentes normales de los intestinos de humanos y ciertos animales. Esto hace que la presencia de coliformes en el agua sea un signo de contaminación fecal, por lo que también pueden estar presentes bacterias patógenas (Ramírez, 2021).

En la resolución 2115 del 2007 también se establece el IRCA (Índice de riesgo para la calidad del agua para consumo humano) como un mecanismo de tipo cuantitativo que permite

establecer a través de porcentajes la calidad del agua potable de un sector. Así pues, valores menores al 5% se consideran agua apta para consumo humano y, por encima de este umbral se cataloga como agua no apta e inviable sanitariamente.

En este sentido, la calidad del agua es un indicador que, a través del análisis de sus parámetros permite establecer sus posibles usos e impactos en la salud humana (National Sanitation Foundation, 2006). Para simplificar y tener practicidad, se han implementado también el Índice de Calidad del Agua (ICA) y el Índice de Contaminación (ICO), los cuales permiten mayor simplicidad a la hora de manejar parámetros que pueden ser fácilmente interpretada por técnicos, gerentes ambientales y autoridades competentes. La principal diferencia entre ellos radica en la forma de evaluar el proceso de contaminación y el número de variables a considerar al formular cada indicador (Ott, 1978).

En resumen, el índice ICA es un valor numérico que permite calificar la calidad de una muestra de agua, el cual ha tomado gran importancia para evaluar las tendencias y usos futuros de cuerpos de agua (Wills & Irvine, 2013; Valcarcel, Alberro, & Frías, 2009).

En el ejercicio de la política pública y en su monitoreo de impacto, el índice de calidad del agua -ICA se ha convertido en una sencilla herramienta para evaluar los recursos hídricos básicos (Liou, Lo, & Wang, 2004). De acuerdo con (Rodríguez, Ramos, Romero, & Hernández, 1997; Behar, Zúñiga de Cardozo, & Rojas, 1997) el ICA se define como una expresión simple de combinaciones más o menos complejas de muchos parámetros que representan la calidad del agua. Los índices pueden ser representados mediante símbolos, letras, colores y demás formas útiles y prácticas según el caso.

En Colombia, a nivel general, se han realizado diferentes estudios sobre el desarrollo o adecuación del ICA en respuesta a las características ambientales de determinadas fuentes superficiales. En este sentido el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2002) ajustó el ICA-NSF de acuerdo con las condiciones específicas, con base en el análisis del comportamiento temporal y espacial, se redujo el número de parámetros que constituyen este parámetro y se modificó el porcentaje de peso de acuerdo a cada parámetro.

Ramírez y Viña derivaron el índice de contaminantes-ICO a partir de componentes principales (PCA), el cual es aplicable a la información física y química generada por diferentes estudios petrográficos relacionados con la industria petrolera Colombiana. Estos índices representan las mismas condiciones ambientales por pares, agrupando las variables físicas y químicas para determinar cómo está la contaminación en un cuerpo hídrico en específico. Actualmente existen nueve tipos de ICO, entre los que destaca el ICOMO orgánico, ICO - ICOMI - para mineralización e ICO - ICOSUS - para sólidos (IDEAM, 2013).

A pesar de los enormes esfuerzos de Colombia, la falta de actualización en equipos y procedimientos, el avance apenas se ha notado en la inclusión de estos índices (IDEAM, 2002). Es importante destacar el trabajo realizado por Google Valley Regional Corporation (CVC) y Google Valley University, esta última desarrollada en el proyecto de caracterización y modelado matemático del río Cauca (PMC) denominado Icauaca (Icauaca). El índice de calidad del río Cauca que considera diez variables: Nitrógeno total, DO, pH, color, turbidez, DBO5, fósforo total, SST, ST y coliformes fecales (CVC-UNIVALLE, 2004).

Calidad de agua de consumo en el municipio de Ocaña, Norte de Santander

Sistema de captación y potabilización de agua del municipio de Ocaña

A continuación, se presenta la descripción del sistema de tratamiento de agua en el municipio de Ocaña, de acuerdo con lo descrito en el “Informe preliminar ambiental, Calidad del agua para el consumo humano en los 39 municipios sujetos de control de la contraloría general del departamento Norte de Santander 2017- 2018”.

La planta de potabilización en donde el servicio es operado y gestionado por la empresa de servicios públicos ESPO S.A. Sociedad privada y jurídica constituida el 13 de octubre de 1994 en forma de sistema accionario.

El agua utilizada en el acueducto de la ciudad de Ocaña proviene de los ríos Algodonal y Tejo (Ver figura 1 y 2). Estas fuentes hacen parte de la cuenca del río Catatumbo, y el caudal mínimo estimado en verano es de $0,8 \text{ m}^3$ y $0,07 \text{ m}^3$ para los ríos Algodonal y Tejo, respectivamente.

Figura 1

Captación río algodonal



Fuente: Informe Diagnóstico - Municipio de Ocaña (p.44), por DGA Ingeniería (2014).

