



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE MOA
“DR. ANTONIO NÚÑEZ JÍMÉNEZ”
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

*Tesis presentada en opción al
título
de
Ingeniero Geólogo
Tema: Calidad de las aguas de
consumo humano en los repartos
Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico y
Miraflores del municipio Moa*

Autora: Grecher Torres Rivero

Tutora: MSc. Moraíma Fernández Rodríguez

Moa, julio del 2019

PENSAMIENTO

“Saber sacrificarse es el premio durable de todo”

José Martí



[...] los frutos tienen que salir de los que dan, de los que aportan, de los que crean, de los que trabajan [...]. Discurso pronunciado en el acto central por el aniversario 30 de la 1era entrada a la Habana.

Fidel Castro Ruz



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que me han apoyado a lo largo de mi carrera y de mi vida,

A mi mamá Dorgelis Rivero Xique, a mi padre Rolando Torres Suárez y a mi hermana Grethell Torres Rivero por ser mi apoyo y mi motivación a lo largo de mi carrera y mi vida, los amo.

A mis abuelos Ismael Rivero Roldan y Eduviges Xique Torres porque sé que estarían orgullosos de su nieta.

A mi novio Alfredo Igarza Sánchez por ser mi apoyo incondicional a lo largo de la carrera.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera Agradecer:

A mis padres Dorgelis Rivero Xique, Rolando Torres Suárez y a mi hermana Grethell Torres Rivero por el apoyo, a toda mi familia, mis tíos, mis primos, a mis vecinos por la preocupación y la ayuda, a mis amigos.

A mi novio Alfredo Igarza Sánchez por estar siempre para mí, y ser mi apoyo a lo largo de estos años.

Al equipo de Hidrogeología Pedro Durán Ávila, Yarisleydis Rodríguez Echavarría, Adisleidis Osorio Leyva, Ana Silvia Ocampo y a mi tutora Moraima por su ayuda en la realización de mi tesis.

A mis compañeros de aula por hacer más amena mi paso por la universidad, a todos mis profesores que de una forma u otra han contribuido a mi formación.

A la Revolución por darme la oportunidad de hacerme un profesional.

RESUMEN

La calidad del agua de consumo humano es de vital importancia para la salud de los pobladores y su control es imprescindible para reducir los peligros de transmisión de enfermedades. El objetivo de la investigación es evaluar la calidad del agua de consumo humano en los repartos Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico y Miraflores, mediante el Índice integrador de Calidad de Aguas Superficiales (ICA_{sup}) 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. Se determinaron 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. Los problemas de contaminación encontrados en las fuentes hídricas estudiadas, se generan como consecuencia de las actividades humanas, y mal estado de las redes de distribución. Las aguas se clasifican: siete de ellas como aguas de calidad aceptable, cuatro con excelente calidad y una medianamente contaminada. Se realizó propuesta de tecnologías apropiadas para la desinfección del agua de consumo con el fin de generar alternativas tendientes a mejorar la calidad del agua que se consume.

SUMMARY

The quality of the water of human consumption is of vital importance for the inhabitants' health and his control is essential to reduce the dangers of transmission of diseases. The objective of investigation is to evaluate the quality of the water of human consumption in the deliveries Colored, Carib Language, Atlantic and Miraflores, by means of Calidad's integrative index of Aguas Superficial (ICAsup) proposed by the organ of the National Piece Of Advice of Drainage Areas (Gutiérrez and García 2014), that it allows evaluating of fast way and needs the water indicators of quality. The sources of contamination from the tank of storage of the plant determined potabilizadora to get to the different domiciliary deposits themselves and they evaluated the physical characteristics and chemistries of waters. The problems of contamination found in the hydric studied sources, they generate themselves as a consequence of the human activities, and bad condition of the nets of distribution. The waters classify : Seven theirs like waters of acceptable quality, four with excellent quality and one fairly contaminated. Proposal of technologies adapted for the disinfection of the water of consumption with the aim of generating tending alternatives to upgrade the water that burns away came true.

ÍNDICE

PENSAMIENTO	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
SUMMARY	VI
ÍNDICE	VII
INTRODUCCIÓN	1
Fundamentación científica de la investigación.....	2
CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO- GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y PARTICULARES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	4
1.1 Conceptos básicos	4
Escasez de agua	4
Calidad del agua.....	5
Contaminación del agua	6
Agua y salud	7
Agua potable.....	8
Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH)	8
Calidad natural.....	8
Tratamiento convencional:.....	9
Tecnologías:	9
Límite máximo admisible (LMA):.....	9
Conductividad:	9
pH:	9
Temperatura (T ⁰):	9
Oxígeno Disuelto (OD):	9
Turbiedad (UNT):.....	9
Sólidos disueltos totales:	9
Cloro libre:	10
Cloruros:	10
Nitratos:	10
Sulfatos:.....	10
Coliformes Fecales:	10
Coliformes Totales:.....	11

Dureza Total:	11
Sólidos Suspendidos Totales:.....	11
Calcio:.....	11
Magnesio:	11
Potasio:.....	12
1.2 Antecedentes y estado actual de la temática.....	12
1.3 Caracterización del área de estudio	22
1.3.1 Situación Geográfica	22
1.4 Clima.....	23
1.4.1 Temperatura.....	23
1.4.2 Humedad relativa	23
1.4.3 Precipitaciones	24
1.4.4 Presión atmosférica.....	24
1.4.5 Vientos	24
1.4.6 Hidrografía	25
1.5 Geomorfología regional	26
1.6 Vegetación.....	29
1.7 Flora y Fauna.....	29
Flora.....	29
Fauna.....	30
1.8 Características Socioeconómicas.....	30
1.9 Características hidrogeológicas del área de estudio	31
1.10 Características geológicas del área de estudio	34
1.11 Tectónica	39
1.11.1 Sistemas de Fallas.....	39
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS	
REALIZADOS.....	43
2.1 Introducción	43
2.2 Etapa I. Recopilación de la información y revisión bibliográfica.....	43
2.3 Etapa II. Etapa de campo, muestreo y laboratorio.....	44
2.3.1 Identificación de averías y focos contaminantes	44
2.3.2 Muestreo hidroquímico.....	44
2.4 Técnica empleada para las tomas de muestras de agua en los puntos muestreados.	45
2.5 Análisis en el laboratorio.....	46
2.6 Procesamiento y análisis de la información	47

2.7 Clasificación de las aguas por su composición química	48
Clasificación de las aguas según su mineralización	48
Clasificación de las aguas por el pH	49
Clasificación de las aguas por su dureza.....	49
2.8 Metodología para la determinación del Índice de Calidad de Agua	50
2.8.1.2. Metodología propuesta por el Órgano del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas de Gutiérrez y García, 2014 para el cálculo del ICAsup.	51
2.9 Etapa III. Trabajo de gabinete.....	52
CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DE CALIDAD A LAS AGUAS DE CONSUMO HUMANO EN LOS REPARTOS COLORADAS NUEVAS, CARIBE, ATLÁNTICO Y MIRAFLORES DEL MUNICIPIO DE MOA.....	53
3.1 Aspectos generales	53
3.2 Descripción de los puntos de muestreo	53
3.3 Factores que inciden en la contaminación de las aguas	59
3.4 Evaluación y clasificación de las aguas por su composición química y propiedades físicas.....	65
3.4.1. Clasificación de las aguas por su composición química según Aliokin	68
3.4.2. Clasificación de las aguas por su mineralización según Aliokin.....	68
3.4.3. Clasificación de las aguas por el pH según E.B Pasoxov	69
3.4.4. Clasificación de las aguas por su dureza total según Aliokin	70
3.5 Evaluación de los análisis físicos-químicos y bacteriológicos de las muestras analizadas según la Norma Cubana (NC 827: 2017) y la norma de la Organización Mundial de la Salud 2006 (OMS:2006)	71
3.5.1 Características físicas	71
3.5.2 Características químicas	73
3.5.3 Componentes inorgánicos que influyen sobre la salud	76
3.6 Cloro libre residual.....	78
3.7 Temperatura (°C).....	79
3.8 Conductividad (µs/cm)	80
3.9 Sólidos suspendidos totales (SS)	80
3.10 Evaluación de los resultados de los análisis bacteriológicos	81
3.11 Evaluación de la calidad de agua de consumo mediante la Metodología propuesta por el Órgano del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas de Gutiérrez y García, 2014 para el cálculo del ICAsup	83
3.12 Propuestas de tecnologías apropiadas para desinfección del agua.....	85
Desinfección física	86

Hervido:.....	86
Desinfección por ebullición:.....	86
Radiación solar:	86
La aireación.....	86
Coagulación y floculación.....	87
Desalinización:	87
La filtración.....	87
Almacenamiento y sedimentación.....	88
Tamizado:	88
Desinfección química.....	88
3.13 Valoración económica de los trabajos realizados	90
CONCLUSIONES.....	91
RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFÍA	93

INTRODUCCIÓN

El agua forma parte de todos los procesos naturales de la tierra, por lo que tiene un impacto en todos los aspectos de la vida. Debido a que cada organismo depende del agua, ésta se ha convertido en el eje primordial del desarrollo de la sociedad a través de la historia. El agua es un recurso limitado, muy vulnerable y escaso en los últimos años, y no existe una conciencia globalizada sobre el manejo razonable que se debe ejercer sobre el mismo. Esto origina crisis por el uso del agua, que provoca enfermedades de origen hídrico, desnutrición, crecimiento económico reducido, inestabilidad social, conflictos por su uso y desastres ambientales, por lo que es necesario mantener un monitoreo constante de la calidad del agua y conocer el uso de tecnologías o factores que afectan su calidad.(Mejía, 2005)

Sin la seguridad de tener acceso a agua de calidad, los humanos no podrían sobrevivir por mucho tiempo. Las enfermedades relacionadas con el agua están entre los más comunes malestares y la mayoría de los casos se presentan en los países en desarrollo. Se ha estimado que para el año 2000, más de 2 billones de personas fueron afectadas por la escasez del agua en unos 40 países, de estos 1,1 billón no tuvo suficiente agua para tomar.(Mejía 2005)

La vigilancia de la calidad del agua para el abastecimiento a la población, comienza en el origen de la misma, es decir, en embalses, ríos y pozos, continúa durante su tratamiento en las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP) y a través de su paso por la red de distribución hasta que llega al consumidor. Las frecuencias de muestreo del agua están establecidas por la Norma Cubana del 2017.

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.

En Cuba se trabaja arduamente para asegurar la calidad de agua a sus pobladores y destina diferentes instituciones al estudio de la misma como son Acueductos y alcantarillados, Recursos Hidráulicos e Higiene y Epidemiología,

que se encargan de muestrear cada cierto periodo de tiempo las aguas que consumen los pobladores ya sea la que proviene de las plantas potabilizadora, la de ríos o pozos criollos.

En este trabajo se planea hacer un estudio de las aguas de consumo humano en los repartos de Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico, y Miraflores en el municipio de Moa, y las posibles fuentes de contaminación que afectan su calidad y el estado de salud de los pobladores.

Fundamentación científica de la investigación

Problema: de qué manera pudiera influir el deterioro de la red de distribución hídrica en la calidad del agua de consumo humano en los repartos de Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico, y Miraflores en el municipio de Moa y así mismo su incidencia en la salud de los pobladores.

Objeto de estudio: aguas de consumo humano en los repartos Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico, y Miraflores.

Campo de acción: las propiedades físicas – químicas y bacteriológicas de las aguas.

Objetivo general: evaluar la calidad del agua de consumo humano en los repartos Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico, y Miraflores en el municipio de Moa.

Objetivos específicos:

- Determinar los focos contaminantes que afectan las aguas de consumo humano desde el punto de vista higiénico-sanitario.
- Analizar de las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas de consumo en los repartos seleccionados.
- Utilizar el índice de calidad propuesto por el Órgano del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (ICAsup) para evaluar la calidad del agua de consumo humano.
- Proponer el uso de tecnologías apropiadas para desinfección del agua dependiendo del contaminante que afecta el agua de consumo humano.

Hipótesis:

Si se investigara con profundidad y revalorizara la calidad de las aguas de consumo humano en los repartos Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico y Miraflores y sus posibles contaminantes, se podría sugerir el uso de tecnologías apropiadas para su desinfección.

Métodos utilizados para la realización de la investigación:

Métodos teóricos

- Histórico - Lógico: se utilizó para investigar los antecedentes existentes sobre el tema de investigación a nivel mundial, en Cuba y en la región oriental.
- Análisis y Síntesis: permitió analizar temas referidos al agua y sus características y propiedades, además sintetizar los aspectos relacionados al cálculo de índice de calidad de agua.
- Inductivo - Deductivo: permitió realizar el análisis, categorización y síntesis de información obtenida de la revisión bibliográfica, así como las particularidades de la problemática objeto de estudio, sus fundamentos teóricos generales, posibilitando arribar a conclusiones sobre sus características.

Métodos empíricos

- Análisis de laboratorios físicos, químicos y bacteriológicos. Procesamiento de la información generada en MS. Excel.

Importancia del trabajo: se considera alta. En este trabajo se realiza una investigación basada en los problemas que pudieran afectar las aguas de consumo humano en los repartos Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico y Miraflores. Se analizan los parámetros físico-químicos y bacteriológicos respondiendo a las normas nacionales e internacionales, además de su evaluación a través de un índice de calidad propuesto por el Órgano del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (ICAsup), lo que aporta un nivel de confianza mayor a la investigación y a los resultados de la misma. Se propone el uso de tecnologías sencillas, de bajo costo y de fácil implementación que permiten alcanzar niveles aceptables de descontaminación, de escasos recursos hídricos y económicos que resulten aceptables y sean socios económicamente viables.

Tareas de investigación

El trabajo se dividió en tres etapas fundamentales las cuales fueron:

- Etapa I. Recopilación de la información y revisión bibliográfica.
- Etapa II. Trabajo de campo y de laboratorio.
- Etapa III. Trabajo de gabinete.

La memoria escrita consta de una introducción y tres capítulos. En la misma se caracteriza la situación problemática y se fundamenta el problema científico a resolver, se declara la hipótesis junto a las tareas de investigación a desarrollar. El capítulo uno abarca los aspectos que sirven de marco teórico - práctico - referencial a la investigación; el capítulo dos en el que se describen los materiales y métodos y tres capítulos empleados para investigar y aplicar parcialmente el programa planteado como objetivo central. En el capítulo tres se discuten los principales resultados obtenidos a partir de todo el estudio realizado. La memoria incluye conclusiones y recomendaciones, así como la bibliografía consultada y un conjunto de anexos necesarios que sirven de complemento a los resultados expuestos.

CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO- GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y PARTICULARES DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.1 Conceptos básicos

Escasez de agua

Los recursos hídricos se encuentran en peligro de contaminación, los más importantes y estratégicos están sometidos a un alto grado de vulnerabilidad, por negligencia, falta de conciencia y desconocimiento de la población acerca de la obligación de protegerlos y la carencia de autoridades, profesionales y técnicos, a los que les corresponde cuidarlos y utilizarlos.(Reynolds, 2002)

Cerca de una tercera parte de la población del planeta vive en países que sufren una escasez de agua alta o moderada. Unos 80 países, que representan el 40% de la población mundial, sufrían una grave escasez de agua a mediados del decenio de los noventas, y se calcula que en menos de 25 años las dos terceras partes de la población mundial vivirán en países con escasez de agua.

Se prevé que para el año 2020, el aprovechamiento de agua aumentará en un 40%, y que aumentará un 17% adicional para la producción alimentaria, a fin de satisfacer las necesidades de una población en crecimiento. (CEPAL, 1997)

Calidad del agua

El término calidad de agua se refiere al conjunto de parámetros que indican que el agua puede ser usada para diferentes propósitos como: doméstico, riego, recreación e industria. La calidad del agua se define como el conjunto de características del agua que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico, la relación entre esta calidad del agua y las necesidades del usuario. También la calidad del agua se puede definir por sus contenidos de sólidos y gases, ya sea que estén presentes en suspensión o en solución (Mendoza, 1996)

La evaluación de la calidad del agua es un proceso de enfoque múltiple que estudia la naturaleza física, química y biológica del agua con relación a la calidad natural, efectos humanos y acuáticos relacionados con la salud.(Ongley, 1997)

El análisis de cualquier agua revela la presencia de gases, elementos minerales, elementos orgánicos en solución o suspensión y microorganismos patógenos. Los primeros tienen origen natural, los segundos son procedentes de las actividades de producción y consumo humano que originan una serie de desechos que son vertidos a las aguas para su eliminación (Sáenz, 1995).

La contaminación causada por efluentes domésticos e industriales, la deforestación y las malas prácticas de uso de la tierra, reducen notablemente la disponibilidad de agua. En la actualidad, una cuarta parte de la población mundial, que principalmente habita en los países en desarrollo, sufre escasez severa de agua limpia, lo que provoca que haya más de diez millones de muertes al año producto de enfermedades relacionadas a la contaminación hídrica (OPS, 1993)

Muchas de las actividades humanas contribuyen a la degradación del agua, lo cual afecta su calidad y cantidad. Entre las causas de mayor impacto a la calidad del agua en las cuencas hidrográficas de mayor importancia, está el aumento y concentración de la población, actividades productivas no

adecuadas, mal uso de la tierra, la contaminación del recurso hídrico con aguas servidas domésticas sin tratar, por la carencia de sistemas adecuados de saneamiento, principalmente en las zonas rurales. De igual manera, la contaminación por excretas humanas representa un serio riesgo a la salud pública(Reiff, 1995).

Es de vital importancia, tanto para la salud humana como para el bienestar de la sociedad, contar con un abastecimiento seguro y conveniente, de satisfacción para el consumo humano, y la higiene personal debe ceñirse a normas adecuadas en cuanto a disponibilidad, cantidad, calidad y confiabilidad del abastecimiento. Dado que el agua debe poseer un alto grado de potabilidad que puede resumirse en:

Condiciones físicas: que sea clara, transparente, inodora e insípida.
Condiciones químicas: que disuelva bien el jabón sin formar grumos, que cueza bien las legumbres.

Condiciones biológicas: que esté libre de organismos patógenos, con alto contenido de oxígeno y una temperatura que no debe sobrepasar más de 5°C a la del ambiente, pH no menor de seis ni mayor de ocho.

Contaminación del agua

Contaminación es la acción y efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica (Gallego, 2000).

Dado que el agua rara vez se encuentra en estado puro, la noción de contaminante del agua comprende cualquier organismo vivo, mineral o compuesto químico cuya concentración impida los usos benéficos del agua (Sagardoy, 1994).

Las categorías de contaminación que impactan a los recursos hídricos se derivan de fuentes puntuales y no puntuales. Éstas afectan y alteran las características naturales de los recursos hídricos, ocasionalmente por actividades naturales, pero en su mayoría el mayor de los impactos es de carácter antropogénico(Ongley, 1997).

Tipos de contaminación de las aguas por su origen:

Contaminación puntual: es aquella que descarga sus aguas en un cauce natural, proviene de una fuente específica, como suele ser un tubo o dique. En este punto el agua puede ser medida, tratada o controlada. Este tipo de contaminación está generalmente asociada a las industrias y las aguas negras municipales.

Contaminación difusa: es el tipo de contaminación producida en un área abierta, sin ninguna fuente específica; este tipo de contaminación está generalmente asociada con actividades de uso de tierra tales como, la agricultura, urbanizaciones, pastoreo y prácticas forestales.

