



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

UNIVERSIDAD DE MOA

“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”

FACULTAD DE GEOLOGÍA \_ MINAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

# Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero Geólogo

**Título: Evaluación de la calidad de las aguas  
de consumo humano del municipio Frank  
País.**

**Autor:** Rosibel González Yaque

**Tutores:** Dra. Moraima Fernández Rodríguez

Ing. Marianela Crespo Lambert

Moa, 2022

“Año 63 de la Revolución”

## Pensamiento

“Estudia la naturaleza, ama la naturaleza, acércate a la naturaleza. Nunca te fallará.”

Frank Lloyd Wright



“¿Y por qué hay que ahorrar agua? No solo porque la necesitamos en la agricultura y el riego de todos los hidropónicos y otros cultivos agrícolas, sino como un arma contra las crecientes sequías del país, un país donde se alternan las grandes lluvias, los ciclones y las grandes sequías.”

Fidel Castro Ruz



## **Dedicatoria**

Dedico esta tesis:

- ❖ A Dios por ser la fuente impulsora de mi vida y al cual le debo todo lo que he llegado hacer hasta ahora.
- ❖ A mis queridos padres Mariela Yaque Reyes y Mario González Moreno por todo su apoyo, comprensión, su ayuda en los momentos precisos.
- ❖ A mis hermanos Rosabel González Yaque y Yorman Ponce Yaque.
- ❖ A mi abuelita Rosa Reyes Tamayo por sus buenos consejos y apoyo incondicional en los momentos que siempre lo necesité.
- ❖ A mi novio Luis Enrique Ricardo Durán y mis queridos suegros Dania Durán Caballero y Luis Manuel Ricardo Herrera.
- ❖ A todos mis tíos Clara, Silvia, Reyna, Ramón, Rubén, Leonide, Miguel Elier y José Fausto a todos los que contribuyeron a mi formación como profesional de las geociencias.
- ❖ A cada una de las personas que me han apoyado de una manera u otra han estado a mi lado.

Muchas gracias.

## **Agradecimientos**

A Dios y la Revolución Cubana por darme esta oportunidad ya que gracias a ella he podido convertirme en una profesional. Especial agradecimiento a mi amada madre Mariela Yaque Reyes y mi padre Mario González Moreno porque gracias a ellos he llegado hasta aquí, sin su apoyo, confianza, cariño y dedicación no sería lo que soy hoy. A mis tutoras la Dra. Moraima Fernández Rodríguez y la Ing. Marianela Crespo Lambert por transmitirme sus conocimientos y por dedicarme su tiempo cuando los necesité. Al claustro de profesores del Departamento de Geología. A todos mis amigos y compañeros de la brigada de Geología gracias por sus buenos consejos y su ayuda en los momentos precisos. Mis más profundos agradecimientos a todas esas personas que me quieren y me supieron comprender a lo largo de estos 5 años de estudio.

A todos muchas gracias.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	10
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	12
<b>Introducción</b> .....	12
<b>Agua potable</b> .....	12
<b>Calidad natural</b> .....	12
<b>Agentes contaminantes</b> .....	12
<b>Contaminación del agua</b> .....	12
<b>Legislación ambiental</b> .....	14
CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	15
<b>1.1. Introducción</b> .....	15
<b>1.2. Ubicación geográfica del área de estudio</b> .....	15
<b>1.3. Suelos</b> .....	16
<b>1.4. Clima</b> .....	16
<b>1.5. Demografía</b> .....	16
<b>1.6. Características socioeconómicas de la región</b> .....	16
<b>1.7. Relieve</b> .....	17
<b>1.8. Hidrografía</b> .....	18
<b>1.9. Fauna</b> .....	18
<b>1.10. Vegetación</b> .....	18
<b>1.11. Geología de la región</b> .....	19
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
<b>2.1. Introducción</b> .....	21
<b>2.2. Etapa preliminar</b> .....	22

2.2.1. Trabajos realizados en el Mundo y Cuba sobre el análisis de calidad de las aguas.....	22
2.3. Etapa de trabajo de campo, muestreo y laboratorio. ....	31
2.3.1. Trabajo de Campo .....	32
2.4. Trabajo de Laboratorio .....	33
2.5. Procesamiento y análisis de la información. ....	34
Evaluación de la calidad de las aguas por su composición física-química .....	34
CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE CONSUMO HUMANO DEL MUNICIPIO FRANK PAÍS.....	
3.1. Introducción.....	37
3.2. Descripción de los puntos de muestreo.....	37
3.3. Evaluación y clasificación de las aguas de Frank País por su composición química y propiedades físicas .....	39
3.3.1. Clasificación de las aguas por su mineralización según Aliokin.....	40
3.3.2. Clasificación de las aguas por su dureza total según Aliokin .....	40
3.3.3. Salinidad (%).....	41
3.3.4. Alcalinidad (mg/L) .....	42
3.3.5. Temperatura (°C) .....	42
3.3.6. Conductividad (µs/cm).....	43
3.3.7. Turbidez (NTU).....	44
3.3.8. Sólidos totales Disueltos (STD) (mg/L) .....	44
3.3.9. Materia orgánica (mg/L).....	45
3.3.10. Sulfatos SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L).....	46
3.3.11. Sílice SiO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> (mg/L).....	46
3.3.12. Calcio Ca <sup>2+</sup> (mg/L).....	47
3.3.13. Magnesio Mg <sup>2+</sup> (mg/L) .....	48

3.3.14. Cloruros Cl <sup>-</sup> (mg/L) .....	49
3.4. Clasificación de las aguas por su posible utilización en la agricultura.....	50
3.4.1. Salinidad potencial (SP), según Aceves y Palacios (mg. eq/l) .....	50
3.5. Plan de medidas de prevención y mitigación a la contaminación de las aguas de consumo humano del municipio Frank País.....	51
CONCLUSIONES .....	52
RECOMENDACIONES.....	53
BIBLIOGRAFÍA.....	54

## RESUMEN

El agua es vital para el ser humano y el desarrollo de la vida en el planeta; en los últimos años se ha visto afectada debido a diferentes causas naturales y antrópicas, siendo necesario su evaluación, por tal motivo surge la presente investigación cuyo objetivo es evaluar la calidad de las aguas de consumo humano del municipio Frank País, para conocer su estado actual y tomar medidas para su conservación. Se determinaron las características físico-químicas de estas y se clasificaron según diferentes autores, la norma NC 827:2017 y la OMS, 2006, se determinaron las principales fuentes de contaminación que afectan a estas aguas de consumo y propusieron medidas de control y mitigación de la contaminación. Estas aguas se clasifican por su mineralización en aguas dulces, por su dureza total en aguas duras, algo duras y blandas. Se consideran como aguas aptas para consumos humanos pues no sobrepasan los límites máximos admisibles de las normas, aunque se debe aplicar la desinfección a través de la aplicación del cloro. Se consideran para su utilización en la agricultura como aguas buenas para el riego. Las principales fuentes de contaminación identificadas son el mal tapado de los pozos y cisternas, el baño de personas y animales aguas arriba del río Grande y el fregado de autos. Se propone un plan de acción para prevenir y mitigar la contaminación como realizar un correcto tapado de los depósitos de agua, realizar señalizaciones donde se prohíba el baño de personas en el área y realizar acciones de educación ambiental.

## **Abstrac**

Water is vital for human beings and the development of life on the planet; In recent years it has been affected due to different natural and anthropic causes, its evaluation being necessary, for this reason the present investigation arises whose objective is to evaluate the quality of the water for human consumption of the Frank País municipality, to know its current state and take measures for its conservation. The physical-chemical characteristics of these were determined and classified according to different authors, the NC 827:2017 standard and the WHO, 2006, the main sources of contamination that affect these drinking waters were determined and proposed control and mitigation measures pollution. These waters are classified by their mineralization in fresh waters, by their total hardness in hard, somewhat hard and soft waters. They are considered as waters suitable for human consumption because they do not exceed the maximum admissible limits of the regulations, although disinfection must be applied to through the application of chlorine. They are considered for use in agriculture as good water for irrigation. The main sources of contamination identified are poorly covering wells and cisterns, bathing by people and animals upstream of the Rio Grande, and washing cars. An action plan is proposed to prevent and mitigate contamination, such as correctly covering the water tanks, making signs prohibiting people from bathing in the area, and carrying out environmental education actions.

## INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para mantener la vida y el equilibrio ecológico de nuestro planeta; es indispensable en el mantenimiento de las funciones de los organismos y de los ecosistemas, se utiliza en la producción de alimentos, para cubrir las necesidades de agua potable de las poblaciones humanas, en la higiene personal y la producción industrial y pesquera. La conservación de los recursos hídricos constituye una de las actividades prioritarias de la comunidad científica de nuestro país e internacionalmente, por ello el estudio de la problemática ambiental, la contaminación y calidad de las aguas subterráneas y superficiales es de vital importancia.

Como consecuencia del aumento demográfico, el acelerado desarrollo industrial y el cambio climático en los últimos años en el planeta; la calidad del agua se ha visto afectada directamente, tanto de las aguas superficiales como subterráneas, esto es una importante preocupación a escala internacional y nacional por lo que se implementan medidas para su protección y conservación. En el país se toman acciones respecto al tema, una de ellas lo constituye la Tarea Vida como Plan del Estado en el enfrentamiento al cambio climático que ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de las aguas, y así detectar variaciones y dar la alerta anticipada de cambios en su calidad. Además del Plan de desarrollo sostenible hasta 2030 donde uno de los indicadores constituye garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos proponiendo como metas de aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar ya aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial. Aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.

En el municipio Frank País predominan los pozos criollos utilizados para el abasto de agua además de un sistema de acueducto implementado en un pozo. La gran mayoría de estos pozos no presentan las condiciones higiénicas sanitarias necesarias para emplear el agua extraída de ellos en el consumo humano. A esto se le suma el poco conocimiento que

presentan los pobladores del área sobre la calidad de las aguas de consumo y las enfermedades asociadas de ingerir aguas no aptas para este fin.

Por tal motivo surge la siguiente investigación titulada: “**Evaluación de la calidad del agua de consumo humano del municipio de Frank País**”. Esta a su vez presenta como **problema científico**: la necesidad de evaluar la calidad de las aguas de consumo humano en el municipio Frank País, para conocer su estado actual.

**Objeto de estudio:** aguas de consumo del municipio de Frank País.

**Campo de acción:** estudio de las propiedades físicas - químicas de las aguas.

**Objetivo general:** evaluar la calidad de las aguas de consumo humano del municipio Frank País, para definir su estado actual y tomar medidas para su conservación.

**Hipótesis:** si se evalúa la calidad de las aguas de consumo humano del municipio Frank País, se puede definir su estado actual y tomar medidas de control y mitigación de la contaminación, garantizando un suministro de agua potable a la población.

**Objetivos específicos:**

1. Determinar el estado higiénico sanitario de las fuentes de abastecimiento de agua del municipio Frank País.
2. Evaluar las propiedades físico-químicas de las aguas de consumo humano del municipio Frank País, según las NC 827:2017, NC 1021: 2014 y Norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006).
3. Proponer medidas para prevenir y mitigar la contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua.

# **MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

## **Introducción**

Los recursos hídricos son esenciales para toda forma de vida, pues sostiene el desarrollo del planeta. Este recurso es vulnerable a sufrir impactos, actualmente acrecentados por los fenómenos de cambios climáticos, contaminación, desertificación, deforestación y sequías, derivados de prácticas inadecuadas que inciden en el ciclo hidrológico, se requiere una mejor administración para propiciar su uso racional, alcanzable solo con una adecuada gestión.

Para efectuar una buena investigación es imprescindible conocer los trabajos realizados en Cuba y el Mundo sobre esta problemática. La recopilación de información sobre los estudios desarrollados en los últimos años, permiten actualizar la temática con el objetivo de obtener resultados sobre los estudios de evaluación de la calidad de las aguas a través de los ICA. Para ello se hace necesario conocer una serie de definiciones sobre calidad y contaminación de aguas.

## **Agua potable**

Agua que no ofrezca peligro para la salud humana por sus características químicas, físicas, biológicas y radiológicas al ser usada como bebida, en la preparación de alimentos, aseo personal y otras actividades que impliquen el contacto directo del agua con los seres humanos (NC 827:2017).

## **Calidad natural**

Conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que presenta el agua tal y como la encontramos en estado natural, en los ríos, manantiales, en el mar y en el subsuelo. Entre estas características tenemos la temperatura, contenidos de microorganismos, gases disueltos, cantidad de sales en disolución (Fernández Rodríguez, 2003).

## **Agentes contaminantes**

Incluyen los iones presentes cuando se encuentran en elevadas concentraciones, los metales pesados, las bacterias, los virus, los gases disueltos, los compuestos orgánicos, entre otros (Fernández Rodríguez, 2003).

## **Contaminación del agua**

Se define la contaminación del agua como el vertido en ella de productos diversos, de modo que el agua adquiere unas propiedades tóxicas para los seres que en ella habitan, y se

convierte en no apta para el uso a la que la destina el hombre. Generalmente el agua se contamina debido a las actividades humanas (Fernández Rodríguez, 2003).

### **Fuentes de abastecimiento subterráneas**

Aguas provenientes de los mantos subterráneos tanto libres como confinados (NC 1021:2014).

### **Límite máximo admisible (LMA)**

Mayor valor admisible de una característica química, física o microbiológica para el cual no existen evidencias de que signifique un riesgo para la salud humana (NC 827:2017).

### **Conductividad eléctrica (C.E.)**

Capacidad del agua para conducir la electricidad, depende del grado de mineralización de las aguas; con el aumento de la mineralización aumenta también la conductividad eléctrica (De Miguel Fernández, 2012).

### **Turbidez**

Se define como la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz se disperse y no se transmita a través de la suspensión (Deloya Martínez, 2006).

### **Salinidad**

Acumulación excesiva de sales, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y nitratos de sodio, potasio, calcio y magnesio en aguas y suelos, provocando el deterioro de esos recursos naturales. Un curso de agua superficial (río, arroyo), al pasar por un área con terrenos salinos, se puede cargar con cantidades mayores de sales dando lugar a la salinización del mismo (Custodio & Llamas, 1983).

### **Sólidos totales disueltos (STD)**

Los sólidos disueltos totales (STD) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica (MO) que están disueltas en el agua. Los STD presentes en el agua de consumo humano provienen de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales (OMS, 2006).

## **Legislación ambiental**

### **A nivel internacional**

En el ámbito internacional, se destacan las Guías de la Organización Mundial de la Salud para la calidad del agua potable (OMS, 2006) y la Directiva 98/83/CE de la Comunidad Europea.