Figura 2

Captación río tejo.



Fuente: Informe Diagnóstico - Municipio de Ocaña (p.44), por DGA Ingeniería (2014).

Se encuentra en las coordenadas geográficas de $8^{\circ} 13'21''$ de latitud y $73^{\circ} 19'27''$ de longitud. Se obtuvo la concesión de la Corporación Autónoma Regional Frontera Nordeste (CORPONOR) hasta el 12 de julio de 2012, donde se podía captar 182 l/s.

La estructura de admisión adopta un funcionamiento hidráulico transversal y el caudal de diseño es de 456 l/s. La construcción está en buen estado.

La cuenca cuenta con procedimientos de mantenimiento, no tiene capacidad, estabilidad, problemas funcionamiento (Operación y mantenimiento), aunque si posee los implementos para el mantenimiento regular de la estructura. Según la información proporcionada por el operador del sistema, la calidad biológica, física y química del agua cruda es normal y la estructura sí tiene capacidad, por lo que se sabe que el caudal mínimo es de 50 l/s.

En el punto de captación ubicado sobre el río Algodonal, la trampa de arena consta de dos tipos de módulos convencionales. El tamaño total de cada módulo es de 4,0 m de ancho, 32,0

m de largo, y 1,0 m de profundidad, con un volumen de 128 m³ y un caudal de diseño de 456,0 litros por segundo; aunque actualmente opera a con un caudal real de 240 l/s. En términos generales, su estado es bueno, contando además con limpieza hidráulica cuatro veces al mes.

Por su parte, la trampa de arena situado en el río Tejo, está compuesta por módulos convencionales. El tamaño total del módulo es de 13,0 m de largo, 2,5 m de ancho y 1,5 m de profundidad, con un volumen efectivo de 48 m³ y un caudal de diseño de 136,1 l/s. Aunque actualmente el caudal que maneja es de 91 l/s.

Calidad del agua para el consumo humano para el municipio de Ocaña 2017-2018

El comportamiento del IRCA en el municipio de Ocaña para el periodo comprendido entre el 2017 a 2018 se expone en la tabla 2, con información del Instituto Departamental de Salud de Norte de Santander.

Tabla 4

IRCA Municipal zona Urbana

IRCA municipal	2017	2018
Zona urbana	0.66 (Sin riesgo)	0.00 (Sin riesgo)
Zona rural	27.4 (Riesgo medio)	0.00 (Sin riesgo)

Fuente: Instituto Nacional de Salud (2017-2018).

Estudios realizados al río Algodonal

A continuación, se presentan estudios realizados por diferentes autores y sus conclusiones, respecto a la calidad del agua de consumo de Ocaña y sus fuentes de captación.

Análisis microbiológico de la calidad del agua del río algodonal en el tramo comprendido entre los municipios de Abrego y Ocaña, Norte De Santander (Miranda, Ramírez, & Angarita, 2016)

Para el año 2016, durante el mes de marzo Miranda *et al.* (2016) realizaron un muestreo trimestral en el río Algodonal, siguiendo los lineamientos y protocolos establecidos por la EPA (Environment Protection Agency), y el INS (2011) Instituto Nacional de Salud, los cuales establecen los lineamientos generales para este tipo de estudios. En este caso, se aplicó una metodología análisis *in situ*.

Para la toma de muestras, Miranda *et al.* (2016) ubicaron 5 estaciones en la pendiente del río Algodonal, donde se analizaron las poblaciones existentes en ellas en temporada lluviosa y temporada de menos lluvia. Sus principales hallazgos se describen a continuación:

Estación 1. El agua, tuvo un color amarillo distintivo, que pudo ser causado por el contacto con varios estados de descomposición de desechos orgánicos (como hojas y madera) a ambos lados del lecho del río. La contribución marrón obvia se debió probablemente a la presencia de diatomeas y cianobacterias en diferentes matrices a lo largo del corte.

Un estudio ecológico del río arrojó como resultado un estuario arenoso y pedregoso, que es conveniente para arrastrar e intercambiar material suspendido. No se detectaron olores desagradables, pero varios extractos de plantas descomponibles proporcionaron olores característicos y tolerables sin manifestar condiciones de mayor relevancia.

Estación 2. En la temporada menos lluviosa, mostró un color marrón amarillento distintivo, que es más claro que el color de la primera temporada.

Sin embargo, a diferencia del primer punto, no se observó ningún sustrato vegetal descompuesto. Por otro lado, en la segunda submuestra con menos temporada de lluvias, aunque presentó olor a pescado, puede provenir del alga *Chlorophyceae*.

Asimismo, según DIGESA (2014), puede haber tenido su origen en vertederos municipales e industriales o actividades microbianas relacionadas con bacterias metanogénicas. Cabe aclarar que las precipitaciones atípicas de los días anteriores (el impacto del cambio climático durante este período) pueden provocar que el flujo de agua se re-oxide y active las bacterias coliformes, que pueden ser utilizadas para eliminar material orgánico en procesos de tipo biológico.