La contaminación puntual es fácil de eliminar, si se cuenta con los medios para almacenar el agua vertida, contaminada y tratarla. Generalmente se utilizan tanques de sedimentación, donde se depositan los sedimentos en el fondo y luego se trata con químicos el agua para ser vertida a las aguas naturales. El sedimento luego se utiliza como abono orgánico y se estabiliza en un lugar seguro. En el caso de la contaminación difusa, su control es más difícil debido a su naturaleza intermitente y su mayor cobertura.

Agua y salud

El hecho de disponer de agua limpia para todos los seres vivos de la tierra haría que muchas de las enfermedades ahora existentes se redujeran considerablemente debido a que la biología gira fundamentalmente en torno al problema del agua, pues no hay vegetal ni animal que pueda prescindir de este elemento.

Está probado, que las enfermedades adquieren mayor importancia sanitaria en los países subdesarrollados, precisamente por la insuficiencia de los abastos públicos de agua. La experiencia vivida en algunos países, permite poner de manifiesto la eficiencia de instalaciones higiénicas de abastos de agua para evitar las enfermedades de origen hídrico.

Las enfermedades infecciosas: fiebre Tifoidea, paratifoidea, disentería (bacilar y amébrica) y otras constituyen la causa principal de muchas muertes,

particularmente en infantes. En muchos países la diarrea representa la primera o segunda causa de muerte en niños.

En el caso del cólera, enfermedad que apareció en los años sesenta en Indonesia, Pakistán y La India, y que fue causa de grandes epidemias, la clave de su control se basa en el mejoramiento de las condiciones ambientales y suministro de agua pura.

La malaria, cuyo vector es el mosquito, es otra de las enfermedades relacionadas al suministro de agua potable. Es tan conocida que la Asamblea Mundial de la Salud en 1995 declaró su erradicación en el mundo. Sin embargo a pesar de grandes esfuerzos, esta enfermedad causa estragos en muchas partes del mundo. La importancia de agua pura para la vida y la salud de las personas, así como la economía de los países, no es totalmente reconocida por los gobiernos y personas encargadas de tomar decisiones. Por supuesto agua pura no evitará que las personas se enfermen; esto debe ser acompañado de hábitos de higiene, saneamientos, control de vectores, y dietas balanceadas. Se tiene que reconocer que el desarrollo del agua requiere una amplia variedad de aportes políticos y tecnológicos para cumplir con los requerimientos de calidad establecidos.

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. (Cubana, 2017)

Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH)

Entidad encargada de organizar y dirigir, en coordinación con los organismos competentes, la protección de las aguas terrestres, las cuencas, los cauces naturales, las obras e instalaciones hidráulicas contra los peligros de contaminación, azolvamiento y otras formas de degradación y deterioro, así como el control sistemático de la calidad de las aguas.

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)

Tratamiento convencional: tratamiento de agua que se ejecuta para aguas superficiales, ríos, arroyos y embalses, en el cual se aplican los procesos de: Floculación, sedimentación, filtración y desinfección.(Cubana 2017)

Tecnologías: la aplicación de los conocimientos, métodos o instrumentos de la ciencia para propósitos prácticos como los de la industria, el comercio, la ciencia, etc.

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. (Cubana 2017)

Conductividad:

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.

pH: coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.

Temperatura (T°): la temperatura es un parámetro termodinámico del estado de un sistema que caracteriza el calor, o transferencia de energía.

Oxígeno Disuelto (OD): es la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua y que es esencial para la vida de cualquier organismo acuático. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de contaminación del agua

Turbiedad (UNT): la turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, depende del grado de turbulencia.

Sólidos disueltos totales: los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio,

bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua.

Cloro libre: el cloro es un gas altamente reactivo. Es un elemento que se da de forma natural. Las plantas de tratamiento de agua y de aguas residuales utilizan cloro para reducir los niveles de microorganismos que pueden propagar enfermedades entre los humanos (desinfección).

Los efectos del cloro en la salud humana dependen de la cantidad de cloro presente, y del tiempo y la frecuencia de exposición. Los efectos también dependen de la salud de la persona y de las condiciones del medio cuando la exposición tuvo lugar.

Cloruros: los cloruros que se encuentran en el agua natural proceden de la disolución de suelos y rocas que los contengan y que están en contacto con el agua. Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales a aguas superficiales.

Nitratos: los nitratos son compuestos presentes en la naturaleza que forman parte del ciclo del nitrógeno. En concreto es la forma oxidada estable de ese ciclo. La concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser baja, pero puede llegar a ser alta por filtración o escorrentía de tierras agrícolas o debido a la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares.

Sulfatos: los sulfatos son compuestos que se encuentran presentes en el agua de forma natural, debido al lavado y la disolución parcial de materiales del terreno por el que discurre (formaciones rocosas compuestas de yeso principalmente y suelos sulfatados). Se han encontrado altas concentraciones tanto en las aguas subterráneas como sometidas a contaminación antropogénico.

Coliformes Fecales: las bacterias Coliformes Fecales forman parte del total del grupo Coliformes. Son definidas como bacilos gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a $44.5 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dentro de las 24 ± 2 horas. La mayor especie en el grupo de coliformes fecales es el *Escherichia coli*. La presencia de coliformes en el

suministro de agua es un indicio de que el suministro de agua puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo.

Coliformes Totales: los Coliformes totales se definen como bacilos Gram negativos, aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados que pueden desarrollarse en presencia de sales biliares y otros agentes tensoactivos con propiedades similares de inhibición del crecimiento, no tienen citocromo oxidasa y son capaces de fermentar la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído, en un período de 24 a 48 horas. Se pueden encontrar tanto en las heces como en el medio ambiente y en el agua para consumo con concentraciones de nutrientes relativamente elevadas.

Dureza Total: la dureza del agua se debe al contenido de calcio y, en menor medida, de magnesio disueltos. Suele expresarse como cantidad equivalente de carbonato cálcico.

Sólidos Suspendidos Totales: los sólidos en suspensión son productos de la erosión de los suelos, detritus orgánico y plancton. Los sólidos suspendidos, tales como limo, arena y virus, son generalmente responsables de impurezas visibles. La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición.

Calcio: junto con el magnesio son los principales causantes de la dureza. Representa más un problema económico por las incrustaciones en cañerías, que un problema de salud. El ión calcio forma sales desde moderadamente solubles a muy insolubles. Precipita fácilmente como carbonato de calcio (CO_3Ca). Es el principal componente de la dureza del agua y causante de incrustaciones.

Magnesio: el ion magnesio tiene propiedades muy similares a las del ión calcio, aunque sus sales son un poco más solubles y difíciles de precipitar. El hidróxido de magnesio es, sin embargo, menos soluble. Las aguas dulces suelen contener entre 1 y 100 ppm.

Potasio:

El ión potasio K⁺, corresponde a sales de muy alta solubilidad y que son difíciles de precipitar. Las aguas dulces no suelen tener más de 10 ppm y el agua de mar alrededor de 400 ppm. (INGENIEROS, ECOFLUIDOS 2012)

1.2 Antecedentes y estado actual de la temática

En el mundo el esfuerzo por parte de los países por asegurar una adecuada calidad de agua para sus habitantes se demuestra a través de los diferentes trabajos y proyectos que se han encontrado a lo largo de la realización de este trabajo, aunque aún no suficiente para la gran cantidad de personas en el mundo que no disfrutan de una buena calidad de agua.

La evaluación general de la calidad del agua ha sido objeto de múltiples discusiones en cuanto a su aplicación para la regulación del recurso hídrico el mundo ya que ésta considera criterios que no siempre garantizan el resultado esperado para regiones con diferentes características. Como consecuencia, muchos países han desarrollado estudios e indicadores tendentes a aplicar criterios de evaluación propios, de tal manera que su aplicabilidad corresponda con sus requerimientos y necesidades.

En Cuba, 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.

Recientemente García y Gutiérrez (2015) diseñaron un ICA para las aguas superficiales (ICAsup), el cual fue implementado por el INRH a partir del periodo seco de 2014 en las cuencas de interés nacional (CIN).

Borbolla-Sala et al. 2003 "Calidad del agua en Tabasco" El objetivo principal de este trabajo es conocer las características fisicoquímicas y calidad de las muestras de agua potable, procedentes de las diferentes Jurisdicciones

Sanitarias. Se realizó un estudio observacional, retrospectivo, transversal. La muestra se integró con 268 registros de agua potable, obtenidas de las muestras totales de aguas que ingresan al Laboratorio de Análisis Ambiental. Las variables bajo estudio fueron: el número o folio, jurisdicción, color, turbidez, pH, dureza total como CaCO_3 , sulfatos, nitratos como nitrógenos, cloruros, cloro residual y sólidos disueltos totales. Se obtuvieron las medias estadísticas de los siguientes parámetros del agua potable: color 11.46 pt/ Co, turbidez 5.40 UTM, pH 7.62, dureza total como CaCO_3 de 223.05 mg/l, sulfatos 89.86 mg/l, nitratos como nitrógeno 0.39 mg/l, cloro libre residual 0.75 mg/l, cloruros 40.17 mg/l, y sólidos disueltos totales de 395.05 mg/l. La turbidez fue mayor que la media nacional propuesta en la Norma Oficial Mexicana -127-SSA -1994. Se encontró correlación entre turbidez con sulfatos y dureza total, con una $p < 0.05$ a través de la prueba de hipótesis "t" Student's.

Cifuentes 2004 "Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos en la zona 11, Mixco, Guatemala". En este trabajo se determinó la calidad del agua para consumo humano y uso industrial de cuatro pozos mecánicos ubicados en la zona 11 de Mixco, específicamente en las colonias Lo de Fuentes, Lo de Molina y Primero de Mayo. Para ello se determinaron las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua de cada uno de los pozos, posteriormente estos valores se compararon con la norma para agua potable NGO 29001 de la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR, y también se compararon con los requerimientos de calidad del agua para uso industrial contenidos en la norma propuesta CATIE. Para el análisis bacteriológico se usó el método de tubos múltiples de fermentación. Todos los parámetros evaluados se encontraron dentro de los límites aceptados en la norma para agua potable, por lo que se concluyó que el agua de estos cuatro pozos es adecuada para consumo humano. En cuanto a la calidad del agua para uso industrial, se encontró que es adecuada para uso en la industria de alimentos en general, no así para las industrias de bebidas carbonatadas, destilerías y cerveceras, y calderas por no cumplir con los requerimientos para estas industrias. En promedio, el agua de estos pozos se clasifica como dura y ligeramente corrosiva.

Mejía 2005 “Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la micro cuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras.” El estudio se realizó en la micro cuenca El Limón, ubicada en la subcuenca del Río Copán, Honduras, con el objetivo de hacer un análisis socio ambiental de la calidad del agua para consumo humano, y determinar la percepción local del uso de tecnologías apropiadas para desinfección de agua. Se hicieron análisis de laboratorio de las principales fuentes de consumo humano mediante parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua. Se obtuvo una recopilación del conocimiento local del uso y manejo del agua mediante una metodología participativa, información que llevó al planteamiento de alternativas y acciones sostenibles para mantener la calidad del agua para consumo dentro de los rangos permitidos por la Norma Técnica Nacional.

Félix-Fuentes et al. 2007 “Calidad microbiológica del agua de consumo humano de tres comunidades rurales del sur de Sonora (México)”

Tamayo 2009 “Evaluación de la materia orgánica y el cloro residual en las aguas de consumo humano de la ciudad de Moa en el periodo de febrero-abril del 2009.” El presente trabajo tiene como objetivo fundamental evaluar los contenidos de cloro residual y materia orgánica en aguas de consumo. Se realizó una caracterización de la calidad del agua filtrada del tanque de almacenamiento para la distribución de la Planta Potabilizadora a los diferentes repartos, así como otras determinaciones de propiedades físicas y organolépticas que sirvieron de base para el estudio del cloro residual y materia orgánica en diferentes puntos representativos de la red de distribución y domiciliarios, se observan las alteraciones en los contenidos (Fe, materia orgánica). Con el objetivo de prevenir la contaminación se proponen medidas higiénicas sanitarias y se dan conclusiones y recomendaciones de interés.

Viviana et al. 2009 “Análisis filogenético de las cepas de rotavirus y virus de la hepatitis A encontradas en agua de consumo en el municipio de Quibdó, Chocó” El objetivo de este trabajo es demostrar la presencia de estos dos agentes virales en el agua de consumo para contribuir con la explicación de la

morbilidad por enfermedad diarreica aguda y hepatitis en la región, y aclarar que el origen de estos virus es por contaminación de desechos humanos más que por la materia fecal de bovinos o porcinos. Se procesaron 4.000 litros de agua. Se aplicó la prueba de RT-PCR a 60 muestras de agua no tratada y a 20 muestras de agua tratada por el acueducto. Las muestras positivas fueron secuenciadas y con el análisis de dichas secuencias se elaboraron árboles filogenéticos. Los resultados arrojaron que seis de las muestras resultaron positivas para rotavirus y dos más para virus de la hepatitis A. Éstos aparecieron tanto en aguas tratadas como no tratadas. Los análisis filogenéticos demostraron que el rotavirus pertenece al serotipo G2 humano y que el virus de la hepatitis A fue también de origen humano.

E.Paniagua-Suárez, López-Giraldo y Flor Á. Tobón-Marulanda 2010 “Contaminación del agua por plaguicidas en un área de Antioquia, Colombia” El objetivo era determinar la frecuencia de uso de plaguicidas en la producción agropecuaria, porcícola y avícola, para comprender su influencia en el recurso hídrico en la vereda Monterredondo del municipio San Pedro de los Milagros (Antioquia) y establecer un diagnóstico de su calidad. El Método que se aplicó consistió en una encuesta domiciliaria al 100 % de las familias de la vereda, sobre el uso de productos químicos y se realizaron dos análisis, el fisicoquímico y el microbiológico a tres muestras de agua en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Antioquia bajo métodos estandarizados. Los resultados arrojaron que en la quebrada El Hato presenta una contaminación por Coliformes y por E.coli. La quebrada Fray Juana presenta un grado de contaminación de $1\ 600 \times 10^3$ NMP/100ml de Coliformes. Se encontró igualmente una contaminación de las fuentes hídricas por el uso de diversos plaguicidas y desinfectantes como, Límpido® (Hipoclorito de sodio 6 %). La producción agropecuaria, porcícola y avícola en la vereda, generan impactos negativos en el recurso hídrico, por la disminución y la contaminación de éste. Las aguas de las muestras analizadas, no son aptas para el consumo de seres vivos.

Torres y Navia 2010 “Calidad físico-química y microbiológica del agua del municipio de Boyacá, Cundinamarca” Este estudio determinó si el agua para consumo humano del área urbana en el municipio de Boyacá Cundinamarca,

cumplía con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos establecidos en la Resolución 2115 de 2007. Para ello, se realizaron dos muestreos de diferentes puntos de la red de distribución, fuentes naturales y tanques de almacenamiento domiciliario. Se emplearon métodos fotométricos, electrométricos y volumétricos en los respectivos análisis físicos y químicos, para los parámetros microbiológicos se empleó la técnica de filtración por membrana. Los resultados obtenidos evidenciaron que la mayoría de las muestras no cumplió con el valor mínimo permisible de cloro residual libre, por lo tanto, según el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA), son clasificadas como no aptas para consumo humano. Sin embargo, los demás parámetros analizados incluso los microbiológicos cumplieron los parámetros estipulados en la Resolución 2115 de 2007.

Simanca, Álvarez y Paternina 2010 “Calidad física, química y bacteriológica del agua envasada en el municipio de Montería, Colombia.” El objetivo del presente trabajo fue evaluar los parámetros físicos: pH, color, olor, turbiedad, sólidos totales y conductividad; las características químicas: alcalinidad, sulfatos, dureza total, hierro total, aluminio, cloruros y cloro residual; y las características bacteriológicas: coliformes totales, coliformes fecales y *Pseudomonas* spp., en 16 empresas envasadoras de agua para consumo humano en el municipio de Montería departamento de Córdoba durante cinco meses. Las variables sólidos totales, pH, alcalinidad, dureza total, conductividad, cloruros, cloro residual y alcalinidad, mostraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$) y los sulfatos diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los meses de estudio, indican que las variaciones de la calidad del agua cruda en el transcurso del estudio influyeron en la calidad final de la misma. Los parámetros de dureza, sólidos totales y conductividad difieren significativamente ($p \leq 0,05$) entre las empresas envasadoras, como producto de la etapa de floculación para minimizar sólidos y turbiedad en algunas envasadoras. Las variables color, olor, turbiedad, contenido de hierro y aluminio no mostraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) tanto para las empresas evaluadas como durante los meses de estudio. Los parámetros bacteriológicos, permanecieron constantes durante la investigación. Este estudio evidenció el cumplimiento del Decreto 1575 del 2007 y las

Resoluciones 2125 del 2007 y 12186 de 1991 del Ministerio de la Protección Social de Colombia.

“Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano.” En este trabajo se hace un análisis crítico acerca de los índices de calidad de agua en el mundo, sus inicios y aplicaciones futuras.

Pullés 2014 “Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en Cuba”. El objetivo de esta revisión fue analizar el enfoque actual existente a nivel nacional e internacional, en relación con los indicadores microbiológicos empleados para la evaluación del agua potable, como elementos clave, y a partir de estos, proponer un esquema de monitoreo en Cuba. Los resultados reflejaron, la alternativa de considerar, la aplicación de un esquema para monitoreo complementario en Cuba, que incluya como indicadores de contaminación del agua potable además de las bacterias, algunos agentes biológicos no considerados en la norma, como los virus y los parásitos. Asimismo, indicaron la necesidad de establecer un valor de referencia y definir los microorganismos a emplear en los monitoreo de validación, operativo o verificación. Esta propuesta aportaría importante información para la actualización de la norma cubana sobre la base del conocimiento de los estándares internacionales más reconocidos.

Viquez 2016 “Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y propuesta de alternativas tendientes a su mejora, en la Comunidad de 4 Millas de Matina, Limón.” Se realizó un diagnóstico de las fuentes de agua para consumo humano utilizadas en la comunidad de 4 Millas de Matina, Limón, con el fin de generar una propuesta de alternativas tendiente a mejorar la calidad del agua que se consume. En 4 Millas, estas fuentes equivalen a pozos artesanales construidos manualmente y sin ningún tipo de dirección técnica, igual que algunas otras comunidades rurales de la zona.

Se analizaron parámetros físico-químicos, metales, coliformes fecales y plaguicidas. Los análisis determinaron que las concentraciones de manganeso en el agua tomada de los pozos son altas (mediana: 835 µg/L Mn) y muchas

veces (67%) están por encima de lo máximo permitido. Con base en lo que menciona la literatura científica, estas concentraciones podrían afectar el neuro desarrollo infantil.

López y Yáñez 2015 “Control de calidad del agua potable que se distribuye en los campus: Central, Hospitalidad, Balzay, Paraíso, Yanuncay y las granjas de Iruquis y Romeral perteneciente a la universidad de Cuenca”. El principal objetivo de este proyecto es determinar la calidad de agua potable que llega a la Universidad de Cuenca, es decir, a todos sus campus y haciendas. Los parámetros analizados fueron: físicos: temperatura, turbiedad, color, olor, sabor, conductividad; químicos: pH, Alcalinidad, Dureza total, Oxígeno disuelto, Nitritos, Cloruros, Cloro libre, Cobre, Hierro; microbiológicos: Coliformes totales, Coliformes fecales, Aerobios mesófilos. Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas, según el análisis comparativo con los valores establecidos en la norma INEN 1108: 2014 demuestran, que la mayoría de los parámetros Físicos y Químicos cumplen satisfactoriamente con los requerimientos para la calidad de Agua potable, sin embargo, existieron resultados Microbiológicos indicativos de contaminación en las fuentes de agua que se utilizan de manera primordial para el consumo humano en la mayoría de campus. Mediante la implementación de medidas de limpieza y desinfección frecuentes estas alteraciones podrán ser erradicadas.