### **Contexto jurídico institucional cubano**

El contexto jurídico institucional cubano está respaldado por los lineamientos y documentos del Partido Comunista de Cuba, los que abarcan, en sus aspectos fundamentales, las bases y el desarrollo de la política hídrica:

- ✚ La Constitución de la República de Cuba (2018).
- ✚ Lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución (300-303). Recursos Hidráulicos (2010).
- ✚ La Ley No. 81 de Medio Ambiente (1997).
- ✚ El Decreto-Ley No. 138 de las Aguas Terrestres (2018).
- ✚ La Estrategia Ambiental Nacional CITMA (2016-2020).
- ✚ Normas Cubanas (NC) del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH): NC-27:2002, NC 827:2017, NC 1021:2014, NC 93-01-209:1990, NC 23:1999.
- ✚ La Ley No. 124 de las aguas terrestres.

# CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

## 1.1. Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo destacar las características físico – geográficas y geológicas del área de estudio, su ubicación, la economía del territorio, la hidrografía, el relieve, el clima, el suelo, las precipitaciones y la vegetación para facilitar una mayor comprensión de la investigación.

## 1.2. Ubicación geográfica del área de estudio

Esta investigación se enmarca en la provincia Holguín, en el territorio del municipio Frank País situado al este de esta, en los 20° 40´ latitud Norte y los 75° 15´ longitud Oeste, el cual tiene una extensión territorial de 512 kilómetros cuadrados y una altitud de 20 metros, se encuentra ubicado al noreste de la provincia de Holguín. Limita al norte con el Océano Atlántico, al este con el municipio Moa, al sur con el municipio de Sagua de Tánamo y las provincias de Santiago de Cuba y Guantánamo y al oeste con el municipio Mayarí (Ecured,2022), (ver figura 1).

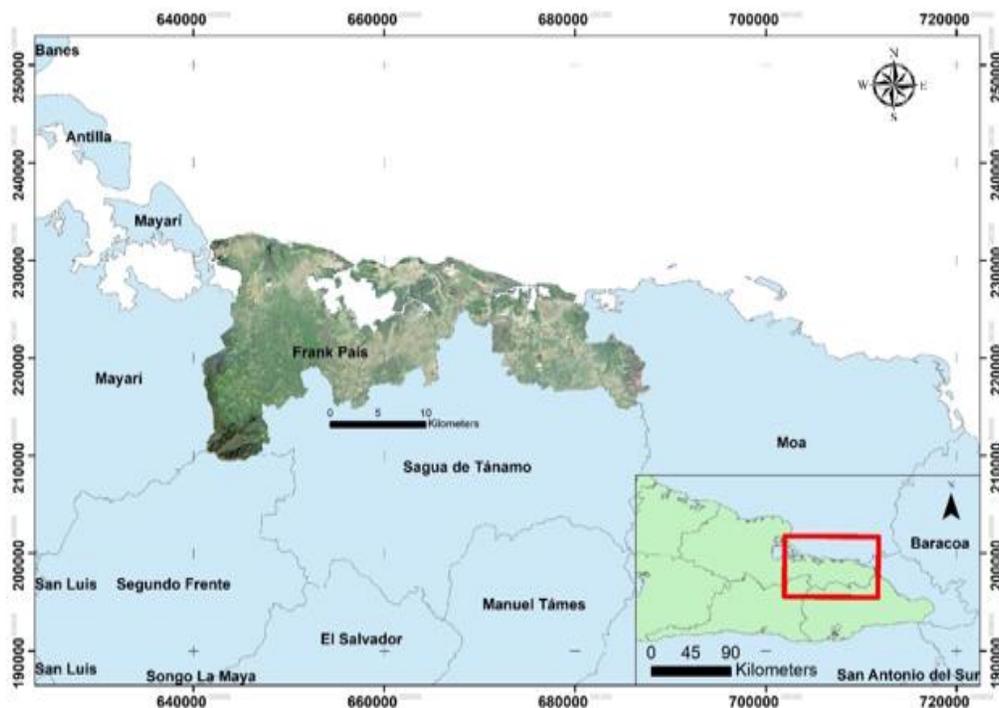


Figura 1. Ubicación del área de estudio

### **1.3. Suelos**

El municipio Frank País posee un relieve montañoso en toda su extensión, se asienta sobre una topografía que va desde ondulada hasta fuertemente ondulada con valores entre 3% y 35% de pendiente, los suelos que predominan en el territorio son los Pardos con Carbonatos (Ecured, 2022).

### **1.4. Clima**

El municipio de Frank País presenta una temperatura anual de 24,1 °C, el mes más frío es febrero con media de 20 °C, el más cálido es julio con media de 26,7 °C. La temperatura máxima media anual es de 38,7 °C, con máxima de 32,2 °C en los meses de julio y agosto y con mínima de 27,4 °C, en enero. La mínima media anual es de 18,9 °C, con máxima de 21,8 °C, en los meses de julio y agosto y mínima de 14,3°C en febrero.

La temperatura máxima absoluta fue de 37,59 °C ocurrida el 27 de abril de 1968 y la mínima absoluta fue de 3,4 °C el 21 de enero de 1971. La humedad relativa media anual es de 80%, con máxima de 86% en septiembre y octubre y una mínima de 715 en abril. La dirección predominante del viento es del este con una velocidad media de 6,4 km/h (Climate Data, 2022).

### **1.5. Demografía**

El municipio Frank País tiene una población total de 25 356 habitantes, distribuida de la siguiente forma: 10496 en la zona urbana y 14 860 en la zona rural y de montaña; de ella 13197 son hombres y 12 159 son mujeres.

Por otra parte, 8 630 de este total pertenece al área urbana y 18 628 a la rural, la densidad poblacional es de 56 habitantes por kilómetro cuadrado. Administrativamente está dividido el territorio en: Consejos Populares Urbanos: 2; Consejos Populares rurales: 6; Circunscripciones: 62; CDR: 312; Delegaciones de la FMC; 216 con 42 Bloques con 168 Agrupadas y 48 Delegaciones Directas (Ecured, 2022).

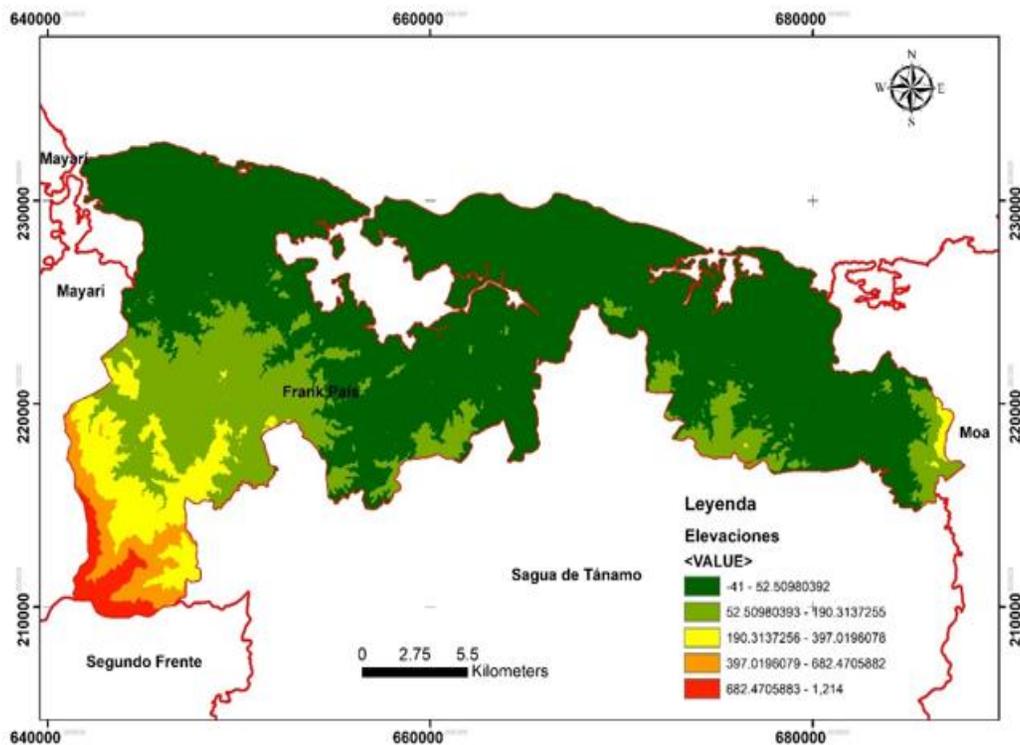
### **1.6. Características socioeconómicas de la región**

El municipio Frank País presenta como fuente económica la agricultura, la ganadería y el café en la zona montañosa, le sigue la industria, específicamente la camaronera Guajaca la más importante inversión acometida por la Revolución en el territorio y el Establecimiento Cárnico # 5 Frank País. La producción de leche de vaca es en la actualidad una de las fuentes de mayor ingreso; pues además de abastecer al municipio en su totalidad de la leche fluida, ayuda

a abastecer los municipios de Moa y Sagua de Tánamo, ofertándole a la población cayomambisera leche liberada. La agricultura se basa en la producción de viandas; tales como el boniato, la yuca, el plátano burro y el plátano macho entre otros productos, la producción de carne de cerdo y de oveja está entre las principales producciones del municipio. En los campos del municipio se producen anualmente alrededor de 145 toneladas de frutas, entre ellas: 79,1 de piña, 7,1 de mango y 23 de coco; las cuales se aprovechan en la elaboración de derivados como mermeladas, dulces y conservas (Ecured, 2022).

### 1.7. Relieve

El municipio Frank País es un territorio con predominio de pequeñas alturas y terreno ondulado. El territorio es semi- montañoso, destacándose entre sus principales elevaciones el área protegida Parque Nacional Pico Cristal con una extensión de 2 450 hectáreas, las cuales pertenecen a nuestro territorio con una elevación de 1 231 metros de altura sobre el nivel del mar, la más alta del municipio y la provincia y el macizo montañoso Nipe - Sagua – Baracoa (Ecured, 2022), (ver figura 2).



**Figura 2.** Mapa de elevaciones del municipio Frank País, escala 1:25 000.

## 1.8. Hidrografía

El municipio Frank País, presenta una red hidrográfica abundante, el territorio cuenta con 4 bahías y 13 cayos, la principal es Bahía de Tánamo entre dos puntas de tierra llamadas por su rumbo de Barlovento y Sotavento, en su interior hay formadas 3 ensenadas y 9 cayos los cuales son: Cayo Alto 40,9 hectáreas, Cayo Bruja 16,86 hectáreas, Cayo Rosario 6,14 hectáreas, Cayo del Medio 3,53 hectáreas, Cayo del Turrónes 1,05 hectáreas, Cayo Largo 44,76 hectáreas, Cayo Ratón 9,49 hectáreas, Cayo Juanillo 3,39 hectáreas, Cayo Limones 6,86 hectáreas, también se encuentra la Bahía de Cebolla en su interior tiene 2 cayos , Cayo Burén 26,48 hectáreas y Cayo Mora 2,79 hectáreas, la Bahía de Cananova en su interior tiene Cayo Los Perros 1,67 hectáreas y la Bahía de Saltadero con Cayo Grande 20,20 hectáreas. Contamos con 2 playas en buenas condiciones para fomentar el turismo nacional e internacional por los valores naturales que estas presentan que son: Playa Mejías y Playa Corinthya (Ecured, 2022).

## 1.9. Fauna

El municipio Frank País contiene variadas aves, es común ver en el campo el tomeguín del pinar, el de la tierra, la bijirita, la codorniz, el sinsonte, el judío, el sijú platanero, el totí, el zunzún, el aura tiñosa y el gavilán entre otros (Ecured,2022).

## 1.10. Vegetación

El municipio de Frank País tiene una vegetación abundante, propiciado esto por su condición de país tropical, se ve aún más motivado por sus tierras fértiles y clima propicio. Están presentes fundamentalmente en el territorio cuatro formaciones boscosas de las 16 existentes en el país que son: bosques caducifolios sobre suelo calizo, charrascales y manglares. Aparecen como seminatural los bosques, matorrales y comunidades herbáceas naturales y como vegetación cultural algunos cultivos agrícolas (Ecured, 2022), (ver figura 3).



**Figura 3.** Vegetación presente en el área de estudio **A:** Manglares, **B:** Charrascales, **C:** Bosques y matorrales.

### **1.11. Geología de la región**

La geología de la región se caracteriza por una marcada complejidad condicionada por un variado mosaico de litologías aflorantes y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el transcurso del tiempo geológico (Sera Ramos, 2018). El municipio Frank País se encuentra dentro del complejo ofiolítico Mayarí- Baracoa. En este macizo se pueden distinguir diferentes mantos de cabalgamiento, en los que se aprecian espejos de fricción y escamas tectónicas de diferentes espesores (ver figura 4).

El Cinturón Ofiolítico Mayarí-Baracoa (Cuba oriental) se compone de dos complejos ofiolíticos intensamente fallados: el macizo de Moa-Baracoa, situado en la región oriental del área de estudio, y el macizo de Mayarí-Cristal, que se encuentra en la región occidental. Estos dos complejos están formados principalmente por una secuencia mantélica constituida por harzburgitas con textura de tectonitas y menores cantidades de niveles duníticos, sub-concordantes con la foliación en las harzburgitas. Ambas litologías están instruidas por diques máficos y ultramáficos. En términos litoestratigráficos los dos macizos difieren considerablemente (Sera Ramos, 2018).

El macizo de Moa-Baracoa presenta una zona de transición manto/corteza (Moho transition zone) bien desarrollada constituida por dunitas, harzburgitas y, en menor medida, sills gabróticos, instruida por diques máficos relativamente abundantes. Las dunitas en la zona de transición manto/corteza están localmente impregnadas por fundidos basálticos lo que evidencia una interacción pervasiva entre el manto y fundidos percolantes. Hacia arriba en la secuencia litoestratigráfica reconstruida, el macizo de Moa-Baracoa presenta una unidad plutónica cortical compuesta principalmente por gabros olivinicos bandeados con escaso ortopiroxeno. Por otro lado, tanto la zona de transición manto/corteza como la unidad plutónica cortical están ausentes en la secuencia litosférica del macizo de Mayarí-Cristal (Cobas Torres, 2012).

Ambos macizos ofiolíticos carecen de afloramientos de la unidad de gabros isotrópicos y del complejo de diques paralelos, y están en contacto tectónico con rocas volcánicas de edad Cretácico Superior: las rocas de las Formaciones Morel y Quibiján con el macizo de Moa-Baracoa y las rocas de la Formación Téneme con el macizo de Mayarí-Cristal (Cobas Torres, 2012).

La Fm Quibiján se puede dividir en tres secuencias: inferior, media y superior. La secuencia inferior tiene un espesor de 550 m y está compuesta por basaltos, la media es parecida a la inferior, pero predominan las lavas-brechas y las tobas lapilíticas de grano grueso a fino, litoclásticas y litocristaloclasticas con estratificación gradacional y laminar. La secuencia superior no está bien aflorada y las rocas se presentan con agrietamientos intensos y metamorfozadas, aunque se puede observar diversos mantos de lavas basálticas microfaneríticas porfiríticas, a veces amigdaloidales con algunas intercalaciones andesito-basálticas porfiríticas de color verde oscuro (Cobas Torres ,2012).