Estación 3. Se observó que el color de apariencia del segundo punto era el mismo, pero el olor desagradable desaparecía. En este tramo hay rápidos, con una gran vegetación vegetal y troncos leñosos en los bordes salientes, que proporcionan hogares y sustratos a los macro invertebrados y algas bentónicas, que pueden reactivar el proceso de biodegradación-oxidación y hacer insípida la capa de agua. Como indicador biológico de agua de calidad.

Estación 4. Esta estación tiene la mayor concentración de material suspendido (Sólidos), lo que le da al agua un color distintivo. La tabla de resultados fisicoquímicos confirma que el valor de color natural es más alto (26 UPtCo) en comparación con otros puntos de control. Durante un período de movimiento sedimentario causado por la fluctuación del agua del río, el estuario de sección transversal formado por la acumulación de sedimentos se convierte en la capa de depósito de sedimentos acumulado en el tiempo, que se convierte en el mayor aporte a los

sólidos en suspensión en el cuerpo de agua. Sin embargo, las rodajas son insípidas y no tienen una relación particular con la existencia de una actividad biológica evidente. Debido a la falta de hábitats encontrados, no se puede generar discusión.

Estación 5. Desde un punto de vista sensorial, es muy similar al punto 1. A excepción de todos los afluentes que vierten aguas residuales agrícolas y domésticas (ARD) durante todo el proceso de llegar a la quinta estación, el agua es de color marrón claro debido a la adición de óxido nitroso. Fragmentos orgánicos. Existen múltiples hábitats en el tramo inodoro del río, y la diversidad de especies vegetales reconocidas en el borde es mayor, la filtración de la rizosfera puede promover la aireación del agua y al mismo tiempo actuar como sustrato para especies de algas que brindan el mismo servicio.

En las tablas 3 y 4, se resumen los resultados de parámetros analizados en laboratorio.

Tabla 5

Muestreo en las temporadas más lluviosas

Muestreo en las temporadas más lluviosas					
03-abril-2016					
Parámetro	E1	E2	E3	E4	E5
Caudal (l/s)	1,009	0,773	1,08	2,375	2,711
Recuento Coliformes totales (UFC/100mL)	5400	2500	700	3500	16000
Recuento, E. Coli (UFC/100mL)	790	750	700	330	130

Fuente: Miranda, Ramírez, & Angarita (2016).

Tabla 6*Muestreo en las temporadas de menos lluvia*

Muestreo en las temporadas de menos lluvia					
16-junio-2016					
Parámetro	E1	E2	E3	E4	E5
Caudal (l/s)	0,555	0,686	0,99	1,74	1,72
Recuento Coliformes totales (UFC/100mL)	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100
Recuento, E. Coli (UFC/100mL)	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100

Fuente: Miranda, Ramírez, & Angarita (2016).

De acuerdo a las tablas 3 y 4, se deja en evidencia como disminuye el caudal del río en temporada de menos precipitaciones, lo cual es algo natural, dada las capacidades de recuperación que cuenta la cuenca del río; aunque, no se puede desconocer el deterioro en el caudal del río a lo largo de los años, debido a la fuerte presión antrópica sobre la cuenca alta del río Algodonal. Ahora bien, referente a los resultados de Coliformes totales, estos se encuentran por debajo del límite permisible para cuerpos de agua dulce, lo cual posibilita este recurso para destinación doméstica con procesos estándar de potabilización, de acuerdo con el decreto 1594 de 1984; igual situación ocurre con le *E. coli*, sus colonias están por debajo del límite permisible, no representando ninguna dificultad para procesos de potabilización y consumo humano.

Informe diagnóstico caracterización del agua para el Municipio de Ocaña Norte de Santander (Secretaría de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2014)

La secretaría de agua potable y saneamiento básico realizó en el año 2014 un informe diagnóstico del Municipio de Ocaña en el cual, realizaron una investigación al tratamiento de acueducto y alcantarillado que se le está practicando actualmente y los principales hallazgos. Los temas abordados en el informe comprenden: Estudio de población, demanda y caudales,

evaluación de indicadores tales como cobertura, continuidad y calidad. Cabe resaltar que el Municipio de Ocaña cuenta con dos empresas de servicios públicos que abastecen a toda la población; por ello los indicadores abarcan ambas empresas.