Sánchez et al. 2016 “Calidad de las aguas del río Ariguanabo según índices físico-químicos y bioindicadores”. El índice de calidad de las aguas superficiales y el basado en la tolerancia de los macro invertebrados arrojaron resultados muy similares caracteriza las aguas desde contaminadas hasta muy contaminadas para todos los puntos de muestreo del río Ariguanabo.

Se destacan las bajas concentraciones de oxígeno disuelto provocadas por un alto nivel de estancamiento de la corriente, crecimiento desmedido de la vegetación acuática y una menor actividad fotosintética producto del alto grado de cubrimiento del bosque de galería. Aparecen valores de DQO y coliformes fecales fuera de norma, debido a la gran cantidad de aportes de aguas residuales, con altas concentraciones de materia orgánica de origen doméstico

y porcino. En la fauna macro invertebrada existe un predominio de familias con alta tolerancia a la contaminación fundamentalmente del orden Molusca.

Seisdedo et al. 2017 “Análisis comparativo de la calidad del agua de dos embalses de la cuenca Arimao, Cuba”. Los Índices de Calidad del Agua (ICA) resultan herramientas útiles para la gestión ambiental de los recursos acuáticos. El objetivo de este estudio fue la evaluación comparativa de la calidad del agua de dos embalses de la cuenca Arimao mediante el Índice de Calidad del Agua Superficial (ICAsup), basado en la metodología propuesta por Gutiérrez & García (2014) para apoyar el manejo de cuencas en Cuba y contribuir a garantizar la seguridad del agua de consumo. Los datos considerados correspondieron a cinco campañas de muestreo de las aguas en cada embalse (Paso Bonito y Hanabanilla) durante el período 2014-2015. Los resultados de la calidad de las aguas mostraron excelentes condiciones, excepto en el nivel más profundo del sistema Paso Bonito en ambos períodos analizados (lluvioso y seco). Para los dos embalses, los indicadores con más resultados fuera de los rangos de valores establecidos como de mejor calidad según la metodología utilizada, fueron el pH y la saturación de oxígeno, este último en ocasiones mostró condiciones anóxicas e hipóxicas en el nivel más profundo. El análisis estacional basado en la comparación de los resultados del (ICAsup), no mostró diferencias significativas entre los dos embalses analizados.

Caballero 2017 “Evaluación de la calidad de las aguas en el poblado la Melba” En este trabajo el estudio de la problemática ambiental, la contaminación y calidad de las aguas subterráneas y superficiales en el poblado de la Melba, es una de las prioridades de los investigadores de la temática en la zona, ya que constituye una de las reservas de agua superficial más importante ubicada dentro del Parque Nacional Alejandro de Humboldt Moa, Cuba. Para esta investigación se tuvo en cuenta la siguiente metodología: Recopilación y análisis de la información disponible de la región de estudio, levantamiento hidrogeológico a escala 1: 50 000, determinación de las posibles fuentes de contaminación, muestreo hidroquímico análisis físico-químicos, evaluación del índice de calidad de agua procesamiento de la información. 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 muy blandas y 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.

Fernández, Kulich y Gutiérrez 2017 “Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador” El presente trabajo evalúa la calidad de agua del río Portoviejo (Manabí, Ecuador) mediante la aplicación del índice de calidad de agua bajo la metodología propuesta por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF). Los puntos donde se determinó el índice fueron seleccionados a partir de resultados previamente obtenidos mediante el uso de un modelo matemático y su estimación se efectuó mediante la toma de muestras de parámetros físico-químicos y microbiológicos. Independientemente que solamente uno de los indicadores evaluados sobrepasa los valores establecidos por los límites máximos permitidos (LMP), los resultados obtenidos demuestran que la calidad de agua va disminuyendo a medida que el río recorre la trayectoria de su cauce, debido a la alta carga contaminante producto del vertimiento de aguas residuales y a la disminución de su capacidad de autodepuración

Gil-Marín, Vizcaino y Montaña-Mata 2018 “Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela”. El objetivo de esta investigación fue evaluar el índice de calidad del agua (ICA) en el río Guarapiche, estado Monagas, Venezuela, medido por el método del índice aritmético ponderado. Para ello, se evaluó catorce parámetros de calidad del agua (temperatura, pH, dureza, CE, nitrato, nitritos, sulfato, cloruros, OD, Fe, Mn, Ni, K, y CF). El peso relativo asignado a cada parámetro varió de uno a cuatro basado sobre la importancia del parámetro para la vida acuática. Los valores de ICA van desde 44,38 (muestreo estación San Félix) a 363,69 (estación de muestreo Palmonagas). El impacto de varias actividades antropogénicas fue evidente en algunos parámetros como Mn, NO_3^- , NO_2^- , y CF. Se sugiere que el monitoreo del río es necesario para una gestión

adecuada. La aplicación del ICA se recomienda como una herramienta muy útil que permite al público y a los responsables de la toma de decisiones, evaluar la calidad del agua de los ríos en Venezuela.

Lambert 2018 “Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey” este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la calidad de las aguas de abastecimiento en el poblado de Yamanigüey. Se determinó el estado higiénico-sanitario de las principales fuentes de contaminación en áreas aledañas y las características físicas- químicas y bacteriológicas de las aguas, se clasificaron según diferentes autores, utilizan las normas nacionales e internacionales para agua potable. Se implementó la metodología de evaluación del Índice de Calidad de Agua propuesto por Montoya *et al.*, 1997 y los datos se expresaron en tablas y gráficos. Se obtuvieron como principales conclusiones que las aguas según las normas cubanas se clasifican como aguas potables y de acuerdo a los resultados del ICA, se clasifican nueve de ellas como aceptables y la restante como poco contaminada. Se propusieron medidas para el control y mitigación de la contaminación del agua. Los problemas de contaminación encontrados en las fuentes hídricas estudiadas, se generan como consecuencia del desarrollo de las actividades humanas, por tanto, se requieren de intervenciones estratégicas para contrarrestar los impactos negativos sobre los recursos hídricos.

Salazar Chávez y Pastor Ortiz 2019 “Evaluación de la calidad ecológica y ambiental del agua del río Jequetepeque en el tramo de San Juan - Chilete del departamento de Cajamarca en el año 2017- 2018.” La presente tesis es una investigación que tiene por objetivo evaluar la calidad ecológica y ambiental del agua del río Jequetepeque donde se analizaron parámetros fisicoquímicos (nitratos, nitritos, fosfatos, pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, DBP 5, fluoruros, cloruros, bromuros, sulfatos, sólidos disueltos totales y turbidez), microbiológicos (coliformes termotolerantes y totales), y la caracterización de los macro invertebrados bentónicos. La metodología que se utilizó fue la recolección de muestras de agua y recolección de macro invertebrados bentónicos, hicimos 2 campañas en tiempo de lluvia y 2 campañas en tiempo de estiaje, al igual que la aplicación de índices bióticos de calidad ambiental (BMWP/Col, BMWP/Bol y EPT) y el ICA de la NSF. Se hizo

una comparación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con el estándar de calidad ambiental (ECA) de la legislación peruana. El pH y los coliformes termotolerantes no cumplieron con esta normativa (ECA), en algunos puntos de muestreo (en su mayoría en la zona de Chilete), en ambas épocas (estiaje y lluvia). Se encontraron 3 clases, 11 órdenes y 30 familias de macro invertebrados bentónicos. Los resultados finales en promedio de los índices y el ICA en época de estiaje y época de lluvia respectivamente son BMWP/Col 67 y 51; BMWP/Bol 61 y 47; EPT 4 y 4; y del ICA de la NSF 59 y 60. Se concluyó que, el agua se encuentra moderadamente contaminada y existe una concordancia y relación entre los resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, índices bióticos y el ICA de la NSF.

Callejas 2018 “Propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable de la escuela de logística del ejército nacional” Este proyecto pretende el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable - PTAP de la Escuela de logística del Ejército Nacional. Actualmente la Escuela Logística cuenta con una planta de tratamiento de agua portátil, este sistema tiene capacidad de 20 m³/s y atiende aproximadamente 1100 personas, ésta presenta una operación favorable, pero presenta falencias en el cumplimiento con la legislación ambiental colombiana. A partir de esto se propondrá un diseño de alternativas de mejoramiento de las operaciones y procesos unitarios de tal manera que garanticen un adecuado funcionamiento del sistema que atienden a criterios y parámetros contemplados en la normatividad vigente, con el cual se pretenderá no solo mejorar la calidad de vida de la población de la escuela, si no también evitar gastos innecesarios en cuanto a operación y mantenimiento de la planta y así mismo evitar posibles multas o sanciones por incumplimientos frente a la normativa, se hace buen uso del recurso si se consigue un sistema de agua potable que perdure en el tiempo y tenga la capacidad de abastecer los usuarios con un agua potable de alta calidad.

1.3 Caracterización del área de estudio

1.3.1 Situación Geográfica

La región de estudio se encuentra enmarcada dentro del municipio Moa, el cual se ubica en el noreste de la provincia Holguín, limitado al norte con el océano Atlántico, al sur con el municipio de Yateras, al este con el municipio de

Baracoa y al oeste con los municipios de Sagua de Tánamo y Frank País. La misma abarca un área de 465 Km² (ver Figura 1).

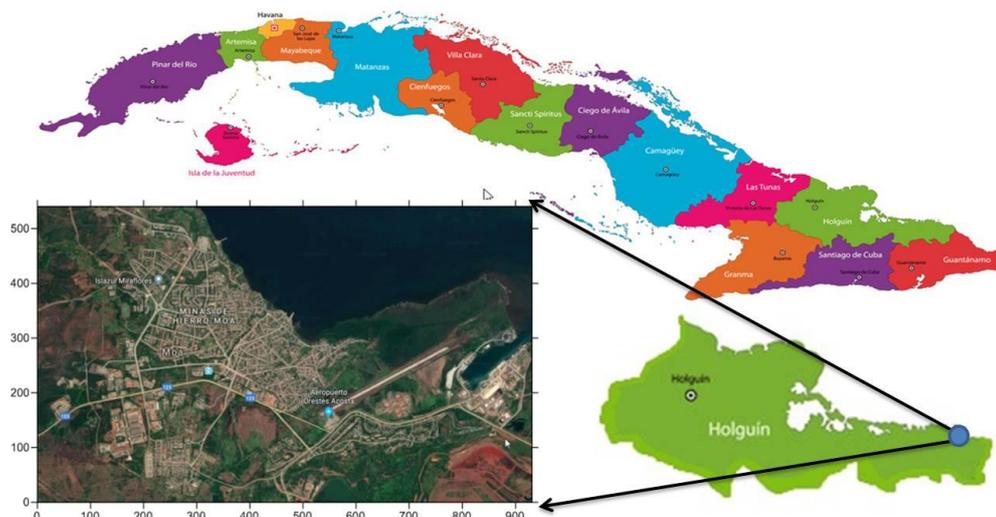


Figura 1 .Mapa de ubicación geográfica. Tomado de www.googlemaps.com.

1.4 Clima

El clima es tropical húmedo, siendo una de las áreas de mayor pluviométrica del país. El cual está influenciado por la orografía, ya que las montañas del grupo Sagua –Baracoa sirven de pantalla a los alisios del noreste que descargan abundantes lluvias en la parte norte. La zona se encuentra bajo el régimen de brisas y terrales. Desde el punto de vista meteorológico el municipio se sitúa como una zona costera con predominio de las condiciones tropicales marítimas – costeras.

1.4.1 Temperatura

Los meses más cálidos son julio-septiembre con temperatura media de hasta 30.5°C y los más fríos son enero y febrero con mínimas de 22-24°C Según Lavaut (1998) se pueden experimentar fluctuaciones espaciales de la temperatura de 10°C a 15°C se considera la diferencia climática vertical en la atmósfera de las áreas montañosas.

1.4.2 Humedad relativa

La humedad relativa media anual es del 85%. Los meses de mayor humedad son octubre, noviembre y diciembre, mientras que los menores valores de humedad se registran en el mes de marzo (Téllez, 1995; Rodríguez y Téllez, 1995).(Tamayo 2009)

1.4.3 Precipitaciones

El comportamiento de las precipitaciones en la región de Moa reportan abundantes lluvias en todo el año, que alcanzan valores de 2711.616667–2264.616667 y 2403.525 mm como promedio anual en los últimos tres años valores tomados del registro de precipitaciones en pluviómetro ubicado en la Presa Moa. En general se puede plantear que existen dos máximas, una principal en los meses correspondientes a enero –octubre y la segunda en el mes de mayo. El valor mínimo principal se registra en el periodo de julio a agosto y el secundario, de marzo a abril.

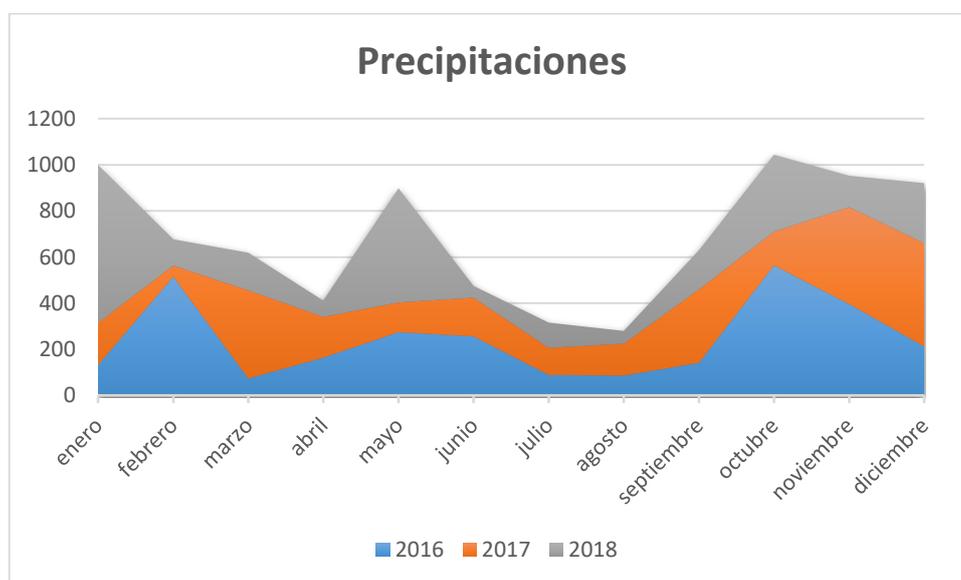


Figura 2. Gráfico de precipitaciones mensuales desde el 2016 hasta 2018. Valores tomados del Registro de precipitaciones en pluviómetro ubicado en la Presa Moa. Años 2016-2018.

1.4.4 Presión atmosférica

Durante el invierno ocurren las presiones más altas. De mayo a octubre se registran los valores mínimos. La media anual es de 1017.3 hP, la media máxima mensual es de 1022.0 hP en el mes de septiembre.

1.4.5 Vientos

El régimen de los vientos en la región es de moderada intensidad. Casi todo el año soplan vientos alisios, provenientes de la periferia del anticiclón oceánico de las Azores –Bermudas, provocan que el viento en superficie tenga una dirección NE–E. Se caracteriza el viento por ser muy variable, presenta una velocidad máxima de 10 m/s, el valor medio anual es de 2 m/s predominan las

direcciones antes mencionadas. El viento es un parámetro importante en la región de Moa, pues controla el movimiento de las emanaciones industriales vertidas a la atmósfera (Pérez et al, .1991).(Tamayo 2009)

1.4.6 Hidrografía

Se cuenta en el municipio con una red hidrográfica bien desarrollada que corre de Sur a Norte, la misma es de tipo dendrítica, aunque en algunos casos se observa la red subparalela. La región cuenta con una red hidrográfica bien desarrollada representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se encuentran de Este a Oeste: Yamanigüey, El Medio, Semillero, Quesigua, Cayo Guam, Punta Gorda, Yagrumaje, Moa, Cabañas (Ver Figura 3), los cuales son de carácter permanente, drenan en el mismo sentido que presenta la red. Estos ríos desembocan en la Bahía de Moa, forman deltas cubiertos de mangles, apreciándose en los mismos una zona de erosión y otra de acumulación. Ellos forman terrazas al llegar a la zona de pie de monte y presentan numerosos meandros, sus orillas son abruptas y erosionadas en las zonas montañosas, mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas. Son alimentados por las precipitaciones atmosféricas que tienen como origen las zonas montañosas del grupo Sagua - Baracoa. Los mismos sobrepasan los 1.5 m/seg de velocidad y los gastos oscilan entre 100 y 200 l/seg. Algunos pueden tener gastos inferiores. Podemos decir que el nivel de los ríos cambia en dependencia con las precipitaciones, los niveles más bajos se observan en el período de seca, correspondiente a los meses de julio a septiembre y los más elevados en la época de lluvia, la cual está comprendida entre los meses de octubre a enero (ver Figura 3).

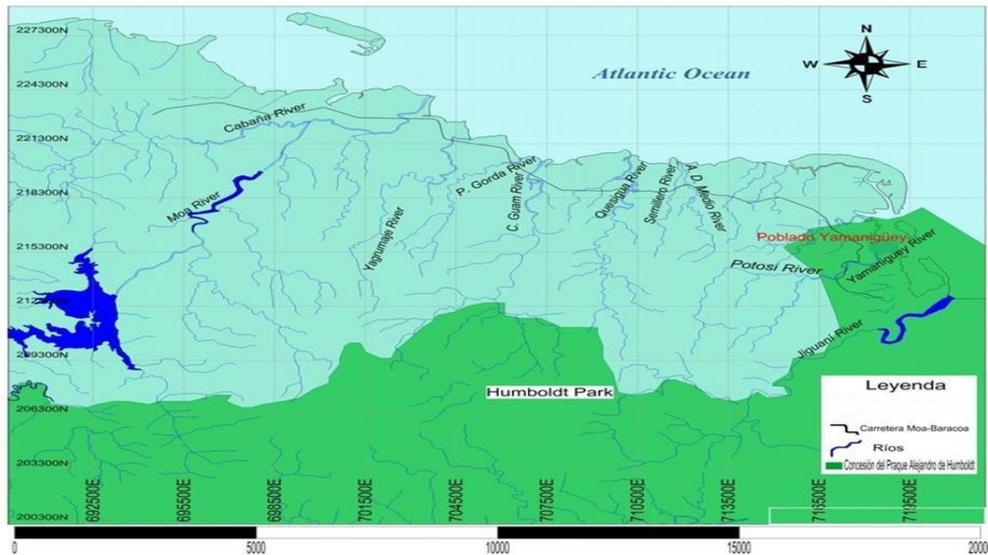


Figura 3. Mapa de la red hidrográfica de Moa. Tomado de Crespo, Lambert 2018

1.5 Geomorfología regional

Esta región se encuentra enclavada en el grupo montañoso Sagua – Baracoa, lo cual hace que en ella exista un relieve predominantemente montañoso, fundamentalmente hacia la parte sur de la región donde es más accidentado, debido a la presencia de la cercanía de la Sierra de Moa que se extiende en dirección submeridional; hacia el norte de la región el relieve se hace más moderado con cotas que oscilan entre los 40 y 50 metros como máximo, disminuyendo gradualmente hacia la costa, influenciado además por la acción del hombre que ha causado la transformación del mismo en esta zona por la necesidad de construir diferentes obras económicas y sociales, lo que implica la realización de grandes movimientos de tierra.