La Fm. Téneme (Cretácico Superior-Inferior), está compuesta principalmente por flujos de basaltos, andesitas basálticas, tobas y brechas. Se encuentra en las cuencas de los ríos, Cabónico y Téneme y en la región de Moa. Aunque se han aportado pocos datos geoquímicos de estas rocas, algunos autores consideran que la Formación Téneme pudiera ser parte de un antiguo arco de isla tipo PIA (Cobas Torres ,2012).

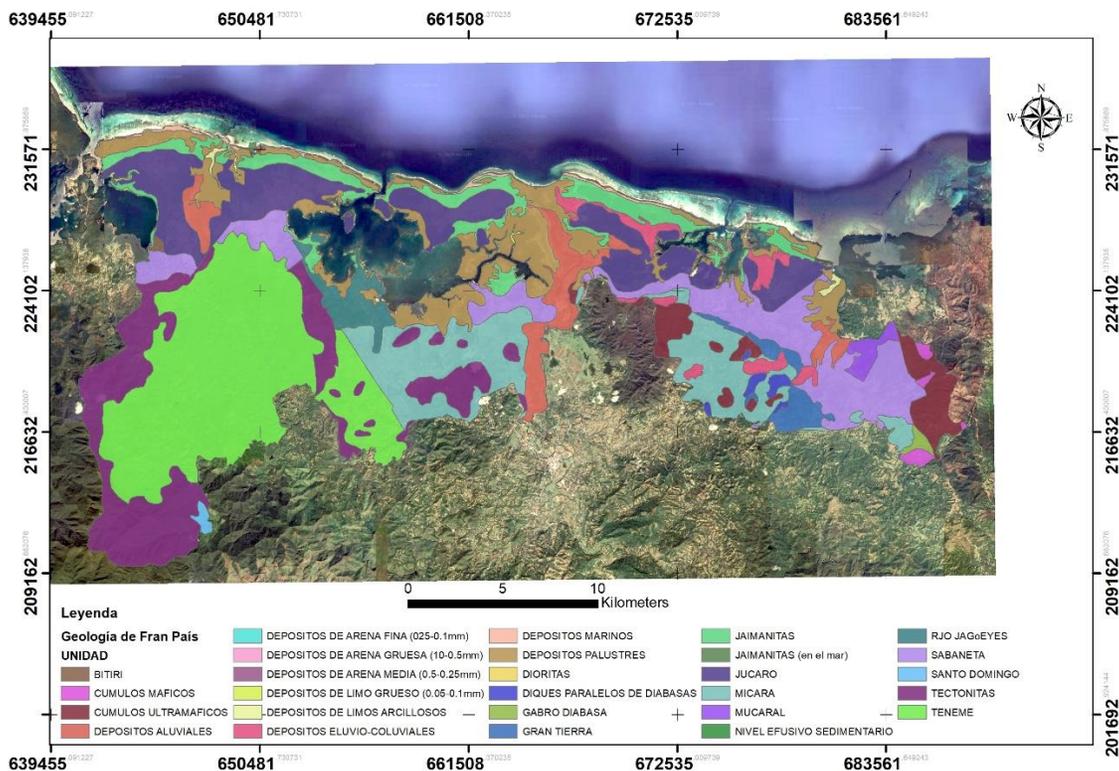


Figura 4. Mapa de la geología del área.



## **2.2. Etapa preliminar**

Con el fin de obtener la mayor cantidad de información posible sobre estudios desarrollados del tema en los últimos años, se hizo una búsqueda bibliográfica por medio de una revisión de trabajos de diplomas, tesis de maestrías, artículos científicos y otros documentos. Además, se consultó bibliografía actualizada sobre metodologías utilizadas en Cuba y en el mundo sobre el empleo de índices de calidad de aguas subterráneas y superficiales, lo que permitió de forma acertada conocer las vías más idóneas para la realización de la investigación.

### **2.2.1. Trabajos realizados en el Mundo y Cuba sobre el análisis de calidad de las aguas**

En el mundo se han realizado innumerables estudios referentes al tema en los que se destacan la aplicación de diferentes ICAS, algunos de estos se reflejan a continuación:

Brown, R. M.; McLelland, N.I. Deininger, R.A. Y O'Connor M.F., 1972. A water quality index- Crashing the Psychological barrier. Se realiza una fundamentación teórica para el establecimiento de un Índice de calidad de agua para el manejo y gestión de Corrientes superficiales.

Lumb, A.; Halliwell, D.; Sharma, 2006 monitorearon los cambios en la calidad de las aguas de cinco sitios en la subcuenca Mackenzie-Great Bear, en Canadá. En cada uno se usó un grupo de variables o protocolos en dependencia de la disponibilidad de datos y de estándares regulatorios de los usos del agua.

Carrillo & Villalobos, 2011 los mismos explican que el desarrollo comercial en la zona norte del estado de Veracruz se incrementa, por lo que la afluencia de empresas nacionales y transnacionales traen consigo mayor desequilibrio a los principales cuerpos de agua, y el impacto directo e indirecto es inevitable. Por lo que los autores se proponen el objetivo de calcular el índice de calidad de agua y a partir de ello realizar un análisis estadístico comparativo para conocer el impacto generado por las actividades antropogénicas y con ello dar posibles propuestas de solución. El índice de calidad del agua se determinó por el método propuesto por Brown que es una versión modificada del "WQI" que fue desarrollada por la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU.

Quinapanta, Elexandra & Donoso Cruz, 2013 realizaron una investigación en la cual caracterizaron la calidad del agua de la microcuenca del río Pachanlica de la provincia de Tungurahua en Ecuador, tomaron como base la metodología ICAsp de Montoya el cual

contempla el análisis de 18 parámetros entre físico-químico y bacteriológicos. La cual tuvo como resultado que el río muestra contaminación con un valor promedio de ICA 40,71 %.

Bracho Fernández, I. A., 2015. Evaluación de la calidad de las aguas para consumo humano en el sector Ancón bajo II, municipio Maracaibo. Donde las principales fuentes de contaminación que afectan la calidad de las aguas en el sector llegan al medio ambiente a través de las actividades antrópicas y también ciertos procesos naturales. Los resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos demuestran que el agua de la tubería requiere tratamiento convencional completa para su potabilización. Mientras que las aguas tomadas de los pozos ubicados en las granjas: San Martín, "2", Los Cascabeles, Monte Santo y La Estancia San Benito, son salobres y para ser potabilizados requieren un tratamiento de desalinización. La Cañada Iragorry está altamente contaminada (aguas servidas) por lo cual no es una opción segura como fuente de abastecimiento y su tratamiento resultaría muy costoso para su potabilización.

Bracho Fernández & Fernández Rodríguez, 2017 evaluaron la potabilidad del agua para consumo humano en la comunidad de San Valentín, en el municipio venezolano de Maracaibo. Las muestras de distintas fuentes de abasto fueron analizadas desde el punto de vista físico, químico y bacteriológico. El método de análisis que se utilizó fue el método estándar, cuyos resultados fueron comparados con los valores establecidos como aceptables por las normas sanitarias venezolanas para la calidad del agua potable y los catálogos de calidad de agua emitidos por la Organización Mundial de la Salud. Se obtuvo que el agua de la tubería de aducción requiera tratamiento convencional completo para su purificación, mientras que el agua de los pozos requiere tratamiento de desalinización. La cañada Irragorry está altamente contaminada por lo que no es una opción como fuente de abastecimiento.

Damo & Icka, 2017 el objetivo de este estudio fue determinar la calidad del agua potable en la ciudad de Pogradec, Albania. Se analizaron los parámetros: sabor, olor, temperatura, pH, conductividad, turbidez,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , cloruro y carga microbiana. Los resultados indican que la calidad del agua potable en la ciudad de Pogradec es "buena" y la turbidez es el principal problema de calidad, supera los estándares de la norma. Para modificar este parámetro y aumentar la calidad del agua, durante el proceso de tratamiento se debe implementar el proceso de filtración.

Hassan, Al-Jibouri & Hakman, 2017 la calidad del agua de los sistemas naturales se volvió importante debido a su escasez en la mayoría de las regiones de Irak. Este estudio llevó a cabo una evaluación de la calidad del agua del río Diyala como uno de los afluentes del río Tigris durante el período de cuatro temporadas. Se seleccionaron tres sitios a lo largo del río y se eligieron ocho factores ambientales: temperatura del agua, pH, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, demandas bioquímicas de oxígeno, alcalinidad total, fósforo total y nitrógeno total. Los resultados mostraron que la calidad del agua del río varió de pobre a marginal.

Zhang et al., 2017 expone que, como consecuencia de la intensa explotación de aguas subterráneas en la zona costera de la Bahía de Lanzhou, el acuífero se ve afectado por procesos de salinización, se altera la calidad del agua. Se realizaron estudios isotópicos e hidrogeoquímicos basados en muestras de agua de 102 pozos de observación y la evaluación de componentes químicos como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$  y TDS. El estudio confirmó una sobreexplotación del agua subterránea y de acuerdo con el estándar de calidad del agua de China, los resultados revelan altos riesgos de contaminación por nitratos y fluoruros. Por lo tanto, se recomienda el tratamiento del agua antes de beber, esto es necesario para reducir el riesgo de exposición de la salud.

Khare, 2017 evalúa la calidad del agua subterránea en seis distritos principales de Madhya Pradesh en el centro de la India, tomaron muestras de todos los pozos de las tuberías rurales y los pozos excavados en el área, en total 831 pozos excavados y 47,606 pozos tubulares y se analizaron las concentraciones de iones de turbidez, dureza, hierro, nitrato, fluoruro, cloruro y sulfato. Determinaron que partes de las zonas rurales habitadas estuvieron potencialmente expuestas a aguas subterráneas contaminadas. Este trabajo proporcionó un impulso al gobierno estatal para desarrollar soluciones innovadoras con el fin de mejorar la calidad del agua subterránea en estas áreas. Para que este estudio fuese más completo le faltó evaluar otros parámetros que son necesarios en la calidad del agua como el contenido de calcio, magnesio, sodio, potasio, materia orgánica, y otros.

Giler, Gutiérrez, Mendoza, & Pérez, 2017 en la investigación se lleva a cabo el monitoreo de la calidad del agua en diferentes puntos de la presa Poza Honda y del río Portoviejo. El objetivo del estudio fue gestionar los procesos de contaminación que se producen en el acuífero, debido a las deposiciones de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas no controladas para su descarga. Se verificó que a medida que aumenta la distancia de la presa Poza Honda y el paso del río a través de diferentes asentamientos, aparecen características del agua que

no están de acuerdo con las regulaciones de calidad del preciado líquido, debido a la descarga controlada de diferentes tipos de residuos para el acuífero.

Díaz Sánchez, 2018 tuvo como finalidad determinar la calidad del agua del río Naranjo, mediante los coeficientes cinéticos de autodepuración, en el cual se determinaron parámetros físicos, químicos y biológicos como: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), temperatura, fosfatos, nitratos, turbiedad y sólidos totales disueltos. Se establecieron tres estaciones de monitoreo; en las estaciones 001 y 002 presentan oxígeno crítico con valores positivos, sin embargo, en la estación 003 presenta valores de oxígeno crítico con valores negativos, lo que significa que la estación 003 presenta contaminación orgánica y el proceso de autodepuración no logra recuperar la calidad del agua del río Naranjos después de la descarga de agua residual de dicha localidad.

Pérez, Nardini & Galindo, 2018 en el artículo se realizó una comparación entre diversos índices de calidad del agua (ICA) aplicados en 235,3 km del río Ranchería, La Guajira-Colombia. Al comparar los índices se presentaron importantes diferencias entre ellos, y mucho más en términos de las clases (calificación). Con este estudio se determinó que el agua del río Ranchería no debe usarse para contacto directo sin previo tratamiento y antes de su consumo humano requiere de procesos de potabilización especialmente desinfección rigurosa, por las altas concentraciones de organismos coliformes que favorece la presencia de enfermedades en la salud humana.

Torres, Cruz, & Patiño, 2018 esta investigación tuvo como fin generar una herramienta de gestión ambiental para el río Machángara, dentro del Distrito Metropolitano de Quito, desarrollar una metodología para el cálculo de un índice de calidad de agua, aplicar estadísticas descriptivas, correlaciones y análisis multivariante. Escogieron el índice CCME como modelo para la evaluación de la calidad del agua, seleccionaron las siguientes variables para la conformación del índice: T,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_3$ , OD, DBO, TDS y DET. Este índice tiene una deficiencia no contiene parámetros bacteriológicos, estos ocupan un papel fundamental en la determinación de la calidad del agua.

Herrera Apablaza et al., 2018 con el objeto de establecer una red de monitoreo y entregar recomendaciones a los regantes, se caracterizaron las propiedades físico - químicas de las aguas de las localidades del Oasis de Pica, pre cordillera del norte de Chile, su comportamiento temporal anual y se determinó su calidad para riego, además de interpretar factores que

inciden en su composición. Se gestionaron para la red 29 pozos a tres profundidades (acuífero profundo, intermedio y superficial) y se registró la temperatura, CE y pH en cuatro campañas entre 2016 y 2017. Se observan diferencias espaciales, pero no temporales de la calidad de las aguas subterráneas termales, neutras a levemente alcalinas. La gran mayoría son aguas adecuadas para el riego de acuerdo a CE, RAS y CSR, y no existe riesgo por metales y metaloides; excepto por % Na<sup>+</sup>, PSS, SP, boro y litio (citrícos) de origen natural.

Jiménez Parodi Tatiana & Edgar, 2018 realizaron la investigación "Análisis del uso y manejo del agua subterránea en la región caribe colombiana", para conocer el estado actual de su aprovechamiento y las buenas prácticas que se le da al recurso en esta región, así como mostrar el camino que se debe tomar para implementar acciones referentes, que contribuyan al buen manejo del recurso hídrico.

Asghari, Mohammadi, Dehghani & Yousefi, 2018 el objetivo de este estudio fue monitorear las características físicas y químicas de las aguas subterráneas, incluyendo Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, EC, pH, TDS, TH, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SAR, % Na<sup>+</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en la ciudad de Zanjan, Irán. Para evaluar los parámetros físico-químicos de 15 pozos, se recogieron y examinaron muestras de agua 4 veces en diferentes momentos. Los datos fueron analizados y modelados con el software Arc GIS. Los resultados muestran que el agua en el área de estudio basado en los estándares de la OMS, es adecuada para beber.