Con base en la información obtenida de investigaciones previas y la evaluación del sistema de tratamiento de acueducto y alcantarillado, propusieron las siguientes conclusiones del sistema: Acueducto:

- El índice de cobertura de acueductos es del 100%, lo que significa que todas las casas de Ocaña están conectadas a la red de acueductos.
- El índice de continuidad del servicio de acueducto es del 87%. Este indicador se construye a partir de información obtenida de encuestas realizadas dentro del municipio, lo que indica que no todas las áreas del municipio de Ocaña brindan servicios las 24 horas.
- El índice de calidad IRCA del agua suministrada por el sistema de acueductos de ESPO es 0%, utilizando el último índice registrado y publicado por el Ministerio de Salud de Norte de Santander y el Instituto Nacional de Salud del Ministerio de Salud. 0% de IRCA significa que el agua suministrada está calificada sin ningún riesgo, lo que indica que el sistema de purificación de agua está funcionando bien.
- El índice de calidad IRCA del agua suministrada por el sistema de acueductos de ADAMIUAIN es 0%, utilizando el último índice registrado y publicado por el Ministerio de Salud de Norte de Santander y el Instituto Nacional de Salud del Ministerio de Salud. 0% de IRCA significa que el agua suministrada no es peligrosa.
- Las plantas de tratamiento de agua potable No. 1 y No. 2 se encuentran en buen estado, lo que se puede comprobar a partir de los registros fotográficos

proporcionados, y el buen funcionamiento de las plantas de depuración se puede comprobar por la calidad del agua suministrada, porque el IRCA es 0 % calificado como agua, no hay ningún daño para la salud.

- La planta de tratamiento de agua potable No. 3 se encuentra en mal estado, lo que se puede comprobar a partir de los registros fotográficos proporcionados, y el buen funcionamiento de la planta de depuración se puede comprobar por la calidad del agua suministrada, ya que el IRCA está calificado al 0%. Como agua, no daña la salud.
- Si bien los resultados obtenidos por el IRCA no indican que la fábrica de ADAMIUAIN deba realizar mejoras en el tratamiento del agua, en base a los resultados observados durante la visita, la fábrica se encuentra en mal estado, por lo que se recomiendan mejoras.
- El sistema de acueducto municipal tiene cuatro entradas con las siguientes características:

La primera estructura de captación trata el 27% del agua, la segunda trata el 70% del agua y la tercera trata el 3% del suministro de agua. La velocidad de la cuadrícula de la estructura de la cuenca No. 2 es 0.11 m / s, la cual es menor a 0.15 m / s, lo que indica que la cuadrícula está funcionando de la manera correcta. La escala de la red de captación es muy grande, porque no solo puede proporcionar el 70% del agua para la población del municipio, sino también para el 57% de la población rural.

La estructura de Captación No 3 no tiene las mejores condiciones de suministro del sistema, debido a que no tiene rejilla, por lo que es imposible evitar el paso de materiales de gran tamaño.

Dado que el arroyo no puede proporcionar suficiente flujo para capturar, la estructura de captación 4 deja de funcionar.

La tubería No. 1 cumple con las especificaciones de diseño porque su velocidad de flujo promedio está entre 1 m/s y 2.50 m/s. Los conductos No. 2 y No. 3 en las secciones de 2 y 3 pulgadas de diámetro deben reemplazarse porque su caudal promedio es mayor a 2,50 m/s, por lo que estos caudales son inconvenientes porque causan pérdidas excesivas en la tubería.

El sistema de acueducto cuenta con cuatro tanques de arena con las siguientes características:

El primer desarenador trata el 27% del agua, el segundo desarenador trata el 70% del agua y el tercero y cuarto trata el 3% del agua.

El tiempo de retención hidráulica del desarenador No. 1 es de 19,10 minutos, considerando que el tiempo de retención óptimo está entre 17 minutos y 23 minutos, el rango se encuentra dentro de este rango, lo que indica que el desarenador tiene el tamaño correcto y puede funcionar con normalidad. El volumen de la trampa de arena es insuficiente porque no puede satisfacer las necesidades del alcalde de la ciudad o el 27% de toda la población rural de la ciudad.

El tiempo de residencia hidráulica del desarenador No. 2 es de 20,90 minutos, que está dentro del rango de 17 minutos a 23 minutos considerando el tiempo de residencia óptimo, lo que muestra que el desarenador tiene el tamaño correcto y puede funcionar normalmente. La capacidad del recolector de arena es suficiente porque no solo puede proporcionar el 70% del agua para la población del municipio, sino también recolectar agua para el 3% de la población rural total de la ciudad.

El tiempo de retención hidráulica del desarenador n. ° 3 es de 15,79 minutos, considerando que el tiempo de retención óptimo es de entre 17 minutos y 23 minutos, el tiempo de retención hidráulica es muy corto. No es deseable un tiempo de residencia corto porque el recolector de arena no puede funcionar de manera correcta o eficiente. El volumen del recolector de arena es insuficiente porque no puede abastecer al 3% de la fuente de la ciudad o de toda la población rural de la ciudad.

El desarenador No. 4 se suspendió porque ningún porcentaje del tráfico llegó a la ciudad para abastecer algunas cabeceras municipales.