Este relieve con grandes pendientes ha propiciado el arrastre de gran cantidad de cantos rodados, bloques, gravas y material areno arcilloso los cuales han ido depositándose en las zonas de menos pendiente. Se observan zonas del relieve aplanadas y suaves. Este relieve es de origen tectónico formado por grandes bloques que han sido desplazados, el cual se ha visto sometido a los agentes de intemperismo, los cuales han denudado y transformado la geomorfología del área.

Según Rodríguez Infante Alina en su trabajo “Relieve y neotectónica de la región de Moa” refiere que genéticamente el relieve de Moa y sus áreas

adyacentes está clasificado dentro del tipo de Horst y los bloques anteriormente mencionados corresponden a los cuerpos de rocas últrabásicas en la etapa neotectónica a lo largo de las dislocaciones antiguas y rupturas nuevas, poco o ligeramente diseccionadas como resultado de esta investigación se clasificó el relieve del territorio en dos tipos: Relieve de llanura y relieve de montaña.

El relieve de llanura se desarrolla en toda la parte norte del área la formación de estas llanuras está relacionada con la acción de diferentes procesos morfogénico que en ella han actuado, predominan los procesos fluviales. Por otra parte, los sedimentos que se acumulan proceden de las cortezas lateríticas, transportados por los ríos que desembocan en la zona principalmente el río Moa, cuya cuenca es la de mayor extensión y atraviesa extensas zonas descubiertas de vegetación.

En el relieve de llanura podemos destacar las llanuras fluviales las mismas se clasifican en acumulativas y abrasivo – acumulativas esto está en dependencia del proceso que predomine en su morfogénesis las mismas se pueden localizar en los valles de los ríos Cabaña, así como en la zona comprendida entre Quesigua y Cupey. Los sedimentos que se acumulan en estas llanuras son de origen fluvial, su deposición es generalmente de carácter temporal y son removidos con frecuencia en los periodos de crecidas.

Toda la zona de relieve de llanura de edad cuaternaria no ha estado exenta de la acción de los procesos tectónicos, pueden notarse con facilidad en el mapa la existencia de fallas que cortan y desplazan el relieve.

El relieve de montaña es el más extendido dentro del área, los valores morfométricos así como la configuración de las elevaciones son extremadamente variables en dependencia de las características geológicas y el agrietamiento de las rocas sobre las cuales se desarrollan así como el nivel isométrico que ocupa.

Es muy frecuente dentro del territorio encontrar la formación de barrancos en la parte alta y media de los ríos que atraviesan el complejo ofiolítico y que tiene un fuerte control estructural, lo cual hace susceptible que en determinados sectores existan deslizamientos y arrastres de suelos.

Existen otras dos formas de paisaje que a pesar de su origen antrópico se deben destacar, las zonas minadas (escombreras) que crecen cada día con el avance de la actividad minera, constituyen sectores descubiertos y desmembrados que aceleran el proceso de acarcavamiento, permiten intensificar el arrastre del suelo con la ruptura del equilibrio fluvial y la acumulación anómala de sedimentos.

La segunda forma a la que hacemos referencia lo constituyen las presas de colas que degradan progresivamente el medio físico. El sector de estudio se encuentra ubicado en el Bloque Cabaña Norte (ver Figura 5).

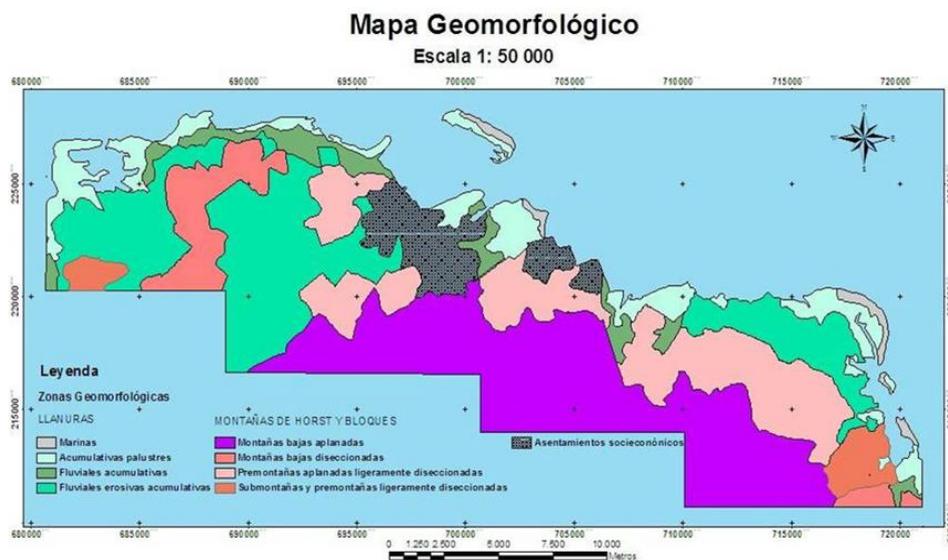


Figura 4. Mapa geomorfológico de Moa. Tomado de Polanco Almaguer, 2012.

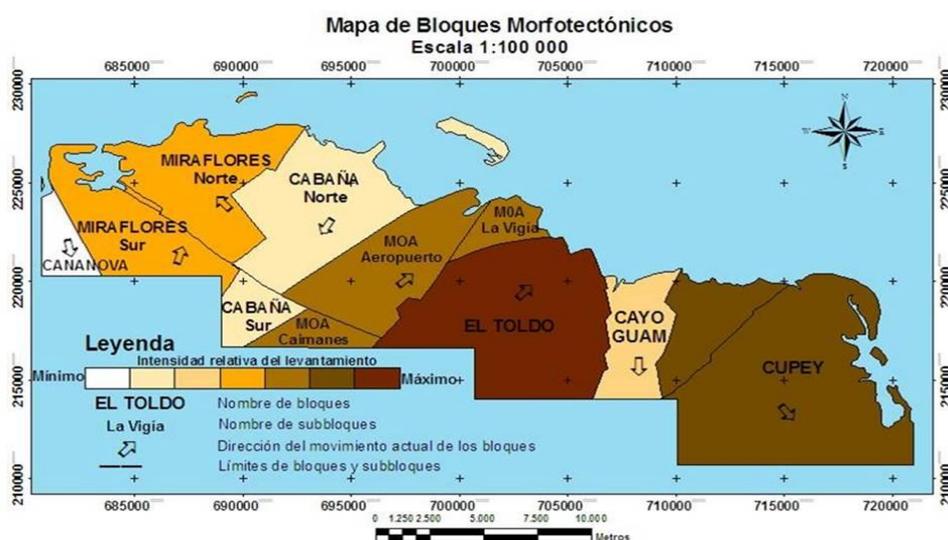


Figura 5. Mapa de bloques morfo técnicos de Moa. Tomado de Polanco Almaguer, 2012.

1.6 Vegetación

La región cuenta con un ecosistema variado donde se desarrollan siete formaciones vegetales naturales que ocupan alrededor del 90 % del área de estudio, entre las cuales podemos destacar el bosque tropical ombrofilosubmontano, bosque tropical ambrofiloide de árboles latifolios y aciculifolios, bosque tropical ambrófilo aluvial, sempeavirente tropical xenomorfo espinoso, matorral tropical xenomorfosubespinoso, entre otros. La vegetación que estos suelos sustentan se mantiene por la elevada humedad y por los mecanismos de conservación de los nutrientes que los mismos han desarrollado.

1.7 Flora y Fauna

Flora

En el municipio de Moa tenemos una situación particular, con una vegetación muy característica. Los suelos sobre los cuales yace la flora son generados a partir de rocas ultrabásicas serpentinizadas, correspondientes al grupo de las rocas ígneas, los mismos presentan altos contenidos de níquel, cobalto, hierro entre otros metales pesados que aparecen también con elevadas concentraciones de magnesio, mientras que existe un déficit de calcio, por lo que ha evolucionado una flora muy típica que comprende el 33 % de todos los endemismos cubanos, en la cual podemos encontrar pinares, pluvisilvas charrasco y bosques de galerías.

La vegetación que estos suelos sustentan se mantiene por la elevada humedad y por los mecanismos de conservación de los nutrientes que los mismos han desarrollado, predominan el *PinusCubensis* y plantas latifodias, endémicas de la región.

Entre los principales exponentes presentes en la región, incluimos los siguientes: *PinusCubensis*, *Jacarandá Arbóreo* (Abey, Framboyán Azul), *Clusia Rosea* (Copey), *CacalobaShafan* (Uvilla), *EuphorbiaHelenae* (Jazmín del Pinar), *BactrisCubensis* (Pajua) y *Arthrostyloidiumssp* (Tibisí). Esta es la vegetación más importante y explotada económicamente, es muy valiosa en la biodiversidad y la ecología por constituir una flora generadora de suelo. Además, se pueden observar ejemplares del bosque de pluvisilvas, típico de

selvas lluviosas, es una formación vegetal de constitución vigorosa que puede alcanzar hasta 40 m de altura y se implanta sobre cortezas lateríticas.

Fauna

La fauna del municipio es rica y diversa, presentándose heterogeneidad y abundancia de especies raras con características peculiares desde las pequeñas Microrrisas hasta el Cocosí, además de poder contar con la vistosa Cotorra, la Cartacuba, el Ruiseñor, el Catey, el Zunzún, el Murciélagos, el Colibrí, entre otros que corresponden a los grupos característicos de muchos bosques de nuestro país.

Refiriéndonos a la fauna edáfica, se puede señalar que su densidad y abundancia se encuentra en las áreas de los bosques bajos, principalmente compuestos por Pinos. Los Ácaros y Caémbolos son los grupos más abundantes, la diversidad de especies es mayor en áreas con alguna vegetación en comparación a la de suelos desnudos, esto concuerda con lo observado por algunos investigadores en cuanto a que la abundancia y diversidad de la fauna depende de la diversidad y riqueza de las especies de vegetación.

1.8 Características Socioeconómicas

Económicamente la región se encuentra dentro de las más desarrolladas en el país desde el punto de vista industrial, debido a que cuenta con las plantas procesadoras de níquel Comandante Pedro Soto Alba y Ernesto Che Guevara respectivamente que impulsan el desarrollo de la rama minero - metalúrgica. Además existen otras entidades tales como: la Empresa Mecánica del Níquel, la Empresa Constructora y el Centro de Proyectos del Níquel (CEPRONÍQUEL), todas en apoyo al desarrollo de este renglón económico.

En esta región se explotaron yacimientos de cromo refractarios, los cuales se encuentran distribuidos en las cuencas de los ríos Cayo Guam y Yamanigüey respectivamente. En Cayo Moa Grande se encuentra una barrera de arrecifes cuyos corales son extraídos y utilizados como materia prima en el proceso están enmarcadas la Presa Nuevo Mundo, el Tejar, el Combinado Lácteo tecnológico de la planta Comandante Pedro Soto Alba. Además existen otras empresas de las cuales depende la economía de la región como son: Empresa

geólogo - minera, la EMA y diferentes instalaciones de apoyo social, entre las cuales, entre otras. Al Sur del área se desarrolla la ganadería y se lleva a cabo la explotación de recursos forestales que son abundantes en la zona, que es un eslabón importante para la economía de nuestro país.

La población ha decrecido alcanzando valores aproximados de 75227 habitantes; cuenta con un hospital, un hotel, instituciones para la enseñanza primaria, media, preuniversitaria y universitaria, un aeropuerto nacional, terminal de ómnibus y un puerto para el embarque de los productos obtenidos en las Empresas de Níquel (Oficina Nacional de estadísticas República de Cuba, 2015).

1.9 Características hidrogeológicas del área de estudio

En esta región las condiciones hidrogeológicas se basan en las particularidades geológicas, geomorfológicas, climatológicas, hidrológicas y de yacencia de las rocas. En el área de estudio son abundantes las precipitaciones atmosféricas, de las cuales, una parte se evapora y la otra ingresa al escurrimiento superficial y a la alimentación del manto acuífero. Se tiene en cuenta los tipos de rocas presentes, así como su capacidad de almacenar las aguas subterráneas en mayor o menor grado, se determinó de forma general la presencia de cinco complejos acuíferos. (Ver Figura 6).

1. Complejo acuífero de las ofiolitas.
2. Complejo acuífero de los sedimentos costeros.
3. Complejo acuífero de las lateritas.
4. Complejo acuífero de los sedimentos terrígenos carbonatados.
5. Complejo acuífero de los sedimentos aluviales.

1. Complejo Acuífero de las Ofiolitas

Se extiende en dirección Noreste-Sureste, al Oeste del río de Moa. Litológicamente se encuentra constituido por serpentinitas alteradas, peridotitas serpentinizadas y piroxenitas. La capacidad acuífera se encuentra poco estudiada, su profundidad de yacencia es de 1.3 hasta 12 m. El coeficiente de filtración (K) está comprendido entre valores menores de 1 a 14.7 m/día, el

gasto de aforo (Q) desde menores de 1.0 – 4 L/seg. Según la clasificación de Kurlov y Aliokin, las aguas son del tipo hidrocarbonatadas-clóricas-sódicas.

2. Complejo Acuífero de los Sedimentos Costeros

Se extiende por casi todo el norte del área, forma una franja estrecha de 1 a 2 Km. de ancho. El relieve es costero con cotas de 0 a 2 m sobre el nivel del mar. Su edad es cuaternaria, litológicamente está constituida por depósitos arcillosos con fragmentos angulosos de composición variada. Las rocas acuíferas son calizas organógenas; en menor grado sedimentos no consolidados y depósitos arcillo-arenosos con fragmento en forma de ángulos de composición múltiple. La profundidad de yacencia varía en rango de 1 a 5 m. El coeficiente de filtración puede alcanzar valores aproximados de hasta 64.4 m/día, el gasto de aforo es de aproximadamente 14 L/seg. Los tipos de aguas predominantes son de grietas y cársicas y en algunos casos intersticiales. En su mayoría, tienen interrelación hidráulica con las aguas de mar, según Kurlov, por su composición química, son cloruradas hidrocarbonatadas-sódicas-cálcicas y según Aliokin son cloruradas-sódicas.

3. Complejo Acuífero de los Sedimentos Aluviales

Se extiende por casi toda la zona, ocupa gran parte del área. Litológicamente está constituida por potentes cortezas de intemperismo. Este complejo representa más bien un acuitardo, debido al predominio de aguas capilares y de potencias considerables de lateritas, que alcanzan valores de 30m, con un marcado desarrollo de los procesos de capilaridad, los ascensos capilares de las aguas pueden alcanzar más de 20 m. La fuente de alimentación principal de esta agua son las precipitaciones atmosféricas. Por su composición química son aguas hidrocarbonatadas-magnésicas y sódicas de baja mineralización.

4. Complejo Acuífero de las Lateritas

Está formado por margas estratificadas, calizas compactas, depósitos brechosos, de carácter tanto tectónico como sedimentario, aleurolitas y conglomerados. Las rocas acuíferas están constituidas por conglomerados brechosos y las calizas en menor proporción, las margas estratificadas.

5- Complejo Acuífero de los Sedimentos Terrígeno Carbonatados

Se extiende en dirección norte- sur y forma una franja ancha en su parte inferior, y estrecha en la parte superior. Ocupa prácticamente la totalidad de las terrazas de los ríos más importantes, así como los valles de los afluentes. Se encuentra constituido por gravas, arenas, cantos rodados, arenas arcillosas con una potencia de 15 m aproximadamente. Se considera que la edad de los mismos sea perteneciente al cuaternario, presentan altas capacidades para el almacenamiento de agua.

El coeficiente de filtración (K) varía de 13-290 m/días, mientras que su gasto de aforo (Q) es de 2-57 L/seg. La profundidad de yacencia de esta agua es pequeña, con valores comprendidos entre los 1 y 5m, según las clasificaciones de Kurlov y Aliokin, estas son predominantemente hidrocarbonatadas-magnésicas. La macro estructura presente en la región, según el Dr. Constantino de Miguel, es un macizo hidrogeológico (M.H) representa la salida de las rocas del fundamento (o basamento) a la superficie, las mismas pueden estar cubiertas por rocas del Cuaternario.

Las rocas que forman estos macizos predominantemente corresponden al Paleógeno Inferior y al Cretácico. M. H. Nipe-Baracoa- Este macizo se encuentra al este de la parte central de la cuenca artesiana Nipe y al sur del extremo este de esta cuenca, ocupa un área de unos 2 300 km²; en este macizo hidrogeológico se encuentra al Norte la ciudad de Moa.

Este macizo está formado por rocas del Cretácico y Paleógeno, muy plegado y representado por un macizo montañoso muy desarticulado. En el complejo de rocas que forman este macizo se encuentran rocas de la asociación ofiolítica mesozoica, donde predominan las serpentinitas, harzburgitas y dunitas serpentinizadas, gran desarrollo tiene también las tobas y calizas. En este tipo de rocas predominan las aguas de grietas y filoneanas, con mayor desarrollo en la corteza de intemperismo y en zonas de fallas y sus proximidades, predominan las aguas freáticas, con presiones locales en zonas de fallas.

En todo el macizo predominan transmisividades menores de 100 m²/día, teniéndose que solo en zonas de fallas, en zonas de calizas y en pequeñas terrazas de los ríos que surcan el macizo (por cauces de origen tectónico-ríos,

Moa, Yagrumaje y otros), pueden encontrarse rocas y sedimentos con transmisividad superiores incluso a los 5 000 m²/día. En el macizo predominan los acuíferos formados por las zonas de intemperismo, por lo que la potencia de los mismos muy pocas veces supera los 20 m.

La dirección del flujo subterráneo de forma general es hacia el Norte, aunque debido al relieve del terreno existen desviaciones locales, principalmente hacia los cauces de los ríos, que sirven de drenaje a las rocas acuíferas de este macizo. Dentro del M.H. Nipe-Baracoa, existen yacimientos de aguas subterráneas, los cuales en proceso de explotación pueden aportar grandes volúmenes (gastos), estos yacimientos están relacionados con terrazas de ríos donde predominan sedimentos de fracciones gruesas- arenas, gravas y cantos rodados (ríos Moa y otros), esta condición se favorece por el gran escurrimiento de estos ríos, ya que este territorio presenta uno de los mayores índices de precipitaciones en la Isla.