Llantuy & Michelle, 2019 determinaron el índice de calidad del agua propuesto por la National Science Foundation en la laguna de Colta, mediante dos muestreos realizados en los meses de noviembre y diciembre del 2018, con la finalidad de generar información primaria que aporte al conocimiento de este recurso hídrico y al seguimiento de los impactos ambientales presentados actualmente en apoyo a su conservación. Los parámetros analizados fueron: pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, variación de temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto y coliformes fecales, se obtiene un valor de 70,7 % en el ICA que se interpreta como de calidad regular; esto demuestra el estado aceptable para actividades recreativas, pero con cierto impacto en la biodiversidad del cuerpo hídrico.

Mosquera, Antonio & others, 2019 aquí se propone un índice de calidad del agua (ICA), como herramienta para el desarrollo sustentable en cuerpos de aguas superficiales de la ciudad de Bogotá, índice de Calidad de Agua Universidad Distrital Francisco José de Caldas (ICA-UDFJC), mediante la agregación de parámetros físico-químicos: oxígeno disuelto, pH, fósforo

total, nitratos, sólidos suspendidos totales, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total y grasas y aceites, a una fórmula matemática. Es un índice que puede ser usado para evaluar cualquier tipo de agua, siempre y cuando se tengan los valores de las concentraciones de los parámetros físico - químicos y se haga una asignación adecuada de los pesos relativos a cada parámetro físico- químico según su relevancia o contribución a la contaminación de las fuentes hídricas. En este índice no se incorporó los coliformes como uno de sus parámetros, el cual juega un papel decisivo en la calidad del agua.

En Cuba el estudio de las aguas y su calidad en los últimos años se ha ampliado, poniéndose de manifiesto el empleo de los Índices de Calidad de las Aguas como una herramienta de gran ayuda tanto para aguas subterráneas como superficiales, dentro de los trabajos realizados se encuentran los siguientes:

Trabajos anteriores realizados por investigadores del organismo responsable de la actividad hidráulica del país, demuestran que las principales causas, a escala nacional, del deterioro de la calidad del agua subterránea están asociadas con: la sobreexplotación de los acuíferos cársicos costeros, el uso intensivo de fertilizantes nitrogenados, el vertimiento incontrolado, en zonas de recarga, de residuales domésticos, así como los generados por las industrias agroalimenticia, agropecuaria y del azúcar y sus derivados.

El inicio del empleo de los índices de calidad del agua por autores cubanos data de la década del 70 en que González y Gutiérrez (1974), Gutiérrez, García y Beato (1979), García y Gutiérrez (1982) y García, Beato y Gutiérrez (1983) obtuvieron diferentes índices que hasta la actualidad, han sido empleados como herramientas para evaluar los resultados de programas de monitoreo y estudios intensivos de las aguas subterráneas y superficiales, así como ofrecer una clasificación de calidad de los recursos hídricos tanto en las cuencas superficiales como subterráneas. La metodología empleada para la construcción de estos índices fue la originalmente recomendada por Battelle (1973), utilizada de manera amplia en el campo internacional, la cual es de tipo deductivo. El ICAsub se corresponde con la línea de investigación ya utilizada en años anteriores por los autores cubanos, la que ha demostrado su efectividad para explicar el impacto de la actividad económica y social sobre la calidad de las aguas subterráneas.

Bates, B. C.; et. al., 2008. El cambio climático y el agua. El presente documento técnico explora las relaciones entre el cambio climático y el agua dulce. El aumento del nivel del mar ha sido tenido en cuenta únicamente en la medida en que pudiera influir sobre el agua dulce en áreas costeras e interiores. El clima, el agua dulce y los sistemas biofísicos y socioeconómicos están interconectados de manera compleja. Por consiguiente, la variación de uno de esos factores podría inducir un cambio en cualquiera de los demás. Los asuntos relacionados con el agua dulce son críticos a la hora de determinar vulnerabilidades clave, tanto a nivel regional como sectorial. Por ello, la relación entre el cambio climático y los recursos de agua dulce es fundamental para la sociedad humana, y tiene también implicaciones respecto a las demás especies vivas.

García Hidalgo, Y., 2013. Estrategia para la gestión sostenible del recurso agua. Estudio de caso: cuenca del río Naranjo provincia Las Tunas. Se exponen los principales resultados obtenidos en la investigación con el fin de proponer una estrategia para la gestión sostenible de los recursos hídricos en la cuenca hidrográfica del río Naranjo. Para alcanzar este objetivo se realizó un diagnóstico que incluye la revisión de la bibliografía referente al tema así como la realización de talleres participativos donde se aplicaron diferentes técnicas, herramientas y metodologías como: Tormenta de ideas, Matrices FODA, EPIR y Vezter sustentados en el criterio de expertos mediante el método Delphi, permitiendo identificar que el principal problema que afectan la gestión de los recursos hídricos es el deterioro de la calidad de las aguas para sus diversos usos. Como parte de la estrategia se proyectaron una serie de acciones consensuadas para disminuir los problemas que afectan la gestión sostenible de los recursos hídricos en la cuenca. Se evidenció un nivel de gestión de la cuenca, según el IsGC, actualmente se considera Media, luego de ejecutar parte de las acciones propuestas debe aumentar en más de 10 % la sostenibilidad en el año 2015.

González Cabrera, Peláez García & Sobrino Hernández, 2013 evalúan un sector de estudio que está ubicado en la cuenca Los Palacios, extendida al sur de La Cordillera de Guanigüánico, a continuación de la Falla Pinar. Como resultado de la evaluación realizada a los pozos perforados tanto de investigación como de explotación, así como de la interpretación de otros datos, se logró ubicar los depósitos de la cubierta. Se evaluaron los recursos de agua subterránea en Categoría B. Además, con óptica ambiental se evaluó la intrusión marina, representándose en un mapa la posición de la línea con 1g/L.

Balmaseda Espinosa & García Hidalgo, 2014 evalúan la calidad de las aguas con fines de riego de fuentes superficiales y subterráneas de la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas. Se utilizaron criterios de la FAO y del Instituto de Ingeniería Agrícola de Cuba para definir los valores deseables. Los resultados muestran que las aguas son clasificadas como pobres para el riego de cultivos agrícolas.

Fernández Rodríguez, M., 2014. Evaluación físico-química e higiénico sanitaria de la calidad de las aguas de consumo humano en las Empresas del Níquel y Centros Educativos en Moa. Muestra los resultados de la evaluación de las principales fuentes de agua de consumo en el municipio de Moa. Se realiza un muestreo hidroquímico a las principales fuentes de abasto de agua para la ciudad. Se evalúan las principales características físico-químicas y con los resultados de los análisis representados en tablas y gráficos se clasificaron las aguas según diferentes autores utilizando las normas nacionales e internacionales para agua potable, determinándose su grado de contaminación por elementos metálicos y elementos nitrogenados. Se realiza el análisis bacteriológico existiendo evidencias de contaminación, no existiendo calidad desde el punto de vista higiénico-sanitario con posibles influencias sobre la salud humana.

Batista Silva, J. L., 2016. Evaluación de los recursos hídricos de Cuba. En el documento el volumen de agua total en Cuba ha sido reexaminado, obteniéndose 32, 000 km<sup>3</sup>, valor inferior a los anteriormente publicados de 34 y 38 mil km<sup>3</sup>. La estimación se ha realizado sobre la base de cálculos detallados para 628 cuencas hidrográficas en condiciones naturales no reguladas.

Rubio Caballero, 2017 en la investigación sobre "Evaluación de la calidad de las aguas en el poblado La Melba", realizó un estudio físico-químico de las aguas y de la aplicación del índice de Montoya et-al 1997. Según los estudios de la calidad del agua estas se clasifican como aguas dulces según su mineralización, por su pH como aguas neutras y ligeramente básicas, por su dureza son aguas blandas y por el índice de calidad del agua según los parámetros utilizados como débilmente contaminadas y contaminadas. Según las normas cubanas establecidas la turbidez, el cadmio, el cromo, el hierro, el mercurio, el níquel, el nitrito, el plomo y el silicio se encuentra fuera de los valores máximos permisibles para ellos.

Pérez Jara, 2018 llevo a cabo una investigación titulada "Calidad de las aguas subterráneas Sector Hidrogeológico "La Melba", Moa, para evaluar su empleo como agua mineral natural envasada. En esta se caracterizó las aguas por sus principales características físico-químicas

y microbiológicas, además se pudo determinar los principales focos contaminantes que pueden poner en riesgo la sostenibilidad del uso de las aguas a mediano y largo plazo. Por lo que se pudo establecer las áreas más perspectivas para envasar. Las aguas por su composición físico-química y microbiológica son bicarbonatadas cálcicas y magnésicas.

Fernández Rodríguez, Nfundiko Christian, Guardado-Lacaba & Almaguer Carmenate, 2018 se presenta los resultados de una investigación en la cuenca hidrográfica del río Cayo Guam, para evaluar desde el punto de vista hidroquímico la calidad de sus aguas. A todo lo largo del cauce del río, en puntos anteriores a las fuentes contaminantes y posteriores a estas, se tomaron trece muestras en total. Los valores de las determinaciones químicas, físicas y bacteriológicas de las muestras se contrastaron con las normas cubanas vigentes para el control de las aguas terrestres. Se pudo establecer que la principal fuente de contaminación de las aguas es la exploración y explotación de distintos yacimientos (lateríticos, de cromitas, de áridos) en el cauce del río y aunque los valores de contaminación no son alarmantes, algunos elementos están por encima de las normas.

Crespo Lambert, 2018 en su trabajo de diploma con el título "Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey", determinó las principales fuentes de contaminación en áreas aledañas, las características físicas-químicas y bacteriológicas de las aguas, clasificó las aguas según diferentes autores y las normas nacionales e internacionales para agua potable. Implementó el ICA de Montoya para la evaluación de la calidad del agua y expresó los resultados en tablas y gráficos. Según las Normas Cubanas y la Norma de la Organización Mundial de la Salud, las aguas analizadas presentan valores menores del límite máximo admisible, por lo que son consideradas como aguas potables. Los resultados obtenidos por la metodología del Índice de Calidad de las aguas de Montoya arrojan que las muestras analizadas se clasifican en aguas no contaminadas y aguas aceptables.

Rodríguez Hechavarría Y., 2019 en su trabajo de diploma con el título "Evaluación de la calidad del agua de abastecimiento en los asentamientos rurales Cañete y Cupey mediante el Índice de Calidad de Agua CCME\_WQI", determinó las principales fuentes de contaminación que afectan las aguas de Cañete y Cupey, las características físico-químicas de estas y se clasificaron según los diferentes autores, las normas cubanas NC 827:2017, NC 1021: 2014 y la norma de la OMS, 2006. Implementó el Índice de calidad CCME\_WQI, para conocer su estado actual y proponer medidas de control y mitigación. Como resultado se obtuvo que la gran mayoría de las muestras analizadas se clasifican en cloruradas – magnésica – sódica. En

correspondencia con el índice de calidad de agua CCME\_WQI las aguas se clasifican en aguas buenas y aguas favorables.

Torres Rivero, 2019 en su trabajo de diploma con el título “Calidad de las aguas de consumo humano en los repartos Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico y Miraflores del municipio Moa”, determinó las fuentes de contaminación desde el tanque de almacenamiento de la planta potabilizadora hasta llegar a los diferentes depósitos domiciliarios y se evaluaron las características físicas y químicas de las aguas. Implementó el Índice integrador de Calidad de Aguas Superficiales (ICAsup) propuesta del Órgano Nacional de Cuencas Hidrográficas por Gutiérrez y García 2014, que permite evaluar de manera rápida y precisa los indicadores de calidad de agua. Como resultado se obtiene que las aguas se clasifican: siete de ellas como aguas de calidad aceptable, cuatro con excelente calidad y una medianamente contaminada.

Fernández Rodríguez, M; Guardado Lacaba, R. M, 2021 realizaron una evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICAsup) en el río Cabaña, Moa-Cuba, en el cual se evaluó la calidad del agua del río Cabaña (Moa, Holguín) mediante la aplicación del Índice de Calidad del Agua superficial (ICAsup) propuesto por Montoya y Contreras. Los resultados demuestran que la calidad del agua disminuye en el mismo sentido en que el río recorre su trayectoria desde la zona alta hasta la zona baja de la subcuenca. Se comprueba, además, que gran parte de la carga contaminante del río proviene de residuales industriales, desechos domésticos y descargas de albañales, que por su magnitud provocan la disminución de la capacidad de autodepuración del río.

Batista González, 2022 en su diploma con el título “Índice de calidad de las aguas del río Cayo Guam Moa, Holguín”, determinó la calidad de las aguas del río Cayo Guam, mediante el Índice integrador de calidad de agua (ICAsup), el análisis pluviométrico del área y los principales contaminantes que afectan la cuenca. Los resultados obtenidos reflejan actividad antrópica como la mayor fuente de contaminación y el índice de calidad reconocen la zona alta y media del río como aguas poco contaminadas, y aceptable en la zona baja de la cuenca.

### **2.3. Etapa de trabajo de campo, muestreo y laboratorio.**

Con el objetivo de cumplir las diferentes tareas propuestas se estableció la presente etapa, la misma parte del levantamiento hidrogeológico a escala 1: 25 000, continúa con la toma de muestras de las aguas en el área de estudio y posteriormente la determinación de los parámetros físicos-químicos de las mismas en el laboratorio.

### **2.3.1. Trabajo de Campo**

Durante esta etapa de trabajo se realizó una marcha ruta en los que se tomaron tres puntos en el área de estudio, se toma una muestra por cada uno para un total de tres muestras. Se describió la geología de la zona, la vegetación presente y las condiciones higiénico - sanitarias de las mismas, se identifican los posibles focos de contaminación que pudieran alterar las características físico - químicas y bacteriológicas de las aguas del municipio Frank País.

### **2.3.2. Técnica empleada para las tomas de muestras de agua en los puntos muestreados**

Al realizar una investigación hidrogeológica el muestreo hidroquímico ocupa un lugar de suma importancia, esto influye en la confiabilidad de los resultados de la misma. Al obtener una muestra de agua hay que tener en cuenta algunos requerimientos como son la limpieza de los recipientes para evitar una contaminación de la misma, el volumen debe de ser suficiente para realizar los análisis de las mismas, entre otros parámetros.

Dentro de los principales requisitos en la realización del muestreo hidrogeológico es la correcta manipulación de las muestras la cual debe estar ausente de procesos de deterioro o de contaminación antes de iniciar los análisis en el laboratorio. Para la toma de muestras en los tres puntos, primeramente, se procedió al endulce del recipiente, que no es más que el enjuague dos y tres veces del mismo con la propia agua que se muestrea. Este procedimiento es necesario para evitar la alteración de las propiedades del agua muestreada. El recipiente fue rellenado hasta la boca para evitar la concentración de oxígeno y serrado herméticamente.

**Etiquetas:** para prevenir confusiones en la identificación de muestras, en el momento del trabajo del campo, se escribió con tinta a prueba de agua, en cada uno de los recipientes utilizados, la identificación CM1, CM2 y CM3 que representa el lugar y el número del punto analizado.