- Los tanques de almacenamiento de las plantas de tratamiento No. 1 y No. 2 cumplen con las especificaciones de diseño, a su vez la capacidad total de almacenamiento de agua disponible es de 9,960 m³, las cual es mayor al volumen mínimo requerido; siendo este el 20% de la diaria requerida. Por otra parte, el caudal diario municipal, además de abastecer de agua al 97% de la población del municipio, también puede abastecer al 24% de la población rural de la ciudad.
- Los tanques de almacenamiento de la Planta de Tratamiento No. 3 cumplen con las especificaciones de diseño, y el almacenamiento total de gas disponible es de 653,40 metros cúbicos, que es mayor que el volumen mínimo requerido, lo que equivale al 20% del caudal total municipal diario esperado por un día en 2038. Además de abastecer de agua al 3% de la población del municipio, también puede abastecer al 4% de la población rural de la ciudad.

Diagnóstico del uso actual del recurso hídrico utilizado por los acueductos municipales ubicados en la parte alta de la cuenca del río Algodonal (Rodríguez Pérez, 2015)

Mediante este estudio, se realizó un diagnóstico del uso actual para ese año (2015), del recurso hídrico utilizado por los acueductos municipales ubicados en la parte alta de la cuenca del río Algodonal, donde se realizó seguimiento a cada uno de los parámetros establecidos en los planes de ahorro y uso eficiente del recurso hídrico, de acuerdo a la normatividad y lo establecido en la ley 373 de 1997, además dieron un reporte del estado en que se encontraba el sistema de acueducto municipal de Ocaña.

En el estudio evidenciaron que las plantas están en buen estado, además de que todos los equipos funcionan con normalidad, también pueden procesar con precisión los sulfatos en función de la cantidad de agua de entrada, para que puedan procesarse con exactitud. Los equipos dosificadores ejecutan eficazmente este proceso, y la instalación está cerrada con buena seguridad, por lo que el personal externo no participa en la destrucción del proceso de depuración. Además, debido a la existencia de esta infraestructura, se han presentado una serie de deficiencias, en las captaciones del municipio ya que la infraestructura se encontraba agrietada, debido al desborde de la trampa de arena, se presenta humedad permanente, lo que debilita y puede provocar su colapso, y la vegetación se encuentra en un estado de baja protección, por lo que se ha realizado la intervención humana.

Al revisar las acciones administrativas relacionadas con la concesión de agua de la ciudad, pudieron encontrar que la concesión es para dos fuentes de suministro de agua, las cuales surten, el agua potable suministrada al municipio, por parte Río de tejo y Río Algodonal a lo cual sus fuentes de protección se encontraban en limitadas condiciones de conservación.

La zona de captación de los recursos hídricos es de terreno llano y suelo arcilloso que, debido a la intervención humana provocada por las actividades productivas y ganaderas, alteraron artificialmente la capa de protección natural. El área de captación del río algodonal es una presa de tipo lateral, ubicada en el lecho del río, con rejillas para retener el material sólido.

Contaminación del río Algodonal por pesticidas (Avendaño, 2016)

Otro estudio relacionado con la calidad del agua del municipio de Ocaña, determinó los contaminantes provenientes de pesticidas en el río Algodonal zona Ocaña y Ábrego, en donde aplicaron una metodología de investigación de tipo experimental, con la finalidad de determinar, sustancias contaminantes que estaban siendo vertidas directamente al recurso hídrico, con la finalidad de evaluar la calidad del agua, determinar los pesticidas que se encuentran, calcular su concentración, y determinar posibles riesgos sanitarios en el cuerpo de agua.

Este proyecto se definió en cuatro fases:

En la primera fase realizaron un reconocimiento, evaluación y formulación del problema del estudio que se realizó, en la segunda fase recolectaron información y bases de datos y por último en la fase tres fue exploratoria donde realizaron el trabajo de campo.

En donde obtuvieron los siguientes resultados:

Las visitas del autor a la zona y las entrevistas con los residentes de la zona mostraron que, en primer lugar, los agricultores no son conscientes de los riesgos de los plaguicidas utilizados. Además, no existe una gestión adecuada de los residuos de estos productos. También pudieron observar que algunas botellas de estos productos fueron arrojadas a los canales de riego y a las aguas de los ríos Frio y Oroque, que luego más adelante forman el Río Algodonal campo.

En los canales de riego de esta zona, pudieron ver a los agricultores mezclando pesticidas con agua de riego, y luego este exceso de solución (mezcla pesticida-agua) continúa fluyendo hacia las aguas de los ríos y no tiene control sobre el río Algodonal campo.