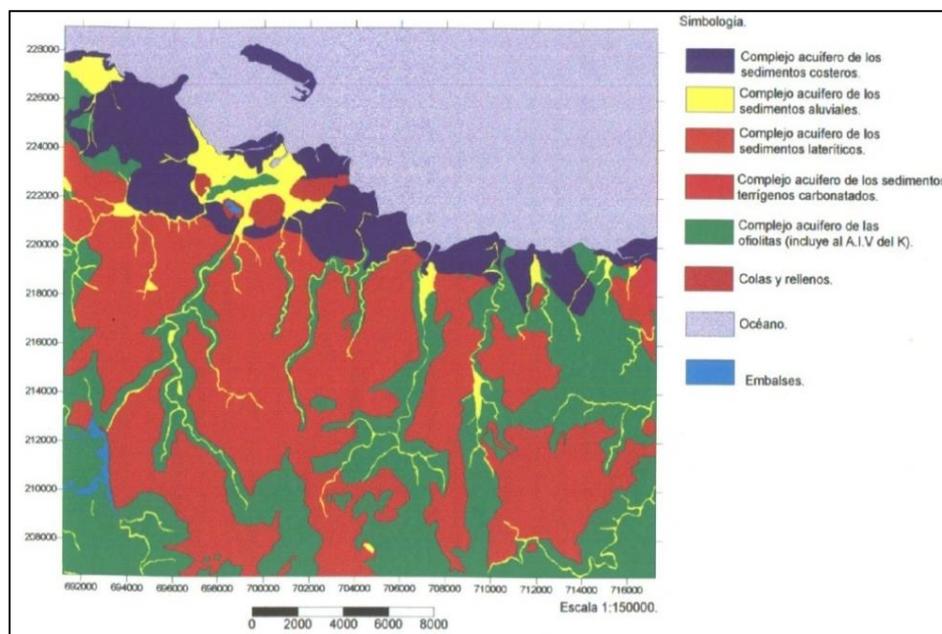


Figura 6. Mapa de complejos acuíferos modificado de Fernández, 2012.

1.10 Características geológicas del área de estudio

La estructura geológica del archipiélago cubano es extraordinariamente compleja y tiene características de faja móvil de carácter lineal. El rasgo principal de la constitución geológica de Cuba es la presencia de las Asociaciones Estructuro- Formacionales (AEF), que se distinguen por su estructura, composición facial e historia de su desarrollo que permite

considerarlos como originados en diferentes condiciones paleotectónicas, lo cual constituye una nueva concepción acerca de la zonación estructural en Cuba.

La geología de la región se caracteriza por una gran complejidad condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos transcurridos en un tiempo geológico dado, lo cual justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas (ver Figura 7). (Herrera. 2000)

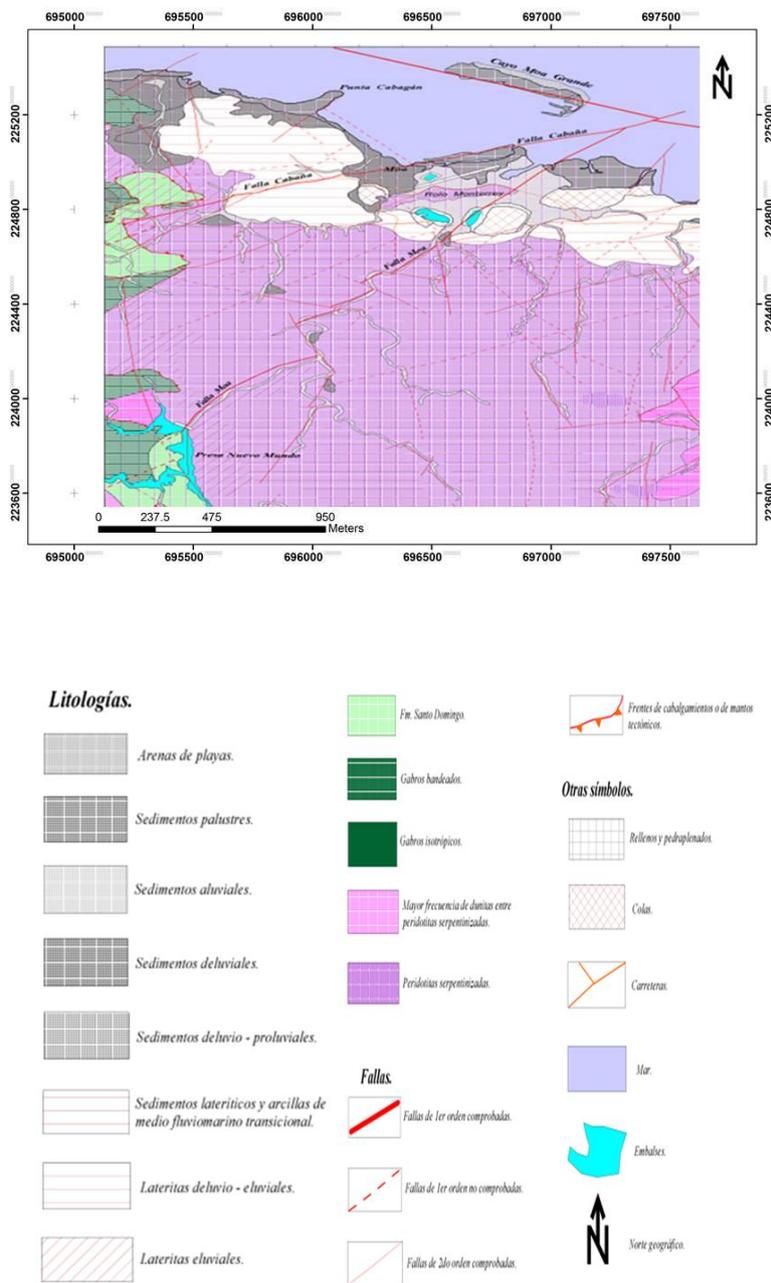


Figura 7. Mapa Geológico del municipio de Moa .Tomado de Tamayo 2009

En 1989, Felix Quintas en su tesis doctoral 1993, realiza la clasificación geológica regional según ocho asociaciones estructuro – formacionales, en la región de estudio aparecen cuatro, las cuales mencionaremos a continuación y daremos una breve explicación:

- 1- (AEF) del Arco Insular volcánico del Cretácico.
- 2- (AEF) del Complejo ofiolítico.
- 3- (AEF) del Arco insular volcánico del Paleógeno.
- 4- (AEF) de la Neoplateforma.

La estructura es complicada debido al emplazamiento tectónico, es afectada por dislocaciones plicativas y disyuntivas.

Las secuencias de la asociación ofiolítica se encuentran representada por los siguientes complejos.

- 1- Complejo Ultramáfico.
- 2- Complejo Cumulativo máfico.
- 3- Complejos dediques paralelos o diabasas.
- 4- Complejo efusivo sedimentario.

Complejo Ultramáfico: Composición heterogénea, con gran predominio de las harsburgitas y en menor grado dunitas; además se han descrito dunitas plageclásicas, wherlitas, lherzolitas y piroxenitas (Guild, 1947; Ríos y Cobiella, 1984; Heredia y Terepin 1984; Fonseca et al, 1989). Lo que estos autores denominan dunitas plageclasicas pudieran considerarse troctolitas. La mayoría de los trabajos diferencian en el complejo ultramafico niveles de cumulos. Proenza (1997), considera todas las rocas ultramaficas presentes, como restos listosfericos de mantos, aunque según otros especialistas (Quintas y A. Rodríguez V) consideran que solo corresponden al manto la zona de tectonitas, puesto que las rocas del complejo cumulativo, pertenecen a la corteza.

En el área las harzburgitas son las rocas dentro de la Asociación Ofiolítica, mayormente distribuidas, cubierta por lo general por una potente corteza lateríticas todas estas rocas poseen diferente grado de serpentinización.

2. Complejo Cumulativo Máfico: Está representado de abajo hacia arriba por troctolitas, gabros olivínicos, noritas, anortositas y gabros normales de diferentes granulometrías.

Los cuerpos de gabroides tienen una estructura en forma de grandes bloques, aunque en la mayoría de los casos los cuerpos están incluidos en el complejo ultramáfico. En el complejo Moa – Baracoa están representados dos tipos de gabros: bandeados y masivos, en la parte alta, a los que se asocian cromitas y otros tipos de mineralizaciones dispersas.

3. Complejo de Diques paralelos o Diabasas: No aparece como se define clásicamente en formas de diques, lo cual se debe a su relación con la complejidad tectónica de la zona. Las diabasas aparecen generalmente en forma de bloques tectónicos incluidos en los gabroides, sobre todo en la parte inferior del complejo cumulativo.

4. Complejo efusivo sedimentario: No aflora en el área.

3-AEF del arco volcánico del Paleógeno.

Está representada en los flancos septentrional y meridional de la sierra Cristal, así como en la cuenca de Sagua de Tánamo y otras áreas donde aparece la Formación que a continuación describiremos.

Formación Sabaneta.

Pertenece a la AEF del Arco de Isla Volcánica del Paleógeno (Neoarco), Sub-AEF de Retroarco, la misma está constituida por rocas vulcánicas - sedimentarias de granos finos, frecuentemente zeolitizadas o montmorillonitizadas, con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, argilitas, margas, silicitas, gravelitas, conglomerados vulcanomícticos, ocasionalmente con pequeños cuerpos de basaltos, andesitas, andesito - basaltos y andesito - dacitas, así como tobas cloritizadas.

Las tobas son vitroclásticas y cristalolitoclásticas zeolitizadas, en menor grado bentonitizadas. Las calizas tobáceas y tufitas aparecen regularmente hacia la parte alta de la formación, como se observa en Farallones de Moa, puede

destacarse además que la estratificación es buena, frecuentemente gradacional.

4-AEF de la Neoplataforma.

Constituido por secuencias sedimentarias donde predominan las rocas carbonatadas

Sobre las rocas terrígenas, depositadas en régimen de plataforma continental, aparece representado en la región por la formación Majimiana que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado. Estructuralmente estas secuencias se caracterizan por su yacencia monoclinal suave u horizontal, con algunas perturbaciones en las zonas donde existen dislocaciones jóvenes

Formación Majimiana.

Está constituida por calizas órgano-detríticas típicas de complejos arrecifales y bancos carbonatados con intercalaciones de margas. Las secuencias de la misma experimentan bruscos cambios faciales en cortas distancias, que contienen una abundante fauna de foraminíferos bentónicos y planctónicos, lo que ha permitido asociar su edad al Oligoceno Superior hasta el Mioceno.

Aflora en la región de Yamanigüey, y forma una franja por toda la costa con un relieve poco accidentado representado por pequeñas colinas onduladas de poca pendiente y un drenaje casi nulo.

Sobre las litologías antes descritas se encuentran los depósitos Plioceno - Cuaternarios que constituyen una cobertura prácticamente continua de génesis continental de pocas variaciones diagenéticas y como regla presenta un pequeño espesor.

Formación Capiro. Pertenece a la AEF de la Neoplataforma y asociada a cuencas transformante, aflora en el área de la Formación Sierra de Capiro compuesta por areniscas, limonitas y margas bien estratificadas con intercalaciones de conglomerados finos compuestos por cantos de serpentinitas, calizas arrecifales y cristaloclastos de piroxeno y cuarzo. Hacia la base de la formación se localizan olistostromas de bloques de serpentinas muy alteradas y diabasas. En muchos lugares se observa una clara gradación

de conglomerados y areniscas. Los olistolitos de calizas organodetríticas contienen fragmentos de serpentinitas, cuarzo y hematita.

El área yace discordantemente sobre la Formación Sabaneta y es cubierta también de forma discordante por la Formación Majimiana y los depósitos Plioceno - Cuaternario. La potencia de la formación oscila entre 200 y 300 m.

1.11 Tectónica

La tectónica de la región es compleja, se pone de manifiesto la superposición de fenómenos tectónicos originados en condiciones geodinámicas contrastantes y en diferentes periodos, así el sistema de mantos tectónicos y el intenso plegamiento que caracterizan la estructura geológica de las secuencias más antiguas surgieron en un ambiente de compresión máxima.

En contraposición a esto los eventos tectónicos más jóvenes surgieron en lo fundamental, bajo la acción de esfuerzos de tracción de la corteza terrestre, estos esfuerzos han originado sistemas de fallas que dividieron la zona en una serie de bloques horsticos y gravens que enmascararon las estructuras más antiguas. Por otra parte, los movimientos de traslación horizontal que provocan el desplazamiento de los mantos tectónicos de Cuba Oriental fueron de gran magnitud, principalmente para las serpentinas que forman una unidad alcotana.

1.11.1 Sistemas de Fallas

Desde el punto de vista geotectónico, en el área existen cuatro sistemas principales de fallas (Rodríguez, A. 1998). El sistema más antiguo de los reflejados actualmente en la superficie tiene su origen asociado al cese de la subducción que generó la colisión entre el arco insular y el margen continental, origina el emplazamiento del complejo ofiolítico, por lo cual las fallas de este sistema se encuentran espacial y genéticamente relacionadas con los límites de los cuerpos máficos y ultramáficos dentro del complejo.

Un ejemplo de estas estructuras es la falla ubicada al sur de Quesigua, al este del río de igual nombre, que pone en contacto las serpentinitas ubicadas al norte con los gabros que afloran al sur, así como las fallas que en El Lirial Abajo, Peña y Ramírez y Caimanes Abajo ponen en contacto a las serpentinitas con las rocas de las formaciones La Picota, Mícará y Quibiján respectivamente.

Estas fallas en su mayoría se encuentran pasivas lo que se demuestra por su pobre reflejo en el relieve, pueden notarse su presencia fundamentalmente por el contacto alineado y brusco entre litologías diferentes. Excepción de lo anterior lo constituye la falla ubicada al sur de Quesigua que aún se refleja a través de un escarpe pronunciado arqueado, con su parte cóncava hacia el norte que sigue la línea de falla, lo que consideramos está asociado a la actividad geodinámica actual del sector, que es considerado uno de los más activos dentro del territorio (Rodríguez, 1998).

El segundo sistema y de mayor importancia en el territorio está constituido por fallas de dos direcciones: noreste y norte - noroeste que se desplazan mutuamente y se cortan entre sí, constituido por las dislocaciones más abundantes y de mayor extensión de la región, que indistintamente afectan todas las litologías presentes y son a su vez los límites principales de los bloques morfotectónicos. Su origen se encuentra asociado al proceso de colisión del Arco Volcánico del Cretácico sobre el Paleomargen de Bahamas en el Eoceno Medio. Las principales estructuras representativas de este sistema son las fallas Los Indios, Cayo Guam, Moa, Cabaña, Quesigua, Miraflores y Maquey.

Falla Los Indios: Se extiende desde la parte centro meridional del área al oeste de Cayo Chiquito, y atraviesa hacia el norte la Bahía de Cananova , reflejándose dentro de la zona nerítica marina a través del desplazamiento de la barrera arrecifal y los depósitos litorales. En varios puntos esta estructura aparece cortada y desplazada por fallas de dirección norte-noreste. Su trazado es en forma de una línea curva cóncava hacia el oeste-sudoeste con un rumbo que oscila entre los 10° y 30° oeste en los diferentes tramos que la conforman.

Falla Cayo Guam: Con una dirección N15°W, se extiende desde la parte alta del río de igual nombre, siguiéndose con nitidez hasta Punta Yagrumaje. Al igual que la falla Los Indios, esta estructura aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales.

Falla Moa: Dentro del territorio es la estructura de mayor extensión y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este con el arco mayor en la zona

de Calentura, haciéndose más recta hacia el norte con una dirección de N48°E, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo N25°W.

En la parte norte esta estructura se bifurca en dos tramos, uno de rumbo N35°E denominado La Vigía y el otro de rumbo N74°E nombrado La Veguita, el que atraviesa la zona marina perilitoral, hasta cortar la barrera arrecifal a la cual limita y afecta, pues en el bloque oriental de la falla la barrera como tal desaparece, queda reflejada sólo como un banco de arenas, lo que constituye un indicador del sentido de los desplazamientos.

Falla Cabaña: Se extiende desde el extremo centro occidental del área, al noroeste del poblado de Peña y Ramírez hasta el norte de la ciudad de Moa, corta la barrera arrecifal y limita el extremo oriental de Cayo Moa Grande. En su parte meridional presenta una orientación N70°E hasta la zona de Zambumbia donde es truncada por un sistema de fallas submeridionales, aflora nuevamente con nitidez al nordeste del poblado de Conrado donde inicia su control estructural sobre el río Cabaña. En las cercanías de Centeno esta estructura es cortada y desplazada por la falla Cananova, toma una orientación N56°E la que mantiene hasta penetrar en el océano Atlántico.

Falla Quesigua: Se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, y se mantiene en su parte septentrional, donde su trazo es más recto un rumbo N10°E y en la meridional, N40°W. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní al sudeste del área de trabajo.

Falla Miraflores: Se extiende en forma de arco cóncavo hacia el este-noreste con un trazo casi paralelo a la falla Moa, con un rumbo N25°W desde el límite sur del área hasta Cayo Chiquito y desde aquí hasta Punta Majá con una orientación N35°E. Su límite meridional al parecer lo constituye la falla Moa al sur del área de trabajo.

Falla Maquey: Limita y contornea las estribaciones septentrionales de la Sierra del Maquey. Aflora desde la zona de Hato Viejo hacia el sur de La Colorada, que asume un rumbo N65°E por más de siete kilómetros hasta Calentura abajo donde se cruza con las fallas Moa y Caimanes. En su parte más occidental mantiene una orientación N78°E que es cortada y desplazada por estructuras de orientación noroeste.

El tercer sistema de estructuras está constituido por dos fallas de tipo strike-slip denominadas Cananova y El Medio. Por la posición que ocupan, orientación y componentes fundamentales de los desplazamientos no tienen similitud con las fallas antes mencionadas y su origen corresponde al Mioceno medio, cuando se inician los movimientos hacia el este de la placa Caribeña a través de la falla Oriente, lo que desarrolla un campo de esfuerzo que provoca la compresión del bloque oriental cubano en la zona de sutura de éste con la Plataforma de Bahamas, lo que originó la ruptura y el reacomodamiento de la corteza.

Falla Cananova: presenta un rumbo predominante N53°W. Es cortada en diferentes puntos por estructuras submeridionales, caracterizándose toda la zona de falla por el grado de cizallamiento de las rocas que corta.

Falla El Medio: con un rumbo aproximado de N40°E. Al igual que la Falla Cananova, origina un alto cizallamiento de las rocas a través de todo su trazo.

El cuarto sistema de fracturas corresponde a estructuras sublongitudinales que aparecen en toda el área pero que tienen su máxima expresión en las zonas periféricas de los sectores de máximo levantamiento, como por ejemplo las fallas a través de las cuales corren algunos tributarios como el arroyo La Veguita del río Moa, el arroyo La Vaca, arroyo Colorado al oeste del Cerro Miraflores y la de mayor envergadura que se encuentra al sur de Caimanes, lo cual permite considerar su origen asociado a procesos de descompresión o expansión de bloques al disminuir las tensiones horizontales que mantienen cohesionado los macizos rocosos debido a los movimientos verticales diferenciales, lo que justifica la ausencia de desplazamientos geológicos y geomorfológicos apreciables. La edad de este sistema es considerado post Mioceno, cuando se inicia el proceso de ascenso definitivo del territorio actual de Cuba oriental.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

2.1 Introducción

Para la realización de toda investigación se requiere de una metodología de trabajo a seguir para dar cumplimiento a los objetivos planteados. El desarrollo y elaboración de este trabajo se dividió en tres etapas fundamentales a través del siguiente esquema.

- Etapa I. Recopilación de la información y revisión bibliográfica.
- Etapa II. Trabajo de campo y de laboratorio.
- Etapa III. Trabajo de gabinete.