**Libreta de Campo:** aquí se registró toda la información pertinente a las observaciones del campo y de muestreo, localización del punto de muestreo con sus fotografías del sitio, descripción del área, entre otros datos de interés.

**Muestreo:** es importante tener en cuenta que el resultado de un análisis depende de la forma y el lugar de donde se toma la muestra, por lo que, para garantizar la confiabilidad e imparcialidad de los mismos, es necesario e importante observar las condiciones de limpieza química de los recipientes. El muestreo se realizó en el horario establecido 8.00 am- 11.30 am.

## 2.4. Trabajo de Laboratorio

**2.4.1. Entrega de la muestra en el laboratorio:** las muestras se entregaron después del muestreo en el tiempo establecido, en el laboratorio de análisis de agua de la Planta potabilizadora perteneciente a la Empresa ECG donde se determinó de las propiedades físicas y químicas de las muestras tomadas.

Propiedades físicas y químicas determinadas: Sólidos totales disueltos (STD), Dureza total, Temperatura, Alcalinidad, Turbidez, Conductividad, % de Salinidad, Materia orgánica, Calcio, Magnesio, Cloruro, Sílice, Sulfato.

**Tabla 1.** Equipos empleados para la realización de los análisis físicos.

Propiedades físicas	Unidades	Equipos utilizados
Alcalinidad	mg/L	Colorímetro de mano HI775
Conductividad eléctrica	$\mu\text{s}/\text{cm}$	Conductímetro
Turbidez	NTU	Colorímetro
Sólidos totales disueltos	mg/L	Gravímetro
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	Termómetro

**Tabla 2.** Equipos empleados para la realización de los análisis químicos.

Propiedades químicas	Unidades	Equipos utilizados
$\text{SO}_4^{2-}$	mg/L	Valoración volumétrica
$\text{SiO}_2^{2-}$	mg/L	Espectrofotometría de Absorción Atómica
$\text{Ca}^{2+}$	mg/L	Valoración volumétrica
$\text{Mg}^{2+}$	mg/L	Valoración volumétrica
$\text{Cl}^-$	mg/L	Valoración con $\text{AgNO}_3$
MO	mg/L	Método permanganato de potasio
Salinidad	%	Potenciométrico WTW UNICAM
D.Total	mg. eq/L	Valoración volumétrica

Los resultados se expresan en miligramos por litros (mg/L), conductividad en micro siemens por centímetro ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), salinidad en por ciento (%), la turbidez en unidades nefelométricas (NTU).

## **2.5. Procesamiento y análisis de la información.**

A partir de los resultados obtenidos en el laboratorio se procesó la información mediante metodologías existentes, esto permitió la clasificación de las aguas según diferentes autores, así como el empleo de diferentes softwares lo que propició cumplir el objetivo. El Microsoft Word se utilizó para confección y configuración del informe de la investigación. Se empleó el Microsoft Excel en la realización de las tablas y cálculos que definen las características específicas de cada muestra. La confección de los diferentes mapas fue posible gracias al software ArcGIS. Se empleó Microsoft Power Point en la realización de la ponencia de este trabajo.

La interpretación de los análisis físico-químicos se expresaron mediante tablas, gráficos, diagramas y las diferentes clasificaciones, para simplificar los datos y facilitar su mejor comprensión principalmente cuando se realizan comparaciones entre varias muestras y se analiza el comportamiento de los elementos químicos en el área de estudio. Se clasificaron las aguas de acuerdo a las normas nacionales (NC 827:2017 y NC 1021: 2014) e internacionales (OMS, 2006).

### **Evaluación de la calidad de las aguas por su composición física-química**

Para la evaluación de la calidad de las aguas se emplearon diferentes normas nacionales: Norma Cubana NC 827:2017, Agua potable - Requisitos sanitarios; Norma Cubana NC 1021: 2014 Higiene comunal; Fuentes de abastecimiento de agua - Calidad y protección sanitaria y otras analizadas; y normas internacionales como la aprobada por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006). Se emplearon las clasificaciones de varios autores en correspondencia con la composición química de las aguas y propiedades físicas de las mismas, recogidas en De Miguel Fernández, 2012.

### **Clasificación de las aguas según su mineralización**

Para determinar la clasificación de las aguas según su mineralización se basa en la clasificación de Aliokin, se utiliza la fórmula que relaciona mediante una fracción la sumatoria de los aniones y los cationes.

$$M = \frac{\sum A + C}{1000} (g / L)$$

**Tabla 3.** Clasificación de las aguas por su mineralización según Aliokin, (De Miguel Fernández, 2012).

Mineralización (g/L)	Denominación de las aguas
< 1	Aguas dulces
1-3	Aguas poco salinizadas
3-10	Aguas saladas
10-50	Muy saladas
> 50	Rasoles

### Clasificación de las aguas por su dureza

Está representada por el contenido total de sales de calcio y magnesio presentes en las aguas subterráneas, expresadas en miligramos equivalentes (mg. eq/L).

A través de la fórmula:  $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$  (mg. eq/L).

**Tabla 4.** Clasificación de las aguas por la dureza total según O. A. Aliokin (De Miguel Fernández, 2012).

Dureza (mg. eq/L)	Denominación de las aguas
<1,5	Muy blandas
1,5-3,0	Blandas
3,0-6,0	Algo duras
6,0-9,0	Duras
>9,0	Muy duras

### Clasificación de las aguas por su posible utilización en la agricultura

#### Salinidad potencial (SP), según Aceves y Palacios

Este índice considera que se produce la precipitación de las sales menos solubles, quedando en solución los cloruros y sulfatos, con lo que aumenta considerablemente la presión osmótica y actúan sobre el suelo a bajos niveles de humedad. La salinidad potencial se determina por la fórmula:

$$SP = Cl^{-} + \frac{1}{2}SO_4^{2-}, \text{ en mg. eq/l.}$$

**Clasificación de las aguas según Aceves y Palacios:**

- SP: <3 Aguas buenas para el riego
- SP: 3 – 15 Aguas condicionales para el riego (debe mantenerse control sobre el comportamiento químico del suelo)
- SP: >5 Aguas no recomendables para el riego

# **CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE CONSUMO HUMANO DEL MUNICIPIO FRANK PAÍS.**

## **3.1. Introducción**

En este capítulo se hace referencia a los resultados obtenidos en la investigación después de haber realizado las etapas anteriores. Se realiza una descripción de los puntos de muestreo, de las principales fuentes de contaminación presentes en el área y su acción sobre las aguas de este territorio, se analizan las características físico-químicas fundamentales que poseen las aguas lo que permite realizar sus diferentes clasificaciones. También se propone un plan de medidas de control y prevención de la contaminación de las aguas de consumo humano del municipio Frank País.

## **3.2. Descripción de los puntos de muestreo**

### **Punto de muestreo No. 1**

#### **Muestra No.1 Collazo 4.**

El punto de muestreo es un pozo criollo el cual se encuentra situado en la localidad de Collazo 4, en el momento del muestreo se encontraba tapado, aunque no de forma hermética (ver figura 6), por lo que se considera como una tapa no funcional, sus paredes se encuentran reforzadas con cemento, pero aun así esto no quiere decir que no lo haga vulnerable a la contaminación.



**Figura 6.** Pozo criollo muestreado con tapa no hermética.

## **Punto de muestreo No. 2**

### **Muestra No.2.Río Grande**

Este punto corresponde al río Grande, este río abastece al municipio del Cayo sin tratamiento y sin clorar. En el muestreo se pudo observar coloración de la muestra, turbidez y sólidos totales disueltos (STD) y presencia de materia en suspensión (ver figura 7). En la foto se representa el agua de muestreo, el cual estaba siendo utilizado para el traslado a la secundaria básica aledaña a ese lugar.



**Figura 7.**Turbidez en el punto de muestreo.

## **Punto de muestreo No.3**

### **Muestra No.3. Cisterna.**

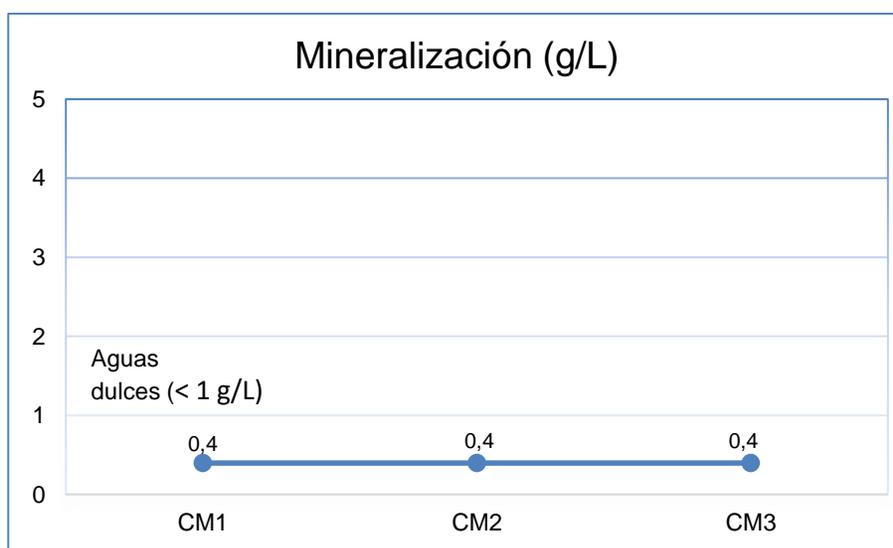
El punto de muestreo se tomó de la cisterna de una vivienda el cual no se encontraba tapada de forma hermética (ver figura8), esta se encuentra cercano a las oficinas del Gobierno Municipal en el poblado del territorio, el agua que se almacena en ella es empleada para el consumo humano.



CM1	25,343	12,355	107,2	14,40	51,97	No descoloró	0,1	328
CM2	4,647	34,022	12,8	44,16	19,99	1,7	0	216
CM3	2,789	22,673	8	24	15,99	1,0	0	120

### 3.3.1. Clasificación de las aguas por su mineralización según Aliokin

De acuerdo a los valores obtenidos de la mineralización y atendiendo a la clasificación establecida por Aliokin, las 3 muestras analizadas se clasifican como aguas dulces, presentando valores de menores que 1g/L (ver figura 9).

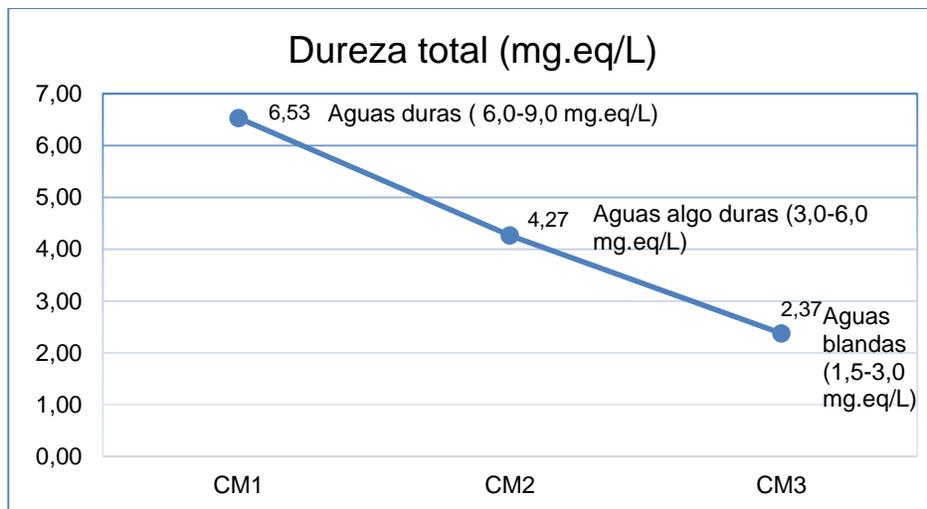


**Figura 9.** Comportamiento de los valores de mineralización en las muestras analizadas.

### 3.3.2. Clasificación de las aguas por su dureza total según Aliokin

La dureza está representada por el contenido total en miligramos equivalentes (mg.eq/L) de sales de calcio y magnesio, según la clasificación de las aguas por la dureza total establecida por Aliokin, la muestra de la cisterna (CM3) se clasifica como aguas blandas por presentar valores entre 1,5 – 3,0 mg.eq/ L, aguas duras la muestra del pozo de Collazo 4(CM1), por presentar valores entre 6,0 - 9,0 mg. eq/L y aguas algo duras la muestra del río Grande (CM2) con valores entre 3,0 - 6,0 mg. eq/L.

La dureza total de las aguas de acuerdo a la NC 827:2017, no sobrepasan el límite máximo admisible (400 mg / L), por lo que se considera potable respecto a este parámetro, (ver figura10).

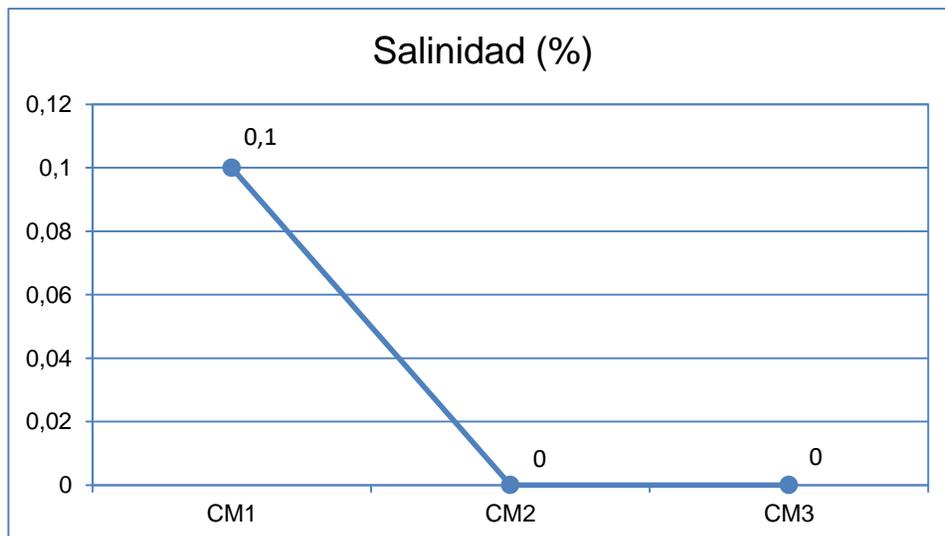


**Figura 10.** Comportamiento de los valores de la dureza total en las muestras analizadas.

### 3.3.3. Salinidad (%)

La salinidad del agua está dada por la concentración de sales disueltas en la misma, producen así contenidos considerables de cloruros, sulfatos, calcio y magnesio en las aguas, los valores en las muestras analizadas se mantienen bajos sobresalen como contenido más alto 0,1 % presente en la muestra del pozo de Collazo 4 (CM1), (ver figura 11).