Además, pudieron observar que la mayoría de las compras comerciales de agroquímicos que utilizan los agricultores de esta zona se obtienen a través del contrabando, estas sustancias ingresan al país sin ningún control sanitario, además algunos países de América del Sur permiten su uso y venta de plaguicidas. Así mismo, los agro insumos aplicados al ser de contrabando, vienen en presentaciones con altas concentraciones del ingrediente activo, lo cual sumado al exceso de dosis que utiliza el campesino en esta zona agudiza el problema de contaminación en cuerpos hídricos cercanos, dada las altas concentraciones de pesticidas presentes en las aguas residuales agrícolas que son vertidas sin ningún tratamiento a cuerpos hídricos como el río Algodonal

A pesar de que se realicen campañas, éstas no son suficientes para solucionar este problema. Por ello, es necesario implementar una política de formación y publicidad entre los agricultores para mejorar el estado de sus productos y asegurar que realizan una adecuada gestión del agua para no contaminar el río Algodonal campo.

La calidad del agua para consumo humano mediante indicadores fisicoquímicos y microbiológicos en el río algodonal (Miranda, Ramírez y Sánchez, 2016)

Otra investigación que se le realiza a la calidad del agua del Municipio de Ocaña es titulada: “la calidad del agua para consumo humano mediante indicadores fisicoquímicos y microbiológicos en el río algodonal”, donde evaluaron a través de índices de contaminación la calidad del agua para consumo humano, comparándolo con estándares, a nivel nacional e

internacional de calidad establecidos en el Decreto 1594 de 1984, la OMS (1996) y la resolución 2115 de (2007); referente a la destinación del recurso hídrico para el consumo humano.

En el estudio, se recolectaron muestras sencillas y completas para evaluar sus parámetros físicos y químicos, parámetros de plaguicidas (carbamatos, organofosforados y organoclorados) y parámetros microbiológicos (coliformes fecales y *E. coli*)

Los resultados físicos y químicos no mostraron que la concentración excediera el máximo permitido por la normativa. No identificaron contaminación por mineralización (ICOMI) ni contaminación por materia orgánica (ICOMO) en la estación de evaluación. Los sólidos en suspensión (ICOSUS) en las estaciones E1 y E2 tienen menos impacto y menos lluvia.

Por lo anterior concluyeron que, en la parte de evaluación, la fuente de agua del río Algodonal es apta para el tratamiento de depuración convencional. Sin embargo, está restringido para su propósito principal y para fines de entretenimiento.

Entomofauna bioindicadora del río Algodonal, La Ermita, Norte de Santander (Granadillo Cuello, 2013)

En esta investigación, se realizó un estudio de entomofauna la cual fue bioindicadora para evaluar la calidad del agua del río Algodonal y fue titulada: “*Entomofauna bioindicadora del río Algodonal, La Ermita, Norte de Santander*”

Para realizar esta investigación, recolectaron tres estaciones de muestreo en la cuenca. Tomaron muestras en transeptos de 2000 de m² área por estación. Utilizó redes manuales, redes de agua y recolectores de trampas para la recolección. Recogió siete pedidos en cada estación: himenópteros, coleópteros, hemípteros, homópteros, dípteros, ortópteros, odonata, y un total de 431 individuos. Encontró siete familias indicadoras biológicas: *Cucurlionidae*, *Veliidae*,

Libelulidae, Coenagrionidae, Gelastocoridae, Muscidae y Culicidae, cuya importancia hizo que el autor clasifique el agua como clase IV o la calidad de sospechosa estar contaminada. Además, también evalúa in situ parámetros físicos y químicos, oxígeno disuelto 5,23 -7,57 mg / L, pH 7-8 y conductividad 31,8-55,4 μ S-cm, y admite pruebas de dureza total (mg / L), cloruro (mg / L) L La turbidez NTU determina que la calidad del agua es cuestionable y debe ser potable al beberla (Granadillo Cuello, 2013).

Valoración de la disposición a pagar por la protección del río Algodonal (Rodríguez, 2016)

Por otra parte, existe otra investigación titulada: “Valoración de la disposición a pagar por la protección del río Algodonal”, en este estudio, se determinó que los residentes de Ocaña estaban dispuestos a pagar para proteger los servicios ecosistémicos que brinda la cuenca del Algodonal, y luego se utilizó un método de marco lógico para describir la cuenca para ese año. Además, el autor, identificó los problemas, causas y consecuencias para proponer alternativas de preservación en la cuenca, y finalmente determinó las principales variables del modelo de valoración contingente, lo que le permitió establecer la disposición a pagar de Ocañeros como estrategia de financiamiento.

Capacidad máxima de asimilación del río Algodonal por la descarga de vertimientos de aguas residuales entre los municipios Ábrego y Ocaña, Norte de Santander (Caviedes Numa & Pérez Rincón, 2018)

Este estudio más reciente en cuanto a la calidad del agua, se logró evidenciar, que el comportamiento del río algodonal es constante en lo referente a la temperatura. Además, se logró evidenciar que el oxígeno disuelto se ve alterado por cuentas de vertimientos, pero luego se recupera, donde también establecieron 5 estaciones que fueron seleccionadas por criterio de los

autores entre la laguna de estabilización de ábrego y la planta de agua potable de la Empresa de Servicios Públicos de Ocaña (ESPO), siendo en la estación 3 donde el pH se estabiliza, luego de presentar un decrecimiento en tiempo de lluvias.