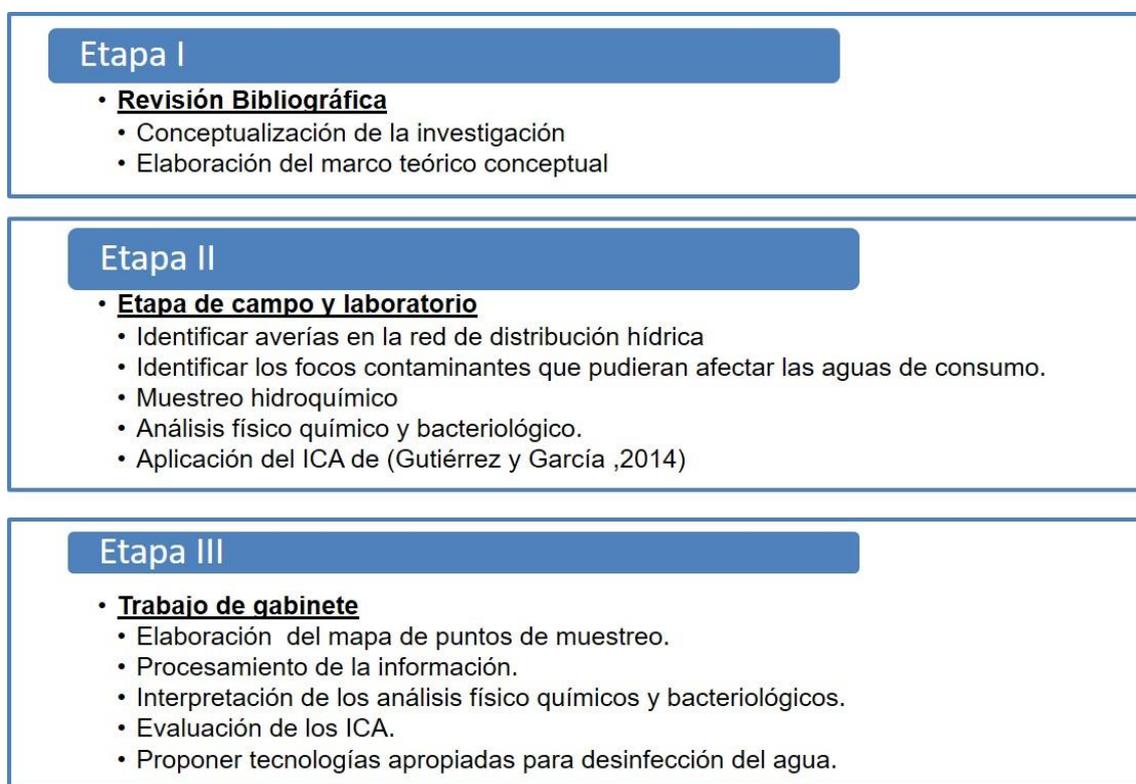


Figura 8. Flujograma de investigación.

2.2 Etapa I. Recopilación de la información y revisión bibliográfica

Al consultar la bibliografía relacionada al tema de calidad del agua y riesgos por ruptura de la red hídrica, se encuentran varios trabajos de diploma, además de artículos nacionales e internacionales que contribuyeron a un estudio más sólido del mismo.

2.3 Etapa II. Etapa de campo, muestreo y laboratorio

Esta etapa se estableció con el objetivo de cumplir las diferentes tareas propuestas, Identificar los focos contaminantes que afectan las aguas de consumo humano desde el punto de vista higiénico-sanitario. Monitorear las aguas de consumo en los repartos Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico, y Miraflores, para determinar los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de las mismas en el laboratorio.

2.3.1 Identificación de averías y focos contaminantes

Uno de los aspectos fundamentales en el trabajo es la identificación de los focos contaminantes que pudieran ser un factor influyente en la calidad de agua de consumo de los pobladores de estos repartos, en esta etapa se planificaron salidas al campo en la búsqueda de averías en la red de distribución hídrica y posibles contaminantes que afecten las aguas de consumo humano desde el punto de vista higiénico-sanitario.

2.3.2 Muestreo hidroquímico

Dentro de la realización de la investigación un punto fundamental lo ocupa el muestreo y en particular el problema que más influye es la garantía de la representatividad de las muestras tomadas. Al obtener una muestra de agua, deben observarse las condiciones de limpieza química de los recipientes, conservación del contenido de sales del agua y elementos pesados, además los volúmenes suficientes de estas son necesarios para la realización de satisfactorios análisis de las mismas.

2.3.2.1 Puntos de muestreo

En el municipio de Moa el agua de abastecimiento a la población proviene de dos fuentes principales, agua subterránea y el río Moa; el agua que proviene del río Moa está contenida en la presa Nuevo Mundo, la cual es procesada en la planta potabilizadora, del tanque de almacenamiento el agua es trasladada, al tanque Níco López para de ahí hacerla llegar a los pobladores con la mayor calidad posible. La parte alta de Moa, Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico, y Miraflores es la que consume esta agua además de los repartos Armando Mestre, 26 de julio y 5 de diciembre que reciben directo de la planta

potabilizadora, la otra parte de Moa (zona baja) es abastecida por los pozos de Veguita.

A partir de que el agua sale a su destino existen averías en la red de distribución hídrica que pudieran afectar la calidad de la misma, estas rupturas corresponden a la red secundaria y terciaria del municipio. Con este conocimiento se decidió tomar 12 muestras distribuidas aleatoriamente en estos repartos.

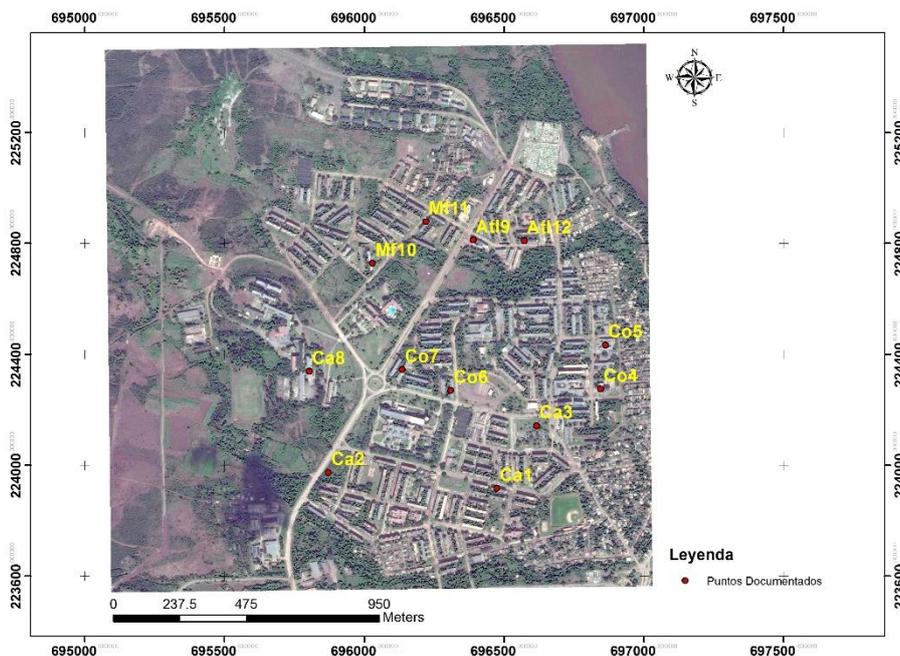


Figura 9. Mapa de los puntos de muestreo.

2.4 Técnica empleada para las tomas de muestras de agua en los puntos muestreados.

Uno de los requerimientos básicos en el programa de muestreo es una manipulación ausente de procesos de deterioro o de contaminación de las muestras antes de iniciar los análisis en el laboratorio. Para la toma de muestra en los 12 puntos, se procedió inicialmente con el endulce del recipiente, que no es más que el enjuague dos y tres veces del mismo con la propia agua que se muestrea. Procedimiento necesario para evitar la alteración de las propiedades de dicha agua. El recipiente como medida de seguridad fue relleno hasta la boca para evitar la concentración de oxígeno.

En cada uno de los puntos se tomaron dos muestras, una para los análisis bacteriológicos en un bolso preparado para la conservación de las muestras, y una botella de plástico de 1L para los análisis físicos y químicos, en total se tomaron 24 muestras.

Etiquetas: para prevenir confusiones en la identificación de las muestras, se prepararon etiquetas con las iniciales de los repartos y el número del punto analizado, se identificaron como Ca1, Co5, Mf11, etc.

Libreta de Campo: se registró toda la información pertinente a observaciones de campo y del muestreo, localización del punto de muestreo con referencias tales como fotografías del sitio, 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.

Entrega de la muestra en el laboratorio: las muestras se entregaron después de los trabajos de campo en los dos laboratorios pertinentes.

2.5 Análisis en el laboratorio

El procesamiento y determinación de las propiedades físicas y químicas de las muestras tomadas, se realizaron en el Laboratorio de Planta de Agua: pH, sólidos totales disueltos, sólidos suspendidos, dureza total, color, turbidez, conductividad, potasio, calcio, magnesio, cloruro, sulfato, oxígeno disuelto, nitrito, nitrato, materia orgánica.

Métodos analíticos empleados:

- Determinación de pH según el método NEIB 64-01-35:2015.
- UPL-PT-E-01: determinación pH en aguas residuales y otras aguas. Método electrométrico.
- UPL-PT-V-10: determinación de cloruros en aguas residuales y otras aguas. Método volumétrico.
- UPL-PT-G-14: determinación de sólidos totales y disueltos en aguas residuales y otras aguas. Método gravimétrico.

- UPL-PT-E-03: determinación de la conductividad en muestras de agua. Método electrométrico.
- UPLT-PT-G-15: determinación de sulfatos gravimétricos con ignición del residuo de aguas y aguas residuales.
- UPL-PT-G-12: determinación de sólidos totales en suspensión en aguas y aguas residuales. Método gravimétrico.
- Determinación de conductividad NE 64-01-37:2017.
- Determinación de cloruro NE 64-01-41:2016.

Los resultados se expresan en miligramos por litros (mg/L), pH en unidades de pH, Conductividad en micro siemens por centímetro ($\mu\text{s}/\text{cm}$), (%), Color en Unidades de Color Platino Cobalto (Pt/Co), la turbidez en Unidades Nefelométricas (NTU).

Propiedades bacteriológicas: se determinó en el Centro de Higiene y Epidemiología Municipal, ubicado en el Reparto Rolo Monterrey. En este laboratorio se establecieron los contenidos de coliformes totales y fecales, expresados en Unidades Formadoras de Colonias (UFC), una medida de la población bacteriana (NMP/100 mL).

2.6 Procesamiento y análisis de la información

A partir de los resultados obtenidos en el laboratorio se procesó la información mediante metodologías existentes. Las mismas permitieron la clasificación de las aguas según diferentes autores. A través de Google Map fue posible la confección del mapa de ubicación geográfica. La aplicación androide GPS Data fue empleada para obtener las coordenadas geográficas de los puntos. Se empleó Microsoft Power Point en la realización de la ponencia de este trabajo, Microsoft Excel se utilizó en la realización de las tablas que definen las características específicas de cada muestra y en especial en la creación de hojas de Excel con las fórmulas de ICA en formato digital, para facilitar el trabajo para investigaciones posteriores. La interpretación de los análisis físico - químicos se expresaron mediante el manejo de gráficas, diagramas y diferentes clasificaciones, para simplificar los datos, principalmente cuando se realizan comparaciones entre las muestras analizadas.

Para la evaluación de la calidad de las aguas se emplearon diferentes normas nacionales: Norma Cubana de 1985: Sistemas de abastecimiento público de agua- Requisitos sanitarios y muestreo, Norma Cubana NC 827: 2012: Agua potable- Requisitos sanitarios y la Norma Cubana NC 1012: 2014: 2017 Higiene comunal. Fuentes de abastecimiento de agua - Calidad y protección sanitaria. También fue empleada la Norma Internacional de agua potable aprobada por la Organización Mundial de la Salud (OMS), 2006.

Además, para la determinación de la calidad de estas aguas se empleó la metodología del Índice de Calidad de Agua Superficial por Gutiérrez y García 2014.

2.7 Clasificación de las aguas por su composición química

Para esta clasificación se utilizó la clasificación de Aliokin, la cual está basada en el principio de división por los iones predominantes y relación entre ellos. Se basa en el contenido en las aguas de sus iones principales representados en miligramos equivalentes (mg-eq/L). Todas las aguas se dividen por el anión predominante en tres grandes clases: bicarbonatadas y carbonatadas ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$), sulfatadas (SO_4^{2-}) y cloruradas (Cl^-). Cada grupo a su vez se divide en tres tipos por la relación entre los miligramos equivalentes (mg- eq/L) de los iones; en total se determinan cuatro tipos de agua: el primer tipo: se caracteriza por la relación $\text{HCO}_3^- \langle (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$. Las aguas de este tipo son débilmente mineralizadas, el segundo tipo: se caracteriza por la relación $\text{HCO}_3^- \langle (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \langle (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$. El tercer tipo: se caracteriza por la relación $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) \langle (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ y el cuarto tipo: se caracteriza por la ausencia de iones HCO_3^- .

Clasificación de las aguas según su mineralización

Para determinar la clasificación de las aguas según su mineralización se basa en la clasificación de Aliokin (ver Tabla 1), se utilizó la fórmula que relaciona mediante una fracción la sumatoria de los aniones y los cationes, expresado en gramos por litros (g/L).

$$M = \frac{\sum A + C}{1000}$$

Tabla 1. Clasificación de las aguas por su mineralización según Aliokin.

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

Tomado de Miguel Fernández, 2012

Clasificación de las aguas por el pH

La concentración de iones de hidrógeno (pH) en el agua se acostumbra a expresarla en forma logarítmica con signo negativo, el cual es representado por el símbolo pH, que nos determina el grado de acidez del agua. Para la clasificación de las aguas por su pH se basó en la clasificación de E. B. Pasovox (ver Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de las aguas por su pH según E. B. Pasovox.

Valor del pH	Denominación de las
< 3	Muy ácida
3 – 5	Ácidas
5 – 6,5	Débilmente ácida
6,5 - 7,5	Neutras
7,5 - 8,5	Débilmente básicas
8,5 - 9,5	Básicas
> 9,5	Muy básicas

Tomado de Miguel Fernández, 2012

Clasificación de las aguas por su dureza.

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

través de la fórmula: $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$. En la Tabla 3 se muestra la denominación de las aguas de acuerdo a su dureza.

Tabla 3. Clasificación de las aguas por la dureza total según O. A. Aliokin.

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

Tomado de Miguel Fernández, 2012

2.8 Metodología para la determinación del Índice de Calidad de Agua

El deterioro de las fuentes de abastecimiento de agua incide directamente en el nivel de riesgo sanitario presente y en el tipo de tratamiento requerido para su reducción; la evaluación de la calidad del agua permite tomar acciones de control y mitigación del mismo, y garantiza el suministro de agua segura.

Los índices de calidad del agua –ICA– surgen como una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico fundamental en procesos decisorios de políticas públicas y en el seguimiento de sus impactos, se definen los ICA como una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que sirven como expresión de la calidad del agua; el índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color.

En este trabajo se decidió utilizar la Metodología propuesta por el Órgano del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas de Gutiérrez y García, 2014 para el cálculo del ICAsup.

Desde el 2014 se propuso el Índice de Calidad de Agua de los recursos hídricos superficiales (ICAsup) de Gutiérrez & García, 2014 para la evaluación de dichos recursos en las cuencas hidrográficas de Cuba.

2.8.1.2. Metodología propuesta por el Órgano del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas de Gutiérrez y García, 2014 para el cálculo del ICAsup.

Para la creación de este índice se tuvo en consideración los instrumentos regulatorios vigentes fundamentalmente las normas sobre calidad de las aguas terrestres.

$$ICA_{sp} = \sum_{i=1}^5 W_i * q_i$$

Donde:

I: Indicador de calidad de agua, del 1 al 5

Wi: Peso relativo de cada indicador

Qi: Valor en % obtenido de las funciones matemáticas de correlación

Para la evaluación del ICAsup en cada punto de muestreo se procedió a designar a cada parámetro un peso, de acuerdo a su importancia, a partir de la metodología empleada para determinar la calidad del agua. La misma se detalla a continuación. Los parámetros seleccionados para proceder a realizar la valoración mediante el Índice de Calidad del Agua ICAsup dentro del área de estudio fueron: potencial de Hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (% de saturación), materia orgánica (MO) y coliformes fecales (CF).

Tabla 4. Pesos de cada parámetro para el ICAsup

Parámetros	Unidades	Peso relativo
pH	UpH	0.3
conductividad eléctrica	μS/cm	0.5
oxígeno disuelto	% de saturación	0.15
MO	mg/l	0.15
coliformes fecales	NMP/100ml	0.1

Los valores en % de cada una de las variables resultan de la conversión de su unidad original según la metodología expuesta por Gutiérrez J, y García, J. M, (2014). Una vez determinado el ICAsup en cada uno de los sitios muestreados se procede a clasificarlos de acuerdo a la tabla 5, en cada intervalo denota la calidad que tiene el agua por sitio muestreado.

Tabla 5. Clasificación de las aguas superficiales de acuerdo al ICA_{sup}

Clase	Rango de valores del	Clasificación (Colores de
1	90.00 – 100	Excelente calidad
2	89.99 – 80	Aceptable calidad
3	79.99 – 70	Medianamente contaminada
4	69.99 – 60	Contaminada
5	Menor a 59.99	Altamente contaminada

2.9 Etapa III. Trabajo de gabinete.

Con toda la información obtenida se procesó a la confección del informe. Se realizaron los análisis e interpretación de la información obtenida durante la investigación de las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas. Se confeccionó el mapa de puntos de muestreo. Se interpretaron los datos del cálculo del Índice de Calidad de las Aguas por la Metodología propuesta por el Órgano del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas de Gutiérrez y García, 2014 para el cálculo del ICA_{sup}, mediante la realización de gráficos. Se proponen tecnologías apropiadas para la desinfección del agua.

CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DE CALIDAD A LAS AGUAS DE CONSUMO HUMANO EN LOS REPARTOS COLORADAS NUEVAS, CARIBE, ATLÁNTICO Y MIRAFLORES DEL MUNICIPIO DE MOA

3.1 Aspectos generales

En el municipio de Moa el agua de la que se abastece a la población proviene de dos fuentes principales, agua subterránea y el río Moa; el agua que proviene del río Moa está contenida en la presa Nuevo Mundo, la cual es procesada en la planta potabilizadora, a partir de ahí el agua, es trasladada por medio de tuberías al tanque Níco López para de ahí hacerla llegar a los pobladores con la mayor calidad posible. La parte alta de Moa, Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico, y Miraflores es la que consume esta agua además de los repartos Armando Mestres, 26 de julio y 5 de diciembre que reciben directo de la planta potabilizadora, la otra parte de Moa (zona baja) es abastecida por los pozos de Veguita.

La calidad del agua en el municipio de Moa se ve afectada por el deterioro de las tuberías y las averías que presenta la red de distribución hídrica. Además de la presencia de micro vertederos comunitarios cerca de las verías así como el estado higiénico de los envases en los que los pobladores almacenan el agua de consumo humano.

3.2 Descripción de los puntos de muestreo

Para la valoración de la calidad de los recursos Hídricos en el sector, se realizó un muestreo hidroquímico en las aguas de consumo de los repartos las Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico y Miraflores. A continuación, se realiza una descripción de los 12 puntos de muestreo.

Punto 1: Vivienda del Caribe

Coordenadas: X: 696473.33 Y: 223917.03

Breve descripción: El agua de consumo se almacena en un tanque de hierro tapado y en galones bien tapados. No se encontraba lavado el día del muestreo, se lava semanal. Se encontraba en regulares condiciones higiénicas, con algo de turbiedad. Se tomaron dos muestras para análisis físicos químicos y para la bacteriología.