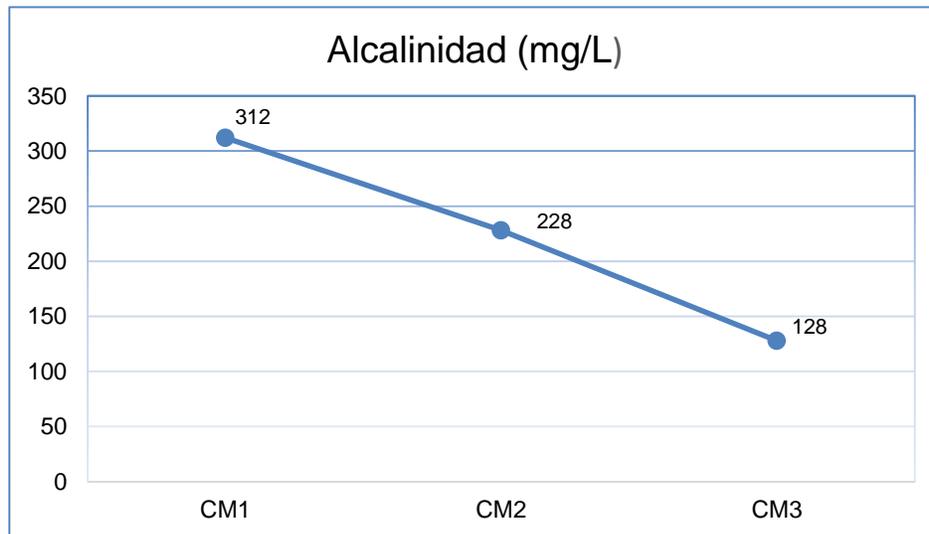
Estos valores obtenidos no se consideran como negativos para la calidad de las aguas analizadas.



**Figura 11.** Comportamiento de los contenidos de la salinidad en las muestras analizadas.

### 3.3.4. Alcalinidad (mg/L)

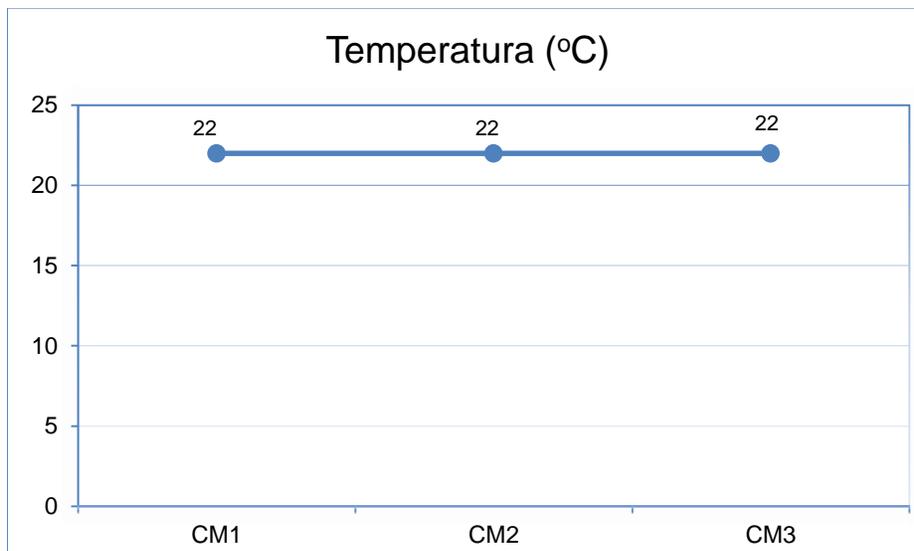
La alcalinidad es la medida de la capacidad del agua para mantener su pH estable frente a la adición de un ácido o una base. El mayor contenido de alcalinidad lo presenta la muestra del pozo de Collazo 4 (CM1) con un valor de 312mg/L y el menor contenido lo presenta la muestra de la cisterna (CM3) con un valor de 128 mg/L, (ver figura 12).



**Figura 12.** Comportamiento de los contenidos de la alcalinidad en las muestras analizadas.

### 3.3.5. Temperatura (°C)

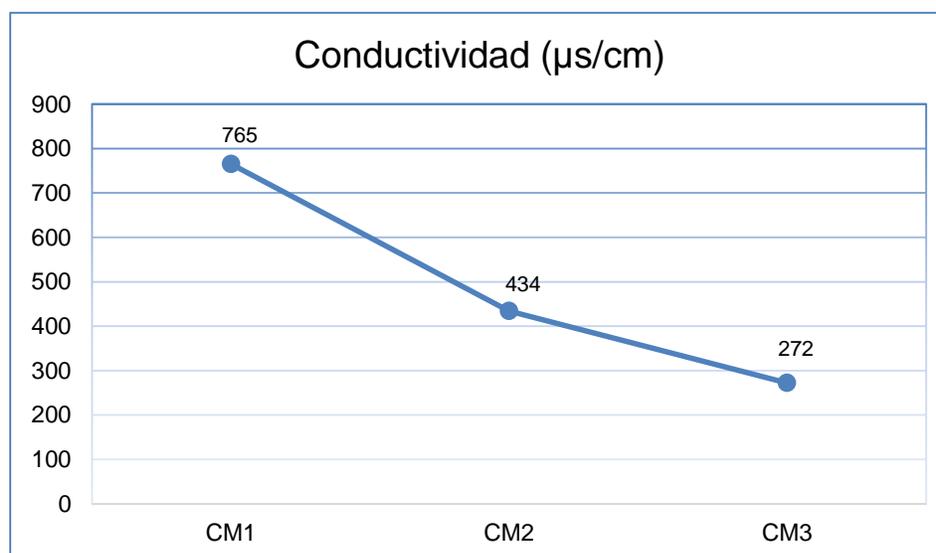
Los valores de temperatura se mantienen iguales en las tres muestras presentando un valor de 22 °C, (ver figura 13). Un valor de temperatura insatisfactorio, ya que es superior a 15 °C, estos valores de temperatura favorecen el desarrollo de microorganismos e intensifican los olores y sabores. Mientras que muy inferior a 25 °C, marca el inicio de la contaminación térmica.



**Figura 13.** Comportamiento de la temperatura en las muestras analizadas.

### 3.3.6. Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

La conductividad es la capacidad del agua de conducir la electricidad. Depende del grado de mineralización de las aguas y de los sólidos totales existentes en ellas. Los valores de conductividad oscilan entre  $765 \mu\text{s}/\text{cm}$  y  $272 \mu\text{s}/\text{cm}$  representados por un máximo de  $765 \mu\text{s}/\text{cm}$  en la muestra del pozo de Collazo 4 (CM1) y por un mínimo de  $272 \mu\text{s}/\text{cm}$  en la muestra de la cisterna (CM3) respectivamente, (ver figura 14).

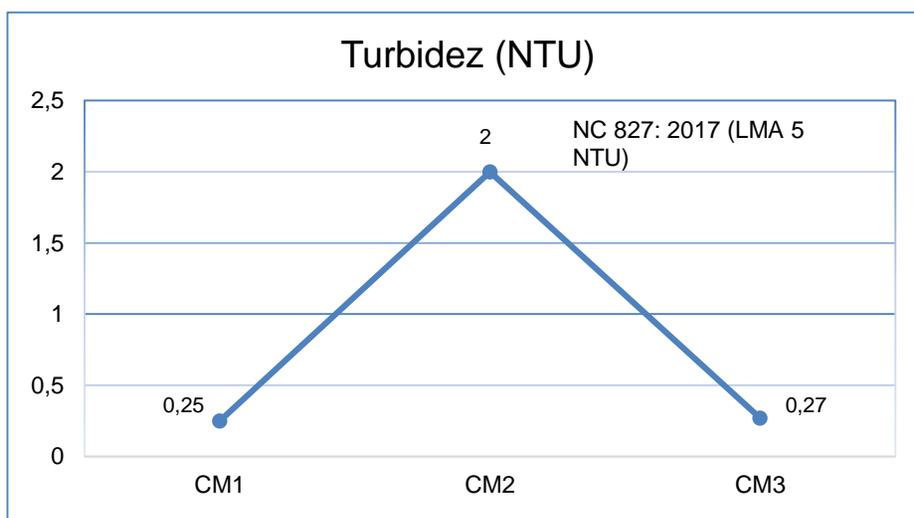


**Figura 14.** Comportamiento de los contenidos de la conductividad en las muestras analizadas.

### 3.3.7. Turbidez (NTU)

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión, se debe a la presencia de material suspendido y coloidal como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida y otros organismos microscópicos. La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que hace que los rayos luminosos se dispersen y se absorban, en lugar de que se transmitan sin alteración a través de una muestra; mide la claridad del agua. Esta se expresa en unidades nefelométricas (NTU).

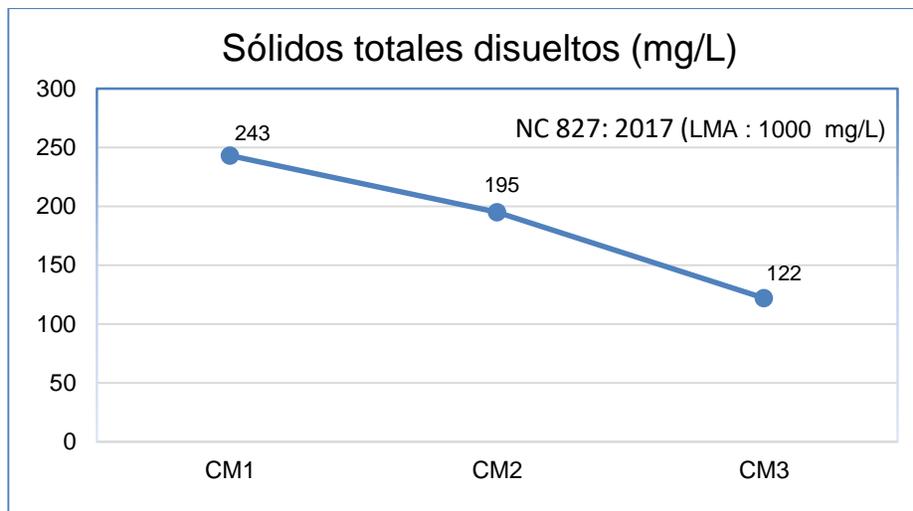
Según la NC 827:2017 la turbidez se comportó en el rango establecido (5NTU). Los valores de turbidez oscilan entre 0,25 NTU y 0,27 NTU, (ver figura 15), correspondiente a un mínimo de 0,25 NTU en la muestra del pozo de Collazo 4 (CM1) y a un máximo de 2 NTU en la muestra del río Grande (CM2) respectivamente. La turbiedad es de importante consideración en las aguas para el consumo humano por tres razones, la estética, la filtrabilidad y la desinfección.



**Figura 15.** Comportamiento de los contenidos de la turbidez en las muestras analizadas.

### 3.3.8. Sólidos totales Disueltos (STD) (mg/L)

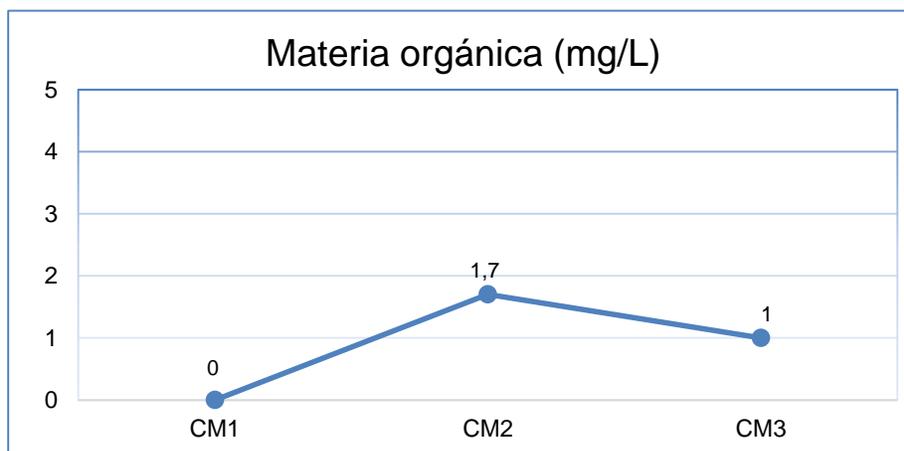
Los sólidos disueltos pueden ser de origen orgánico e inorgánico, incluyendo minerales, metales y gases. Generalmente son resultado de la acción solvente del agua sobre los sólidos, líquidos y gases. Los valores obtenidos de las muestras analizadas se encuentran en el rango de (243– 122 mg/L). El mayor valor observado corresponde a la muestra del pozo de Collazo 4 (CM1) con un valor de 243 mg/L, tal y como se muestra en la figura 16. De acuerdo a la NC 827:2017 los contenidos de STD se encuentran por debajo del límite admisible (1000 mg/L), por lo que el agua se considera potable atendiendo a este parámetro.



**Figura 16.** Comportamiento de los contenidos de los sólidos totales disueltos en las muestras analizadas.

### 3.3.9. Materia orgánica (mg/L)

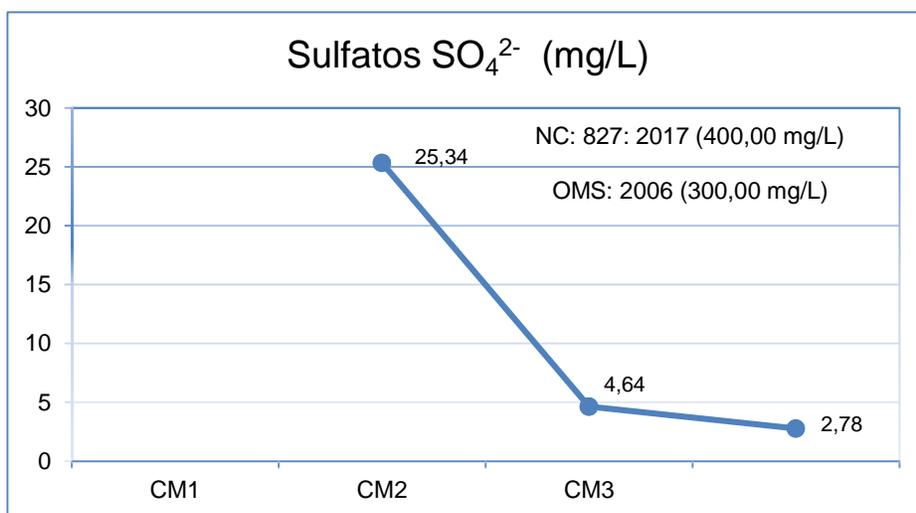
La materia orgánica (MO) es una compleja mezcla heterogénea de macromoléculas, cuyos principales componentes en las aguas dulces son sustancias húmicas, carbohidratos y aminoácidos. El valor de la materia orgánica en la muestra del pozo de Collazo 4 (CM1) no descoloró a diferencia de la muestra del río Grande (CM2) que presenta un valor de 1,7mg/L y la muestra de la cisterna (CM3) que presenta un valor de 1mg/L, (ver figura 17). Este valor en las aguas del río Grande (CM2), puede ser originada por la descomposición del material biológico procedente de animales, plantas y microorganismos.