Conclusiones

En Colombia, para evaluar la calidad del agua se tiene establecido la medición de tres grupos de parámetros según la resolución 2115 de 2007: Físicos, químicos y biológicos. Según los reportes de la contraloría para los años 2017- 2018 se estaban cumpliendo dichos parámetros, pero no se logró obtener registros de resultados de monitoreo directamente de las empresas prestadoras de servicio. Así pues, en el municipio de Ocaña se cumple estos lineamientos al controlar y vigilar estos parámetros, resaltando los avances en medición de la calidad del agua con entomofauna y metodologías alternativas a las estándar emitidas por el Gobierno Nacional; sin embargo, estos esfuerzos son realizados por la academia, las empresas prestadoras se limitan a cumplir las mediciones básicas obligadas por el marco jurídico aplicable.

De acuerdo con el instituto departamental de salud de Norte de Santander, el agua para consumo de Ocaña para el periodo comprendido entre los años 2017 y 2018 cumplió con los parámetros de calidad de agua a nivel general, dado que entre los años 2017 y 2018 el IRCA se mantuvo en cero (0), sin embargo, este índice varió en el año 2017 en el área rural, donde, es muy posible que por falta de tratamiento adecuado se haya presentado tal situación; no obstante, es un tema que debe ser investigado más a fondo. Así mismo, para establecer un panorama más amplio y objetivo sobre el cumplimiento de la calidad del agua para consumo humano en Ocaña, debe abordarse con mayor profundidad los reportes de varios años, para de esta manera determinar con precisión las variaciones en el tiempo.

Además el volumen recolector de arena es insuficiente, el tiempo de retención hidráulico es muy corto, según el IRCA realizado en la empresa ADAMIUAIN en el año 2014 no necesita

mejorarse pero sí debe mejorarse la estructura ya que se encuentra en mal estado, por lo que se recomiendan mejoras, las cuales aún no han sido realizadas

Por otro lado, es importante resaltar que los estudios sobre calidad del agua que más se encuentran son del río Algodonal, dada su trascendencia regional, no obstante este es un factor interesante ya que es una falencia a nivel de la academia, puesto que se ha relegado a los otros cuerpos de agua, dejándolos de lado en cuanto a investigaciones y estudios se refiere.

Finalmente, dentro de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos que se le realizaron al agua cruda en el río Algodonal para el año 2016, se tiene que los parámetros microbiológicos evaluados en el muestreo de mayor precipitación son inferiores a los valores máximos permisibles especificados en el Capítulo 4 del Decreto N ° 1594/84 (Normas de Calidad Permisibles para el Destino de los Recursos de Consumo Humano y Doméstico) y el Reglamento Internacional establecido por la OMS-Organización Mundial de la Salud, (2008), tercera edición de las pautas de calidad del agua potable. En el color, en las 5 estaciones se obtuvo un color cambiante empezando de tonalidad café a amarillo, seguidamente el olor, presentó varios cambios el más evidente en la estación 3 con un olor pescado que podría ser una clase de algas *chlorophyceae*, teniendo en cuenta que en las demas estaciones muestreadas no se presentaron olores ofensivos, siendo estos parámetros fisicoquímicos lo más evaluados dentro de dicho estudio y que además dentro de los resultados microbiológicos que fueron realizados al cuerpo hídrico dentro de un análisis estadístico descriptivo de variables microbiológicas Coliformes fecales y E. Coli, cuya relación muestra un 95% de nivel de confianza, según los datos obtenidos por dicha investigación.

Referencias

- Avendaño Chinchilla, J. M. (2016). *Contaminación del río Algodonal por pesticidas* [Ponencia]. Seminario binacional por la protección y conservación de la cuenca del catatumbo. https://ufpso.edu.co/ftp/pdf/memorias/feah/cuenca_catatumbo/Ponencia2.pdf
- Behar, R., Zúñiga de Cardozo, M., & Rojas, O. (1997). Análisis y Valoración del Índice de Calidad de Agua (ica) de la NSF: Caso Ríos Cali y Meléndez. *Ingeniería y Competitividad*, 1(1), 17-27. https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/%20articulo%20/view%20/2361
- Cardona Aguilar, D. C. (2011). *Caracterización del agua cruda del Río la Vieja como fuente superficial para el proceso de potabilización de EMCARTAGO S.A. E.S.P.* [Trabajo de grado, Universidad tecnológica de pereira]. Repositorio. <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2570/62816C268c.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Caviedes Numa, S., & Pérez Rincón, J. (2018). *Capacidad máxima de asimilación del río Algodonal por la descarga de vertimientos de aguas residuales entre los municipios Ábrego y Ocaña, Norte de Santander* [Trabajo de grado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Repositorio. <http://repositorio.ufpso.edu.co/bitstream/123456789/1874/1/31429.pdf>
- Chacón Chaquea, M. Y. (2016). *Análisis físico y químico de la calidad del agua*. Ediciones USTA.