Figura 10. Tanque de hierro para almacenar agua

Punto 2: Vivienda del Caribe

Coordenadas: X: 695871.13 Y: 223974.27

Breve descripción: El agua de consumo se almacena directamente en pomos plásticos de litro y medio o de cinco litros, se lavan todos los días que llega el agua. Este edificio le llega agua por dos circuitos el Caribe y Miraflores. Se tomaron dos muestras para análisis físicos químicos y para la bacteriología.



Figura 11. Envases en los que se almacena el agua de consumo.

Punto 3: Parque infantil “Para un Príncipe Enano”

Coordenadas: X: 696616.20 Y: 224143.25

Breve descripción: El agua del parque se envasa en diferentes tanques de plástico que están en alto que pertenecen a las cafeterías de la entidad, se

lavan mensualmente, presenta condiciones higiénicas regulares. Se tomaron dos muestras una para análisis físicos químicos y otra para la bacteriología.



Figura 12. **A:** vista de la cafetería a la que pertenece el tanque muestreado. **B:** vista del tanque en el que se almacena el agua de consumo

Punto 4: Secundaria Básica “José Martí Pérez”

Coordenadas: X: 696845.07 Y: 224275.54

Breve descripción: el agua en esta institución proviene de una cisterna que se encuentra bien tapada y va hacia un tanque elevado de fibrocemento, la muestra se escogió de una llave de agua que se utiliza para limpiar, esta agua solo se usa para la limpieza, pues los alumnos traen el agua de su casa. Se

tomaron dos muestras para análisis físicos químicos y para la bacteriología.



Figura 13: **A:** vista de la entrada de la Secundaria Básica José Martí. **B:** vista de la cisterna en la que se almacena el agua de la escuela.

Punto 5: Policlínico Principal de Urgencias “Jean Manuel Páez”

Coordenadas: X: 696862.26 Y: 224434.29

Breve descripción: el agua de consumo proviene de una cisterna y de ahí a diferentes tanques existentes en la unidad, el agua de la muestra se tomó de un bebedero que se encontraba en la sala de rehabilitación. Se tomaron dos muestras para análisis físicos químicos y para la bacteriología.



Figura 14. **A:** vista frontal del Policlínico Jean Manuel Páez en las Coloradas. **B:** bebedero en el que se tomó la muestra.

Punto 6: Vivienda Coloradas nuevas

Coordenadas: X: 696309.28 Y: 224270.25

Breve descripción: el agua de consumo se almacena en un tanque de plástico bien tapado con buenas condiciones higiénicas. Se lava semanalmente, acababa de llegar el agua y se apreciaba turbia, según la dueña de la vivienda el agua llega así a veces o con olor a cloro fuerte y al pasar el tiempo se acumulan los sedimentos en el fondo del tanque. Se tomaron dos muestras para análisis físicos químicos y para la bacteriología.

Punto 7: vivienda Coloradas nuevas

Coordenadas: X: 696134.66 Y: 224345.66

Breve descripción: el agua se almacena en un tanque de hierro elevado, bien tapado se lava mensualmente, presenta condiciones higiénicas aceptables. Se tomaron dos muestras para análisis físicos químicos y para la bacteriología.

Punto 8: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

Coordenadas: X: 695802.60 Y: 224339.04

Breve descripción: el agua de la universidad se almacena en varios envases, primero llega a la cisterna y de ahí va a diferentes tanques plásticos y de fibrocemento. La muestra se tomó en el bebedero del edificio de 3. El bebedero presenta condiciones higiénicas aceptables. Se tomaron dos muestras para análisis físicos químicos y para la bacteriología.



Figura 15. **A:** cisterna en la que se almacena el agua de la universidad **B:** tanque de fibrocemento en el que se almacena el agua que llega al bebedero del edificio 3. **C:** bebedero del edificio 3 **D:** presenta el aspecto del agua a la hora del muestreo.

Punto 9: vivienda Atlántico

Coordenadas: X: 696389.19 Y: 224813.44

Breve descripción: el agua que llega se almacena en un tanque plástico, se encontraba tapado, se lava cada que llega el agua, el agua de beber se pasa por un filtro. Se tomaron dos muestras para análisis físicos químicos y para la bacteriología.

Punto 10: vivienda Miraflores

Coordenadas: X: 696028.82 Y: 224729.30

Breve descripción: el agua se envasa en tanques plásticos, bien tapados, con buenas condiciones higiénicas, se lava semanalmente, el agua presentaba alta turbiedad y coloración verdosa. Se tomaron dos muestras una en pomo de litro y medio para análisis físicos químicos y un bolso esterilizado para la bacteriología.



Figura 16.Tanques de almacenamiento de agua.

Punto 11: vivienda Miraflores

Coordenadas: X: 696219.85 Y: 224879.06

Breve descripción: el agua se envasa en pomos de litro y medio y un termo bien tapado y con buenas condiciones higiénicas, los pomos se lavan cada tres días. Se tomaron dos muestras para análisis físicos químicos y para la bacteriología.

Punto 12: vivienda del Atlántico

Coordenadas: X: 696571.75 Y: 224810.27

Breve descripción: se envasa el agua en pomos de litro y medio, tapados con buenas condiciones higiénicas se lavan constantemente, el agua se encontraba físicamente en buenas condiciones. Se tomaron dos muestras para análisis físicos químicos y para la bacteriología.

3.3 Factores que inciden en la contaminación de las aguas

Uno de los factores que inciden en la contaminación de las aguas de consumo son las averías, en el municipio de Moa las principales averías se encuentran, una, en la entrada de la planta potabilizadora y otra en la subida del río Cabaña, las otras averías encontradas corresponden a la red secundaria y terciaria del municipio. Estas son causadas por diferentes factores, primero la red hídrica del municipio es muy antigua y muchas tuberías han sido afectadas por la construcción de viales que no han tenido en cuenta la profundidad de las

mismas, algunas de las rupturas se encuentran en profundidad donde a veces es complicado manejarlas, otro factor corresponde con el clima húmedo del municipio, pues las constantes lluvias lleva a cabo una intensa erosión en las calles y al mismo tiempo en las tuberías de la red dejándolas muchas veces descubiertas, expuestas a los vehículos y otras actividades. Las tuberías de la red principal están compuestas de asbesto cemento y hormigón pre comprimido y las de la red secundaria y terciaria mayormente son de hierro o plástico.

En el recorrido para identificar los focos contaminantes que pudieran afectar la calidad de las aguas de consumo humano se observó de la presencia de micro vertederos comunitarios cerca de las averías, estos vertederos estaban compuestos principalmente por pilas alcalinas, desechos domésticos y alrededor del 60% de los desechos son papeles de uso sanitario, esto pudieran afectar las aguas desde el punto de vista químico y bacteriológico.

Esto pudiera incidir en la salud de las personas pues los agentes patógenos implicados en la transmisión hídrica de enfermedades son las bacterias, virus, protozoos, helmintos y cianobacterias. Estos microorganismos pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde una gastroenteritis simple hasta cuadros graves de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. La transmisión hídrica es solo una de las vías, pues estos agentes patógenos también pueden ser transmitidos a través de alimentos, de persona a persona debido a malos hábitos higiénicos, de animales al hombre, entre otras rutas.

Además de la cantidad de sedimentos que se acumulan en la ruptura inciden de manera directa en el aspecto físico del agua, esto se pudo apreciar en el muestreo a los diferentes repartos ya que en algunas viviendas el agua llega con coloración oscura y carga de sedimentos.

Otro factor contaminante reside en los envases donde los pobladores almacenan el agua pues algunos presentaban tanques de hierro en mal estado o no poseía las condiciones higiénicas necesarias y largo tiempo sin lavar el almacenamiento.

La Figura 17 muestra una avería localizada en la entrada de la planta potabilizadora, alrededor de esta se logró encontrar elementos que pudieran

ser un factor contaminante de las aguas, como es el micro vertedero localizado a pocos metros de la ruptura, la presencia de varios nylon dentro del agua estancada, descomposición de materia vegetal, además, se observa la exposición de la tubería a los agentes intempéricos que la corroen y limo en los alrededores del conducto.

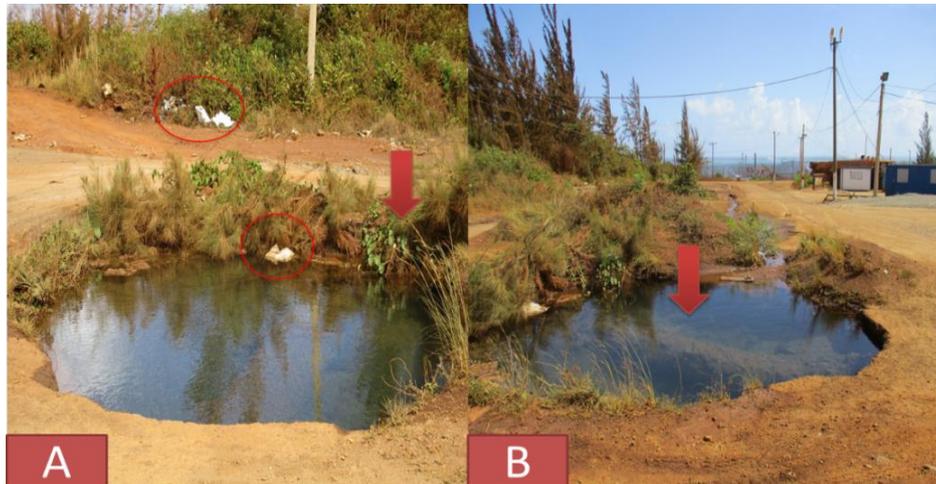


Figura 17. **A:** avería localizada en la entrada de planta de agua, se aprecia los elementos que pudieran ser contaminantes de las aguas. **B:** vista de la tubería averiada y presencia de limo en sus alrededores.

La avería que se aprecia en la Figura 18 corresponde a la tubería de la red principal, en la subida del río Cabaña, el material de la misma es de asbesto cemento. Son apreciables los arbustos que se encuentran dentro del agua lo que aporta materia orgánica a la composición de la misma.



Figura 18. Avería en la red principal, subida de Cabaña.

La tercera ruptura que se muestra en la Figura 19 está ubicada en el reparto Miraflores, perteneciente a la red secundaria del municipio. En sus alrededores existe presencia de varios basureros comunitarios que pudieran afectar la calidad del agua desde el punto de vista bacteriológico, además la avería se encuentra cubierta de sedimentos que pudiera afectar las características físicas y químicas del agua.



Figura 19. **A:** vista de un basurero comunitario a pocos metros de la avería **B:** avería no visible por la gran carga de sedimentos.

La Figura 20 representa un salidero de agua, se encuentra en la cima de una elevación en el reparto el Caribe, no se aprecia ningún factor que pudiera dañar el agua que constituye una pérdida innecesaria del preciado recurso, el mismo corre cuesta abajo por varios metros y llega a estancarse en ciertos lugares.



Figura 20. **A:** salidero de agua en el reparto el Caribe **B:** agua estancada que proviene del salidero que se muestra en A.

La Figura 21 muestra una avería en el reparto el Caribe perteneciente a la red terciaria del municipio, la tubería es de hierro se encontraba expuesta al paso de vehículos, no se apreciaba algún factor contaminante, pero si gran carga de sedimentos en la avería.



Figura 21. **A:** muestra la avería en el reparto el Caribe. **B:** vista de la dimensión del derrame de agua debido a la rotura.

La Figura 22 muestra una ruptura en una de las tuberías que se encuentran en el patio del edificio # en el reparto del Caribe, la misma hace un recorrido de casi 400 m desde su inicio, desperdicio de gran cantidad del preciado líquido. Se aprecia a pocos metros de la ruptura un basurero comunitario que pudiera

ser un factor de contaminación para el aguade, además, que esto pudiera contribuir a la formación de focos de vectores ya que el agua se estanca en ciertos sectores. La Figura 23 muestra un salidero de agua que proviene de la escuela “Amistad Cuba y Holanda” en le reparto Caribe.



Figura 22. **A:** vista del recorrido que hace el agua que se bota **B:** vista de un basurero que se encuentra detrás del edificio a poca distancia de la avería. **C:** ruptura de una tubería en el patio de un edificio en el reparto el Caribe.



Figura 23. **A:** salidero de agua en el reparto Caribe proveniente de la escuela primaria “Amistad Cuba y Holanda”. **B:** vista del recorrido y estancamiento del agua que se bota.

3.4 Evaluación y clasificación de las aguas por su composición química y propiedades físicas.

Se evalúan las aguas de consumo de los pobladores de los repartos Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico, y Miraflores atendiendo a las clasificaciones propuestas por la NC 827:2017 agua potable — Requisitos Sanitarios y la Norma de la Organización Mundial de la Salud: (OMS, 2006), se tiene en cuenta además la composición química, propiedades físicas y bacteriológicas de las mismas.

Existen ciertas características del agua, se consideran físicas porque son perceptibles por los sentidos (vista, olfato o gusto), y tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua, y otras características químicas que dependen de los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración.

Las características biológicas dependen de la gran variedad de elementos biológicos que presente el agua en su constitución, desde microorganismos hasta peces. El origen de los microorganismos puede ser natural, provenir de contaminación por vertidos industriales o por arrastre de los existentes en el suelo por acción de la lluvia. La cantidad de microorganismos va acompaña las características físicas y químicas del agua, ya que cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica.

La biodiversidad de un agua natural indica la poca probabilidad de que la misma se encuentre contaminada. Sin embargo, para que el agua se destinada a la provisión de agua potable, debe ser tratada para eliminar los elementos biológicos que contiene.

En las Tablas 6 y 7, se muestran los resultados obtenidos en los laboratorios en cuanto a la composición química, propiedades físicas y bacteriológicas de las muestras analizadas.

Tabla 6. Resultados de los análisis químicos de las muestras analizadas.

Muestras	Lugar	X	Y	Cond (µs/cm)	pH	Color Pt/Co	Turbidez NTU	STD mg/L	Temperatura lab C°	SS mg/L
Ca 1	Caribe	696473,33	223917,03	146	7,73	4	0	59	26	44,6
Ca 2	Caribe	695871,13	223974,27	190	7,9	2	2	81	26,5	72
Ca3	Parque Infantil	696616,20	224143,25	156	7,5	1,5	2	64	26	61
Co4	Secundaria B José Martí	696845,07	224275,54	160	7,5	2	2	66	26	57
Co5	Policlínico Coloradas	696862,26	224434,29	162	7,5	1	2	66,5	26	61,02
Co6	Coloradas N	696309,28	224270,25	472	7,6	5	1	741,5	26,5	698,3
Co7	Coloradas N	696134,66	224345,66	180	7,5	4	1	82	27	187
Ca8	ISMM	695802,60	224339,04	200	7,6	4	1	82	26,5	78
Atl9	Atlántico	696389,19	224813,44	153	7,7	8	1	63	26	59
Mi10	Miraflores	696028,82	224729,30	147	7,4	16	1	62	26	58
Mi11	Miraflores	696219,85	224879,06	200	7,5	5	0	82	26,5	79,36
Atl12	Atlántico	696571,75	224810,27	230	7,45	4,5	0	95	26,5	89,95

Tabla 7. Resultados de los análisis físicos de las muestras analizadas.

Muestras	Lugar	X	Y	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	CO ₃ ⁻	Na ⁺	OD	MO
Ca 1	Caribe	696473,33	223917,03	19,21	4,87	18,34	0,002	2,0014	13,56	69,99	0,2467	0	1,893	9,36	1,71
Ca 2	Caribe	695871,13	223974,27	20,34	4,98	19,53	0,0023	2,001	14,02	73,25	0,243	0	1,99	12	1,56
Ca3	Parque Infantil	696616,20	224143,25	19,35	5,25	19,89	0,002	1,988	7,68	76,36	0,256	0	2,02	23	1,63
Co4	Secundaria Básica José Martí	696845,07	224275,54	18,89	4,65	18,99	0,002	2,01	12,32	74,32	0,35	0	2,16	24	2,5
Co5	Policlínico	696862,26	224434,29	19,34	4,98	18,32	0,0017	2,025	9,98	70,05	0,272	0	2,21	16	2,4
Co6	Coloradas	696309,28	224270,25	18,35	5,16	19,34	0,0013	1,63	8,36	74,02	0,26	0	2,034	7	1,8
Co7	Coloradas	696134,66	224345,66	18,79	4,85	18,23	0,0014	2,45	8,69	76,87	0,33	0	2,43	6	1,6
Ca8	ISMM	695802,60	224339,04	17,99	4,89	18,68	0,002	2,22	8,56	74,77	0,278	0	2,1	11	1,8
Atl9	Atlántico	696389,19	224813,44	18,57	5,02	19,03	0,001	1,9	9,35	75,34	0,321	0	2,5	14	1,3
Mi10	Miraflores	696028,82	224729,30	16,36	4,98	18,67	0,002	1,76	8,02	75,87	0,22	0	2,42	16,5	1,5
Mi11	Miraflores	696219,85	224879,06	17,87	5	17,98	0,003	1,95	8,45	75,24	0,312	0	2,76	17,5	2,2
Atl12	Atlántico	696571,75	224810,27	21,38	5,35	19,23	0,0012	1,68	9,68	75,48	0,323	0	2,18	16,38	1,6

3.4.1. Clasificación de las aguas por su composición química según Aliokin

De acuerdo a la composición química de las muestras estudiadas y la relación entre los miligramos equivalentes (mg-eq/L) de los iones de HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} y Mg^{2+} ; se determinó que el tipo de agua de las doce muestras analizadas son del tipo 3, ya que se caracterizan por la relación $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$. Además, las aguas de este tipo son consideradas como fuertemente mineralizadas (FM). (Ver Tabla 8). En dependencia a la concentración de los iones HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- estas aguas son clasificadas como hidrocarbonatadas- magnésicas –clóricas.

Tabla 8. Contenidos expresados en mg-eq/L utilizados para la determinación del tipo de agua.

Muestra	Ca^{2+} mg-eq/L	Mg^{2+} mg-eq/L	SO_4^{2-} mg-eq/L	HCO_3^- mg-eq/L	Tipo	Clasificación
Ca1	0,24	1,51	0,28	1,15	III	FM
Ca2	0,25	1,6	0,29	1,2	III	FM
Ca3	0,26	1,63	0,16	1,25	III	FM
Co4	0,23	1,56	0,26	1,22	III	FM
Co5	0,25	1,51	0,21	1,15	III	FM
Co6	0,26	1,59	0,17	1,21	III	FM
Co7	0,24	1,49	0,18	1,26	III	FM
Ca8	0,24	1,03	0,18	1,23	III	FM
AtI9	0,25	1,56	0,19	1,24	III	FM
Mi10	0,25	1,54	0,17	1,24	III	FM
Mi11	0,25	1,48	0,18	1,23	III	FM
At12	0,27	1,58	0,2	1,24	III	FM

3.4.2. Clasificación de las aguas por su mineralización según Aliokin

De acuerdo a los valores calculados de la mineralización y la clasificación de las aguas establecida por Aliokin, las muestras presentan valores de mineralización menores que 1 g/L, por lo que se clasifican como aguas dulces. (Ver Tabla 9).