**Figura 17.** Comportamiento de los contenidos de la materia orgánica en las muestras analizadas.

### 3.3.10. Sulfatos $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)

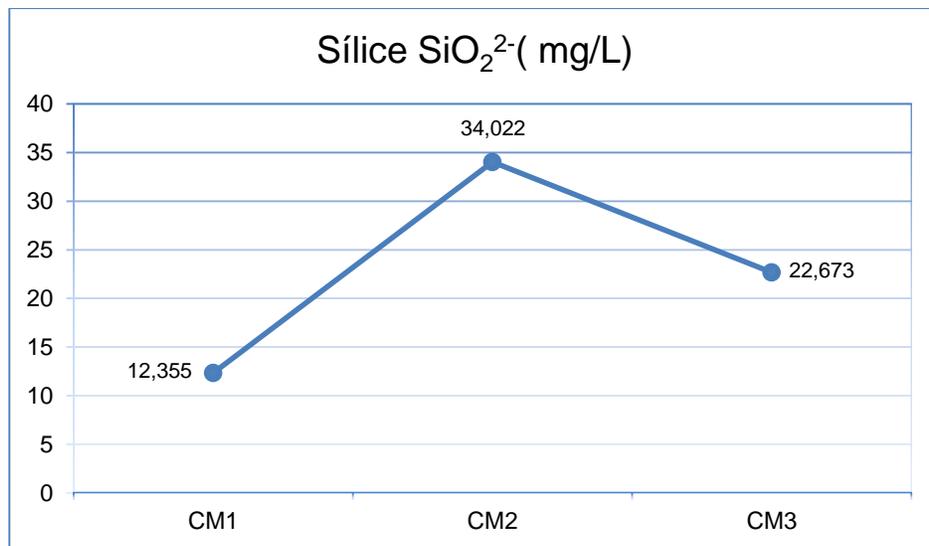
Los contenidos de sulfatos no son tóxicos, sin embargo, en muy grandes concentraciones, se ha observado un efecto laxante acompañado de deshidratación e irritación gastrointestinal. En las muestras analizadas los contenidos de  $\text{SO}_4^{2-}$ , se encuentran por debajo de los límites máximos admisibles (400,00 mg/L) según la norma cubana NC 827:2017 y (300,00 mg/L) la norma de la OMS, 2006, (ver figura 18).



**Figura 18.** Comportamiento de los contenidos de sulfatos en las muestras analizadas.

### 3.3.11. Sílice $\text{SiO}_2^{2-}$ (mg/L)

El silicio (Si) es un semimetal que constituye el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre. La degradación de las rocas da lugar al dióxido de silicio, que se encuentra en el agua natural. El dióxido de silicio, también denominado sílice, es un compuesto químico formado por un óxido de silicio con la fórmula química  $\text{SiO}_2$ . Los contenidos de sílice en las muestras analizadas oscilan entre 12,355 mg/L y 22,673 mg/L. El mayor valor observado corresponde a la muestra del río Grande (CM2) con 34,022 mg/L y el menor valor a la muestra del pozo de Collazo 4 (CM1) con 12,355 mg/L, (ver figura 19).

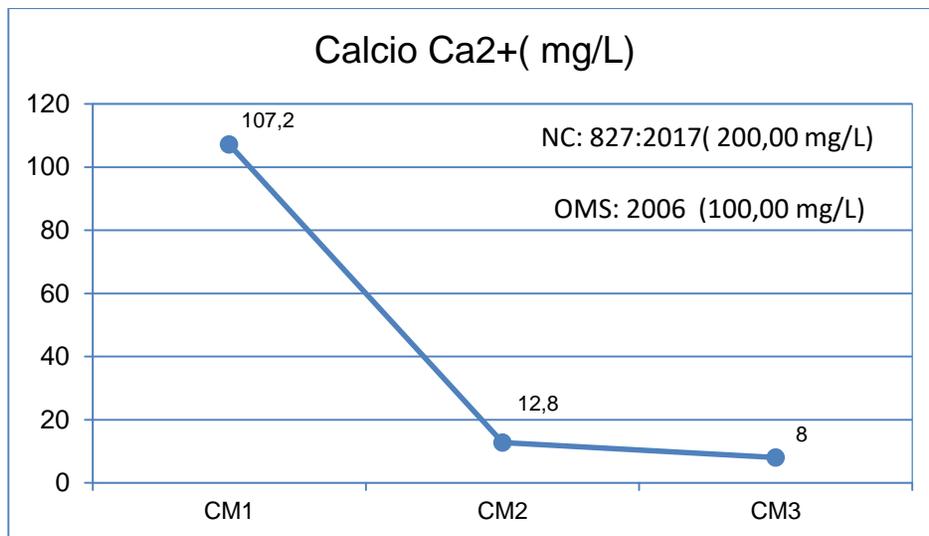


**Figura 19.** Comportamiento de los contenidos de sílice en las muestras analizadas.

### 3.3.12. Calcio Ca<sup>2+</sup> (mg/L)

El calcio es un mineral que forma parte de nuestro cuerpo y juega un papel esencial en la formación de los huesos y dientes. Está relacionado fundamentalmente con la dureza del agua, y se encuentran influenciados por la litología del área.

El calcio se encuentra por debajo de la norma establecida, NC 827:2017, en la cual se plantea que esta no puede sobrepasar de los 200, 00 mg/L, en los análisis realizados a las 3 muestras, los valores oscilan entre 107,2 mg/L y 8 mg/L, representan máximo y mínimo respectivamente. El mayor valor corresponde a la muestra del pozo de Collazo 4 (CM1) con 107,2 mg/L y el menor valor a la muestra de la cisterna (CM3) con 8 mg/L, (ver figura 20). La potabilidad del agua según la norma de la (OMS, 2006) son los valores menores de 100,00 mg/L, por lo que la muestra de agua del pozo de Collazo 4 (CM1) no es potable pues sobrepasa el valor con 107,2 mg/L.

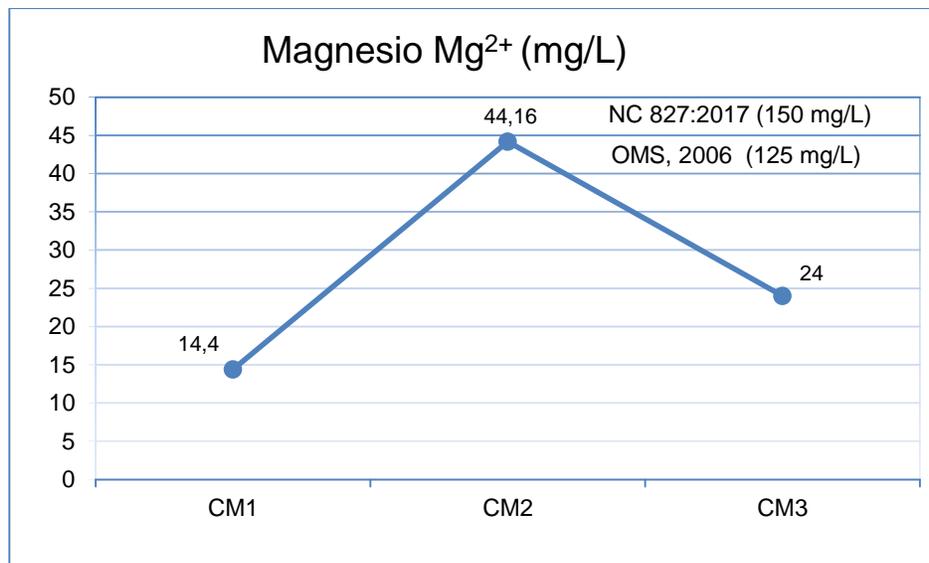


**Figura 20.** Comportamiento de los contenidos de calcio en las muestras analizadas.

### 3.3.13. Magnesio Mg<sup>2+</sup> (mg/L)

El magnesio es esencial en el agua, interviene en la transportación de enzimas, pero cuando se presentan elevadas concentraciones del mismo causa serios trastornos como: diarreas, laxante, su exceso desnaturaliza las seroproteínas, etc.

El magnesio según la norma cubana NC 827:2017 el límite máximo admisible es de 150 mg/L y para la norma de la OMS, 2006 el límite máximo admisible es 125 mg/L. El magnesio se encuentra entre los valores de (14,4 mg/L –24 mg/L) por lo que se puede evidenciar que todas las muestras analizadas se encuentran por debajo de la norma establecida (NC 827:2017), según análisis estadístico, el valor más bajo se encuentra en la muestra del pozo de Collazo 4 (CM1) con 14,4 mg/L y el valor mayor está representado por la muestra del río Grande (CM2) con 44,16 mg/L, (ver figura 21).

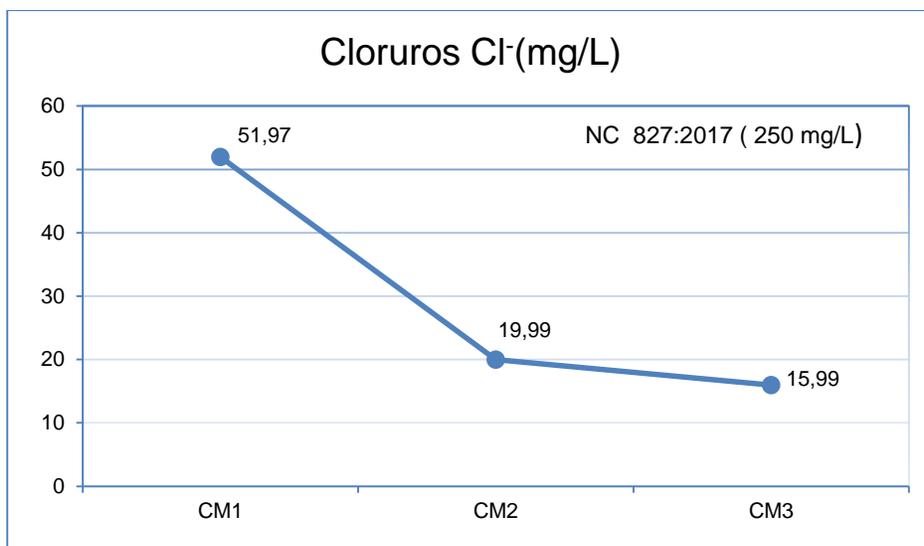


**Figura 21.** Comportamiento de los contenidos de magnesio en las muestras analizadas.

### 3.3.14. Cloruros Cl<sup>-</sup> (mg/L)

El ion cloruro es uno de los iones inorgánicos que se encuentran en mayor cantidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, su presencia es necesaria en aguas potables. Su presencia se debe a la disolución de cloruros solubles en sodio, calcio, magnesio y potasio, el más frecuente es el cloruro de sodio o sal común, éste es el responsable del gusto salado, mientras que el cloruro de magnesio le da un sabor amargo al agua acompañado de un efecto purgante leve. Este elemento no es perjudicial para la salud, pero influye directamente en el sabor del agua como bien se expresa anteriormente. Las altas concentraciones de cloruro en aguas residuales, cuando estas son utilizadas para el riego en campos agrícolas deteriora en forma importante la calidad del suelo.

Los valores de las 3 muestras analizadas se encuentran por debajo de los límites permisibles (250 mg/L) establecido por la norma cubana NC 827:2017 y en este caso los valores oscilan entre 51,97 mg/L y 15,99 mg/L, el mayor valor lo presenta la muestra del pozo de Collazo 4 (CM1) con 51,97 mg/L y el menor valor lo presenta la muestra de la cisterna (CM3) con 15,99 mg/L, (ver figura 22).



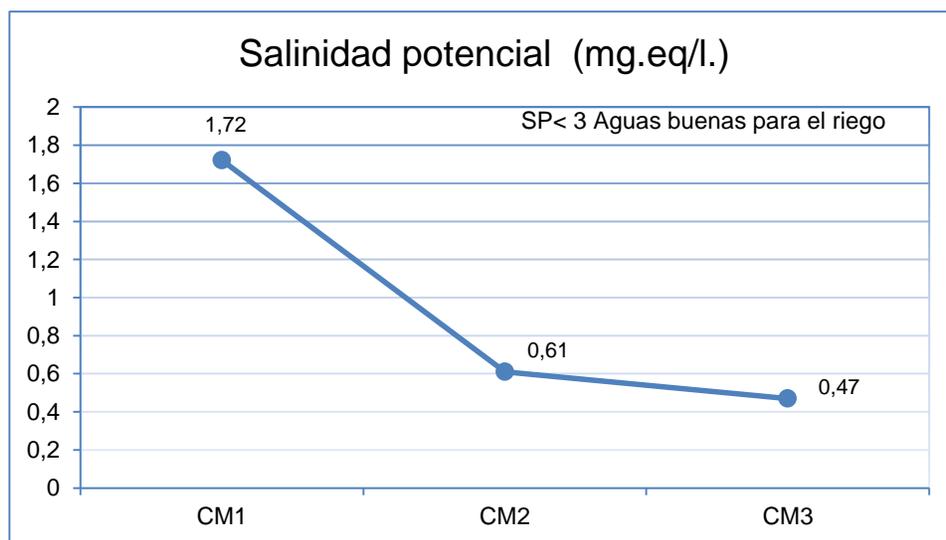
**Figura 22.** Comportamiento de los contenidos de cloruros en las muestras analizadas.

### 3.4. Clasificación de las aguas por su posible utilización en la agricultura

#### 3.4.1. Salinidad potencial (SP), según Aceves y Palacios (mg. eq/l)

Este índice considera que se produce la precipitación de las sales menos solubles, quedando en solución los cloruros y sulfatos, con lo que aumenta considerablemente la presión osmótica y actúan sobre el suelo a bajos niveles de humedad.

La salinidad potencial de las 3 muestras analizadas se clasifica en aguas buenas para el riego pues los valores que se obtienen son menores que 3mg. eq/l, (ver figura 23).



**Figura 23.** Comportamiento de los contenidos de la salinidad potencial en las muestras analizadas.

### 3.5. Plan de medidas de prevención y mitigación a la contaminación de las aguas de consumo humano del municipio Frank País.

Las medidas de prevención y mitigación se presentan como el conjunto de acciones tendientes a la prevención, control, atenuación, restauración y compensación de los impactos ambientales negativos generados por el desarrollo de un proyecto, el actuar del hombre, etc. a fin de tender hacia el uso sustentable de los recursos naturales y la protección del ambiente.

Estas medidas de prevención y mitigación han sido elaboradas en función de erradicar y minimizar los impactos ambientales provocados sobre los distintos componentes del medio físico-natural y antrópico (especialmente sobre aquellos componentes donde se identificaron los mayores impactos negativos).