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/11511/Paginaspreliminares.2016Chaconmyriam.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Contraloría general del Departamento Norte de Santander. (2019). *Informe preliminar ambiental, Calidad del agua para el consumo humano en los 39 municipios sujetos de control de la contraloría general del departamento Norte de Santander 2017- 2018*. Cúcuta:

Universidad Francisco de Paula Santander.

CVC-UNIVALLE. (2004). *Proyecto de modelación del río Cauca –PMC-Fase II., Volumen X, Estudio de la calidad del agua del río Cauca y sus principales tributarios mediante la aplicación de índices de calidad y contaminación, tramo Salvajina – La Virginia, Corporación Autónoma del*. Santiago de Cali: Universidad del valle.

DGA Ingeniería. (2014). *Contratación de una consultoría especializada para la actualización de los indicadores y la generación de un diagnóstico técnico de la línea base de la infraestructura en la prestación de servicios públicos, para el departamento norte de Santander*. Gobernación de Norte de Santander.

http://www.pdanortedesantander.com/wp-content/uploads/lineabase2014/dg-PT-14-INFORME_DIAGN%C3%93STICO_OCA%C3%91A.pdf

Granadillo-Cuello, J. A. (2014). Entomofauna bioindicadora del río Algodonal, la Ermita, Norte de Santander. *Revista Ingenio*, 6(1), 112–117. <https://doi.org/10.22463/2011642X.2028>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2000). *Estudio Nacional de Águas*. <http://www.ideam.gov.co>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2002). *Sistema de Información Ambiental de Colombia –SIAC- Primera generación de Indicadores de la*

Línea Base de la Información Ambiental de Colombia.

http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=18942&shelfbrowse_itemnumber=19969

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2013). *Sistema de Información Ambiental de Colombia*. Obtenido de <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=69&conID=261>

Instituto Nacional de Salud. (2017-2018). *Reporte IRCA*. INS-SIVICAP.

http://aplicacionespruebas.ins.gov.co/sivicap_new/default.aspx

Levine, A. (1998). *tesis UTEA*. Abancay.

Liebman, H. (1969). *Atlas of water quality: methods and practical conditions*. Munich: R. Oldenbrough.

Liou, S. M., Lo, S. L., & Wang, S. H. (2004). A Generalized Water Quality Index for Taiwan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 35-52.

Madigan, M. (2012). *BIOLOGIA DE LOS MICROORGANISMOS*. Madrid, España: Pearson.

Ministerio de Ambiente. (2007, 22 de junio). Resolución 2115 de 2007. *Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*. https://fenavi.org/wp-content/uploads/2018/05/Res_2115_220707-Calidad-Agua-Potable-1.pdf

Ministerio de Medio ambiente. (2002). *Conceptos, Definiciones e Instrumentos de la Información Ambiental de Colombia*. Bogotá: Sistema de Información Ambiental de Colombia, SIAC.

- Miranda-Sanguino, R. , Ramírez-Martínez, R.D. y Angarita-Castilla, W. (2016). Análisis microbiológico de la calidad del agua del río Algodonal en el tramo comprendido entre los municipios de Ábrego y Ocaña, Norte de Santander. *Revista Ingenio*, 11(1), 189–200. DOI:<https://doi.org/10.22463/2011642X.2115>.
- Miranda-Sanguino, R. A., Ramírez, R., & Sánchez-Ortíz, E. A. (2017). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano mediante indicadores fisicoquímicos y microbiológicos en el río Algodonal. *Revista Ingenio*, 10(1), 131–141. <https://doi.org/10.22463/2011642X.2088>
- Orellana, J. A. (2005). *Características del Agua Potable*. Lima.
- Orozco , C., Pérez, A., Gonzáles, M., Rodríguez, F., & Alfayate, J. (2005). *Contaminación ambiental una visión desde la química, Tercera edición*. España: Thomson Editoriales Spain Paraninfo, S.A.
- Ott, E. R. (1978). *Environmental indices: theory and practice*. Michigan: Aa Science, Ann Arbor.
- Ramírez, C. A. (2021). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Ediciones de la U.
- Rodríguez Pérez, J. F. (2015). *Diagnóstico del uso actual del recurso hídrico utilizado por los acueductos municipales ubicados en la parte alta de la cuenca del río algodonal* [Trabajo de grado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Repositorio. <http://repositorio.ufpso.edu.co/bitstream/123456789/1328/1/26861.pdf>

Valcarcel, L., Alberro, N., & Frías, D. (2009). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Medio Ambiente y Desarrollo. Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*, 9(16), 1-5.

<http://ama.redciencia.cu/articulos/16.01.pdf>

Wills, M., & Irvine, K. N. (2013). Application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index in Cazenovia Creek, NY, Pilot Watershed Management Project. *Middle States Geographer*, 95-104.