A continuación (Tabla 7) se describen las principales fuentes contaminantes que se detectaron en los puntos de muestreo, así como las principales medidas que se deben tener en cuenta para prevenir y controlarlas, también se presentan las principales entidades responsables de orientar y velar por que se ejecuten las mismas.

**Tabla 7.** Medidas de prevención y mitigación a aplicar en las aguas de consumo humano del municipio Frank País.

Fuentes contaminantes	Medidas	Responsable
Mal tapado de los pozos y cisternas y la presencia de tapas no funcionales.	Realizar un correcto tapado de los depósitos de agua, así como sustituir o mejorar las tapas no funcionales.	Población
Baño de personas y animales aguas arribas del río Grande y fregado de autos.	Cercar el área de captación de agua a 1km <sup>2</sup> donde permita controlar la entrada de personas y animales. Realizar señalizaciones donde se prohíba el baño de personas en el área. Eliminar el fregado de autos en la cuenca. Realizar acciones de educación ambiental.	Presidente del CITMA, Gobierno Municipal, Presidente del Consejo.

## CONCLUSIONES

1. Las principales fuentes de contaminación de las aguas de consumo humano del municipio Frank País son el mal tapado de los pozos y cisternas, la presencia de tapas no funcionales, el baño de personas y animales aguas arribas del punto de muestreo y el fregado de autos.
2. Las aguas analizadas según la Norma Cubana (NC 827:2017) y la Norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) no sobrepasan los límites máximos admisibles, por lo que son aptas para el consumo humano, aunque se debe aplicar la desinfección a través de la aplicación del cloro y para su posible utilización en la agricultura según la Salinidad potencial (SP) ,son aguas buenas para el riego, se clasifican por su mineralización según Aliokin en aguas dulces y por su dureza total en aguas duras, algo duras y blandas.
3. Se propone un plan de acción de medidas para prevenir y mitigar la contaminación de las fuentes de abastecimientos de agua, analizado con el CITMA y el presidente del Consejo Popular, como realizar un correcto tapado de los depósitos de agua, sustituir o mejorar las tapas no funcionales, cercar el área de captación de agua a 1km<sup>2</sup> donde permita controlar la entrada y salida de personas y animales. Realizar señalizaciones donde se prohíba el baño de personas en el área, eliminar el fregado de autos en la cuenca y realizar acciones de educación ambiental.

## **RECOMENDACIONES**

1. Realizar monitoreos periódicos para evaluar la calidad del recurso hídrico.
2. Realizar análisis microbiológico para evaluar el estado higiénico sanitario de las aguas del municipio Frank País.
3. Evaluar el índice de calidad de las aguas por otras metodologías vigentes.
4. Realizar trabajos de educación ambiental y manejo de las aguas en la comunidad de Frank País mediante proyectos de extensión universitaria con la participación especial de estudiantes y profesores del departamento de geología, para una mayor instrucción de la población sobre el tema, con el propósito de crear una conciencia sobre la necesidad de la protección y conservación de las aguas.

## BIBLIOGRAFÍA

Asgharl, F.B.; et.al. (2018). Data on assessment of groundwater quality with application of ArcGIS in Zanjan, Iran. Data in Brief, Vol. 18, pp. 375-379. Disponible en: [DOI: 10.1016/j.dib.2018.03.059](https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.03.059).

Aller, L.; et.al. (1987). A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. Oklahoma: EPA.

APHA AWWA WEF. (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition. Washington: American Public Health Association.

APHA AWWA WEF. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, pp. 4-90 a 4-94.

APHA AWWA WEF. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 st Edition. Washington: American Public Health Association. Disponible en: <https://www.standardmethods.org/>.

A/RES/69/283. (2015). Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres. Junio 2015-2030.

A/RES/71/313. (2015). Marco de indicadores mundiales para los objetivos de desarrollo sostenible y metas de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible.

Balmaseda Espinosa, C. & García Hidalgo, Y. (2014). Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 23(3), 6.

Bates, B. C.; et.al. (2008). El cambio climático y el agua. Documento técnico VI del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Ginebra: Secretaría del IPCC.

Disponible:

[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_technical\\_papers.shtml#.TsqR5FTb-o](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_technical_papers.shtml#.TsqR5FTb-o)

Batista González, (2022). Índice de calidad de las aguas del río Cayo Guam, Moa, Holguín. Trabajo de Diploma. Universidad de Moa.

Batista Silva, J. L. (2016). Evaluación de los recursos hídricos de Cuba. Revista Geográfica, no. 157, pp. 73-83. Disponible en: <http://www.publicaciones.ipgh.org/rge/rge157.pdf>.

Bicera Nfundiko, (2013). Evaluación de la calidad del agua de abastecimiento en los asentamientos rurales Cañete y Cupey mediante el Índice de Calidad de Agua CCME\_WQI. Trabajo de diploma. Universidad de Moa.

Bracho Fernández, I. A. (2015). Evaluación de la calidad de las aguas para consumo humano en el sector Ancón bajo II, municipio Maracaibo. Tesis de Maestría. Universidad de Moa. Disponible en: <http://repositorio.ismm.edu.cu/76/1/lrquin.pdf>.

Bracho Fernández, I. A., & Fernández Rodríguez, M. (2017). Evaluación de la calidad de las aguas para consumo humano en la comunidad venezolana de San Valentín, Maracaibo. Revista Minería y Geología, vol.33, no. 3.

Brown, R. M.; MC. LLelland.N.I. I; Deininger.R.A. Y O'Connor M.F. (1972). A water quality index-Crashing the Psychological barrier. 6<sup>ta</sup> conferencia annual "Advances in Water pollution Research", pp. 787- 794.

Carrillo, G., & Villalobos, R. (2011). Análisis comparativo de los índices de calidad del agua (ICA) de los rios Tecolutla y Cazones. Tesis para acreditar exámen Demostrativo de experiencia Recepcional.

Climate, Data (2022). Clima del municipio Frank País.

CITMA. Estrategia Ambiental Nacional y Territorial (2015-2020). La Habana: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

CITMA. Tarea Vida: Plan de Estado para el enfrentamiento al cambio climático, aprobada por el Consejo de Ministros el 25 de abril de 2017. La Habana: CITMA, 2017.

Cobas Torres (2012). Caracterización petrológica de las rocas anfibolítizadas del sector este de la presa Nuevo Mundo, complejo ofiolítico Moa-Baracoa. Trabajo de Diploma. Universidad de Moa.

Conferencia internacional sobre el agua dulce "El Agua: Una de las Claves del Desarrollo Sostenible". Bonn, Alemania, 3 al 7 de diciembre de 2001.

Conferencia Internacional sobre el agua y el medio ambiente "El Desarrollo en la Perspectiva del Siglo XXI". Dublín, Irlanda, 26 al 31 de enero de 1992.

Crespo Lambert, M. (2018). Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey. Trabajo de Diploma. Universidad de Moa.

Cuba. Leyes y Decretos, C. Decreto-ley 138 sobre las aguas terrestres. La Habana: Gaceta Oficial de la República de Cuba, 2017.

Custodio & Llamas, (1983). Aguas subterráneas. Revista CIDOB d'Afers Internacionals núm. 45-46, pp. 35-57. \* Catedrático de Hidrogeología. Departamento de Geodinámica. Universidad Complutense de Madrid. Académico Numerario de la Real Academia de Ciencias. \*\*Catedrático de Hidrología Subterránea. Departamento de Ingeniería del Terreno. Universitat Politècnica de Catalunya. Académico Correspondiente de la Real Academia de Ciencias.

Damo & Icka. (2017). Determinación de la calidad del agua potable en la ciudad de Pogradec, Albania. "Fan S. Noli" University of Korça, Agronomy Department, Korça, Albania. Pol. J. Environ. Stud. Vol. 22, No. 4 (2013) ,1045-1051.

De Miguel Fernández, C. (2012). Hidrogeología aplicada con aspectos ambientales (Única; Editorial Digital Universitaria Moa, Edition. Moa.

Deloya Martínez, A. (2006). Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales. Revista Tecnología En Marcha, Vol. 19(2), pág. 31. Disponible en:[https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/30](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/30).

Diaz Sánchez, G. (2018). Determinación de la calidad del agua del río Naranjos mediante el uso de los coeficientes cinéticos de auto depuración, distrito de Pardo Miguel-San Martin. Tesis para optar el grado de Ingeniero Sanitario. Facultad de Ecología, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.

Ecured. (2022). Ubicación geográfica del municipio de Frank País, características del suelo, demografía, características socioeconómicas, características del relieve, de la hidrografía, fauna y vegetación.

EPA. Water Quality Standards for Surface Waters (2014). Disponible en: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/>

<http://www.google.com.cu/search?hl=es&q=icatest-cap%c3%ADtulo+2->

Fernández Rodríguez, M; Guardado Lacaba, R. M. (2021). Evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICAsup) en el río Cabaña, Moa-Cuba; Revista Minería y Geología / v.37 n.1 / enero-marzo / 2021 / p. 105-119ISSN 1993 8012.

Fernández Rodríguez, M. (2014). Evaluación físico-química e higiénico sanitaria de la calidad de las aguas de consumo humano en las Empresas del Níquel y Centros Educativos en Moa. Holguín: Fórum Ciencia y Técnica. Relevante Provincial.

Fernández Rodríguez, M.; et. al. (2018). Evaluación hidroquímica de las aguas del río Cayo Guam, Moa, Cuba. Minería y Geología, vol.34, no.3, 268–288.

Fernández Rodríguez, M. (2021). Gestión para la reducción de los riesgos hídricos en el municipio de Moa. Caso de estudio: Río Cabaña. Tesis Doctoral. Universidad de Moa.

Gaceta Oficial De La República De Cuba. Ley 81/97. Ley de Medio Ambiente. La Habana. Edición Extraordinaria no. 7 del 11 de julio, 1997.

Gaceta Oficial De La República De Cuba. Ley No. 124/14 (GOC-2017-715-EX51). Decreto No. 337/17 (GOC-2017-716-EX51), No. 51 extraordinaria de 16 de noviembre de 2017, pp. 985-1047. ISSN 1682-7511. Disponible en:<http://www.magon.cu/Doc/Informaciones%20Entregadas/UMA/legislacion/LEY%20No.%20124%20DE%20AGUAS%20TERRESTRES%20DE%20CUBA.pdf>

García Hidalgo, Y. (2013). Estrategia para la gestión sostenible del recurso agua. Estudio de caso: cuenca del río Naranjo provincia Las Tunas. Tesis Doctoral. Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía. Centro de Estudio de Desarrollo Agrario Rural.

Giler, B. I. C., Gutiérrez, C. M., Mendoza, M. C., & Pérez, A. V. (2017). Water Quality of the Poza Honda Dam and Other Water Points Down. Journal of College and University. This Is an Open Access Article under the, 2454, 2261.

González Cabrera, N. A., Peláez García, R., & Sobrino Hernández, E. (2013). Características geológicas, hidrogeológicas y ambientales del sistema acuífero carbonatado sur en el Occidente de Cuba: sector los Palacios- Candelaria. X Congreso Cubano de Geología (GEOLOGIA 2013) Hidrogeología E Ingeniería Geológica, 17.

Hassan, F. M., Al-Jibouri, K. D. W., & Hakman, A. A. (2017). Water quality assessment of Diyala river in Diyala province, Iraq. Mesopo Environ J. (4), 1, 52–61.

Herrera Apablaza, V., Gutiérrez Roa, N., Córdova Molina, S., Luque Mar'ín, J., Idelfonso Carpanchay, M., Flores Riveras, A., others. (2018). Calidad del agua subterránea para el riego en el Oasis de Pica, norte de Chile. Idesia (Arica), 36(2), 181–191.

Jiménez Parodi Tatiana, R. M. D., & Edgar, Q. B. (2018). Análisis del uso y manejo del agua subterránea en la Región Caribe Colombiana. Universidad de Cartagena.

Khare, P. (2017). A large-scale investigation of the quality of groundwater in six major districts of Central India during the 2010--2011 sampling campaign. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(9), 429.

Llantuy, L., & Michelle, K. (2019). Determinación del índice de calidad del agua en la laguna de Colta mediante la valoración de parámetros físico-químicos y microbiológicos. Quito: UCE.

Lumb, A.; Halliwell, D.; Sharma, T. (2006). Application of CCME Water Quality Index to monitor water quality: A case study of the Mac- Kenzie River basin, Canadá. 1, 411– 429.

Mosquera, S., Antonio, J., & others. (2019). Propuesta De Índice De Calidad Del Agua, Como Herramienta Para El Desarrollo Sustentable En Cuerpos De Aguas Superficiales De La Ciudad De Bogotá.

Norma Cubana. (2014). NC 1021: 2014 Higiene comunal — fuentes de abastecimiento de agua — calidad y protección sanitaria. (261), 830–835.

Norma Cubana. (2012). NC 827:2017. Agua potable — requisitos sanitarios. (261), 830–835.

OMS. (2006). Guías para la calidad del agua potable. Atención Primaria, 1, 7. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00006-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00006-6).

Pérez, J. I., Nardini, A. G., & Galindo, A. A. (2018). Análisis Comparativo de Índices de Calidad del Agua Aplicados al Rio Rancheria, La Guajira-Colombia. *Información Tecnológica*, 29(3), 47–58.

Quinapanta, C., Elexandra, C., & Donoso Cruz, H. E. (2013). Caracterización de la Calidad de Agua de la Microcuenca del Rio Pachanlica de la Provincia de Tungurahua. Tomando como Base la Metodología ICA de Montoya.

Rodríguez, Y. (2019). Evaluación de la calidad del agua de abastecimiento en los asentamientos rurales Cañete y Cupey mediante el Índice de Calidad de Agua CCME\_WQI. Trabajo de Diploma. Universidad de Moa.

Rubio Caballero, D. de la C. (2017). Evaluación de la calidad de las aguas en el poblado La Melba. Trabajo de Diploma. Universidad de Moa.

Sera Ramos. (2018). Evaluación y diagnóstico de nuevos geositios en los municipios Sagua de Tánamo y Frank País, de la provincia Holguín para la protección y conservación del patrimonio geológico. Trabajo de Diploma. Universidad de Moa.

Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2018). Water quality index in surface sources used in water production for human consumption: A critical review. *Revista Ingenierias Universidad de Medellin*, 8(15), 79–94.

Torres Rivero, (2019). Calidad de las aguas de consumo humano en los repartos Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico y Miraflores del municipio Moa. Trabajo de Diploma. Universidad de Moa.

Zhang, X., Miao, J., Hu, B. X., Liu, H., Zhang, H., & Ma, Z. (2017). Hydrogeochemical characterization and groundwater quality assessment in intruded coastal brine aquifers (Laizhou Bay, China). *Environmental Science and Pollution Research*, 24(26), 21073–21090.