Tabla 9. Valores empleados en la determinación de la mineralización en g/L

Muestra	Aniones				Cationes				Mineralización	
	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	CO ₃ ⁻ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	g/L	Denominación
Ca1	69,99	19,21	13,56	0	4,87	18,34	1,893	0,2467	< 1	Aguas dulces
Ca2	73,25	20,34	14,02	0	4,98	19,53	1,99	0,243	< 1	Aguas dulces
Ca3	76,36	19,35	7,68	0	5,25	19,89	2,02	0,256	< 1	Aguas dulces
Co4	74,32	18,89	12,32	0	4,65	18,99	2,16	0,35	< 1	Aguas dulces
Co5	70,05	19,34	9,98	0	4,98	18,32	2,21	0,272	< 1	Aguas dulces
Co6	74,02	18,35	8,36	0	5,16	19,34	2	0,26	< 1	Aguas dulces
Co7	76,87	18,79	8,69	0	4,85	18,23	2,43	0,33	< 1	Aguas dulces
Ca8	74,77	17,99	8,56	0	4,89	18,68	2,1	0,278	< 1	Aguas dulces
At19	75,34	18,57	9,35	0	5,02	19,03	2,5	0,321	< 1	Aguas dulces
Mi10	75,87	16,36	8,02	0	4,98	18,67	2,42	0,22	< 1	Aguas dulces
Mi11	75,24	17,87	8,45	0	5	17,98	2,76	0,312	< 1	Aguas dulces
At12	75,48	21,38	9,68	0	5,35	19,23	2,18	0,323	< 1	Aguas dulces

3.4.3. Clasificación de las aguas por el pH según E.B Pasoxov

Los valores de pH varían desde 7.4 y 7.9 que representa un mínimo y un máximo respectivamente. De ellas tres se clasifican como aguas neutras (Mi10, Mi11, At12,) por presentar valores entre 7.4 y 7.5, mientras los nueve restantes se clasifican como aguas débilmente básicas con valores entre 7.5 y 7.9. El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 6 a 9.

Cuando se tratan aguas ácidas, es común la adición de un álcali (por lo general, cal) para optimizar los procesos de coagulación. En el tratamiento del agua de

consumo, se requerirá volver a ajustar el pH del agua hasta un valor que no le confiera efectos corrosivos ni incrustantes. De acuerdo a la NC 827: 2017, los valores de pH que presentan las 12 muestras analizadas se encuentran dentro de los límites máximos admisibles (valores de pH entre 6.5 y 8.5), lo que significa que las mismas cumplen con la norma y pueden ser declaradas como agua potable según los valores de pH que presentan.

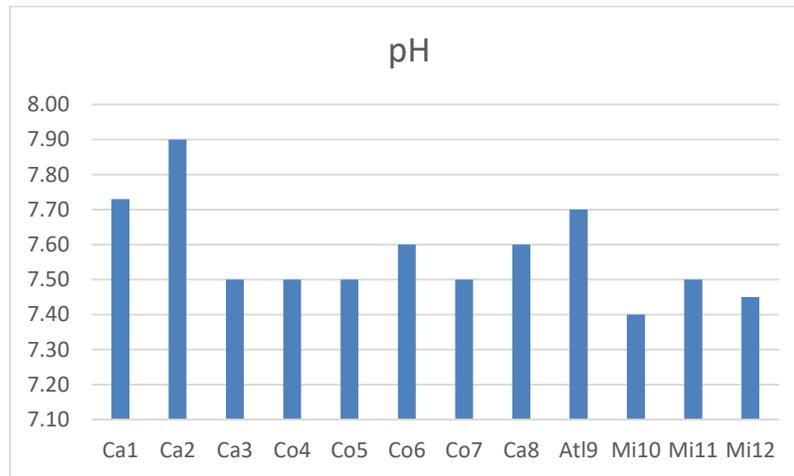


Figura 24. Comportamiento de los contenidos de pH en las muestras analizadas.

3.4.4. 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, las aguas analizadas se clasificaron todas como aguas blandas y presenta valores de 1,73 a 1,90 mg·eq/L.

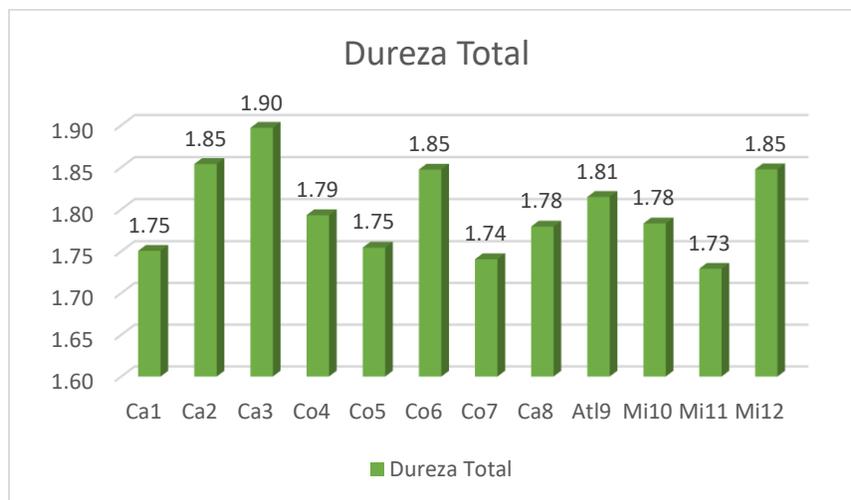


Figura 25. Comportamiento de los contenidos de dureza obtenidos de la suma de los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} expresada en mg-eq/L.

3.5 Evaluación de los análisis físicos-químicos y bacteriológicos de las muestras analizadas según la Norma Cubana (NC 827: 2017) y la norma de la Organización Mundial de la Salud 2006 (OMS:2006)

3.5.1 Características físicas

Turbidez (NTU)

La Turbidez es originada por las partículas en suspensión o coloides. Es decir, causada por las partículas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado.

Aunque no se conocen sus efectos directos sobre la salud, esta afecta la calidad estética del agua, lo que muchas veces ocasiona el rechazo de los consumidores. Se ha demostrado que, en el proceso de eliminación de organismos patógenos, por la acción de agentes químicos como el cloro, las partículas causantes de la turbidez reducen la eficiencia del proceso y protegen físicamente a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante. Por esta razón, si bien las normas de calidad establecen un criterio para turbidez de 5 UNT, esta debe mantenerse mínima para garantizar la eficacia del proceso de desinfección. Los

valores de turbidez en las muestras están por debajo de la norma y oscilan los valores de entre 0 y 2.

Color (Pt/Co)

Los valores de color oscilan entre 2 y 16 en la Esc- Pt/Co, la muestra Mi10 sobrepasa el límite máximo admisible por la norma que es de 15 Pt/Co, la OMS indica que la mayoría de las personas pueden percibir niveles de color mayores que 15 unidades de color verdadero (UCV) en un vaso de agua. Los consumidores suelen considerar aceptables niveles de color menores que 15 unidades de Pt/Co, pero la aceptabilidad puede variar. Idóneamente, el agua de consumo no debe tener ningún color apreciable. Generalmente, el color en el agua de consumo se debe a la presencia de materia orgánica coloreada (principalmente ácidos húmicos y fúlvicos) asociada al humus del suelo. Asimismo, la presencia de hierro y otros metales, bien como impurezas naturales o como resultado de la corrosión, también tiene una gran influencia en el color del agua. También puede proceder de la contaminación de la fuente de agua con vertidos industriales y puede ser el primer indicio de una situación peligrosa. Si el agua de un sistema de abastecimiento tiene color, se debe investigar su origen, sobre todo si se ha producido un cambio sustancial.(OMS 2006)

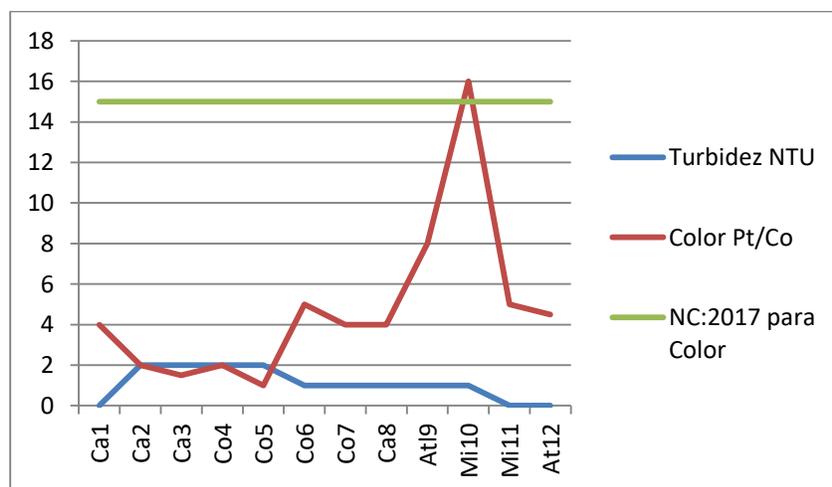


Figura 26. Comportamiento de la turbidez y el color con respecto a las normas cubana y de las OMS: 2006.

3.5.2 Características químicas

Dureza Total (como carbonato de calcio, mg/L)

Los valores obtenidos de la dureza total como carbonato de calcio en las doce muestras analizadas, están expresados en miligramos por litros (mg/L). Los mismos se encuentran en correspondencia a la NC 827: 2017, son valores menores al límite máximo admisible establecido por dicha norma (400 mg/L), por lo que se puede clasificar como aguas potables (ver Figura 27).

La (OMS 2006) plantea que los consumidores toleran el sabor del agua con una dureza mayor que 500 mg/l, por lo que todas las muestras se consideran como buenas para el consumo. Además, en dicha norma se explica que el agua con una dureza mayor que aproximadamente 200 mg/l, en función de la interacción de otros factores, como el pH y la alcalinidad, puede provocar la formación de incrustaciones en las instalaciones de tratamiento, el sistema de distribución, y las tuberías.

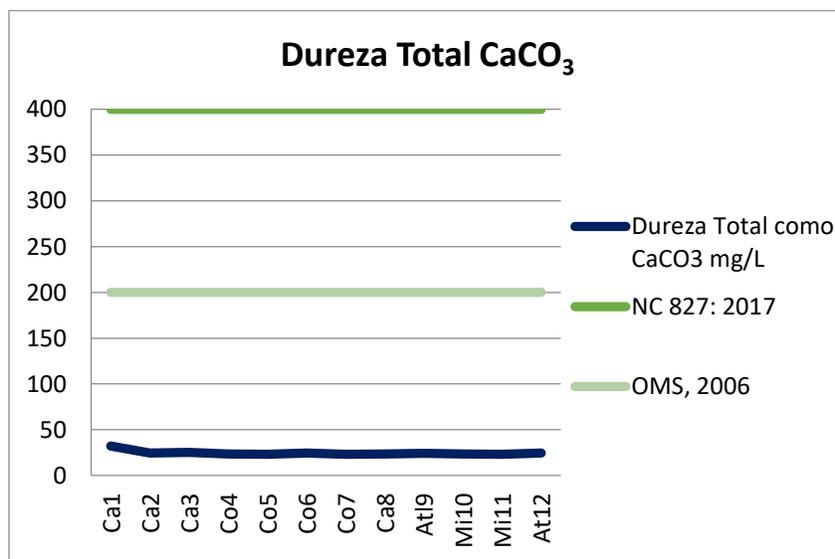


Figura 27. Comportamiento de los contenidos de Dureza Total en mg/L en las muestras analizadas.

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 sólidos disueltos totales (SDT) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. Los STD presentes en el agua de consumo proceden de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales (OMS 2006). El mayor valor observado se encuentra en la muestra Co6 con valor 741,5, sobrepasa la norma de la OMS: 2016 pero aun así 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.

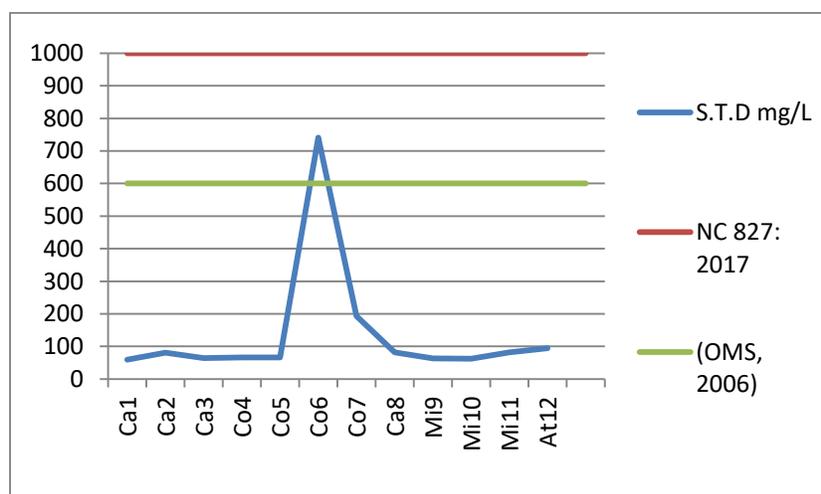


Figura 28. Comportamiento en mg/L de los Sólidos Totales Disueltos

Cloruros (Cl⁻)

Las altas concentraciones de cloruro confieren un sabor salado al agua y las bebidas. Hay diversos umbrales gustativos para el anión cloruro en función del catión asociado: los correspondientes al cloruro sódico, potásico y cálcico están en el intervalo de 200 a 300 mg/l. A concentraciones superiores a 250 mg/l es cada vez más probable que los consumidores detecten el sabor del cloruro, pero algunos consumidores pueden acostumbrarse al sabor que produce en concentraciones bajas. No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el cloruro en el agua de consumo. En las muestras analizadas los valores están por debajo de la norma propuestas van de 17,87 a 21,38 mg/L.

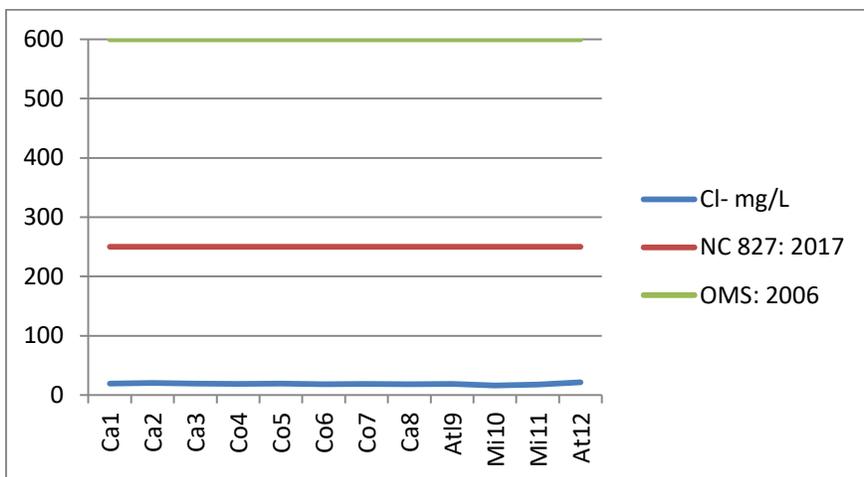


Figura 29. Contenidos de ion Cl⁻ en las muestras.

Sodio (Na⁺)

El umbral gustativo del sodio en el agua depende del anión asociado y de la temperatura de la solución. A temperatura ambiente, el umbral gustativo promedio del sodio es de 200 mg/l aproximadamente. No se ha calculado ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud. Las muestras analizadas se encuentran por debajo del valor que propone la norma cubana. Los valores de sodio en las muestras se encuentran desde 1,893 a 2,76 mg/L.

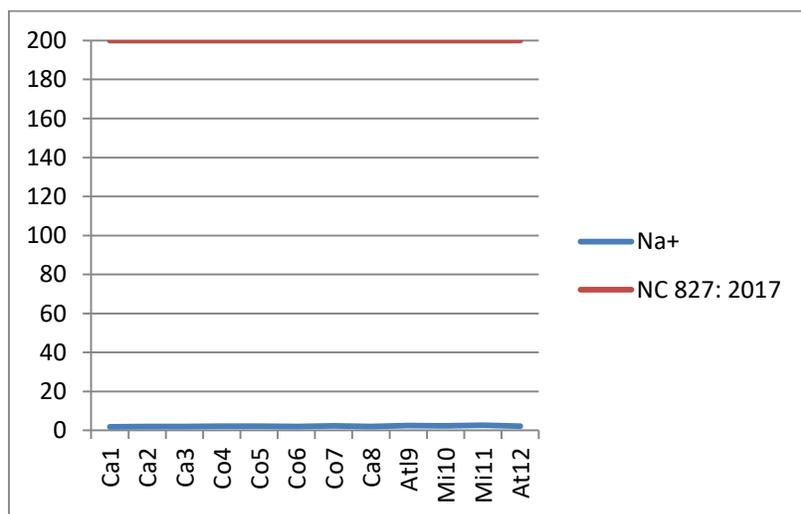


Figura 30. Contenidos de sodio Na⁺ en las muestras con respecto a la norma.

Sulfatos (SO_4^{2-})

La presencia de sulfato en el agua de consumo puede producir un sabor amargo apreciable y contribuir a la corrosión de los sistemas de distribución. No obstante, debido a los efectos gastrointestinales de la ingestión de agua de consumo con concentraciones altas de sulfato, se recomienda notificar a las autoridades de salud las fuentes de agua de consumo en las que las concentraciones de sulfato rebasen los 500 mg/l.

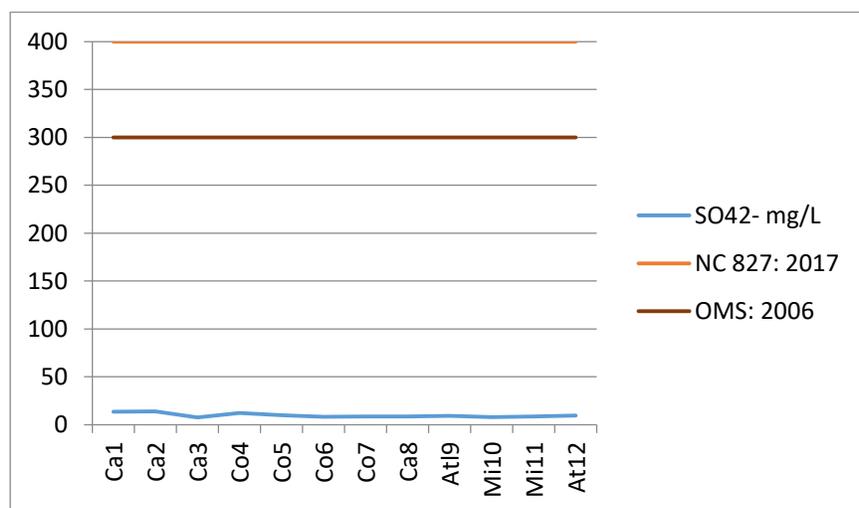


Figura 31. Concentraciones de los sulfatos en las muestras analizadas.

Los análisis demuestran que los niveles de sulfatos en las aguas de consumo analizadas se encuentran por debajo de la norma con valores entre 7,68 y 14,03 mg/L.

3.5.3 Componentes inorgánicos que influyen sobre la salud

Calcio (Ca^+) y Magnesio (Mg^+)

Las concentraciones de calcio en aguas varían mucho, están asociadas al nivel de mineralización, por esto mismo las aguas subterráneas presentan comúnmente más altos contenidos que las superficiales. La presencia de Ca^+ en agua potable la dota de sabor que dependerá del anión de mayoritario presente, así mismo este metal posee un papel fisiológico importante en la construcción del tejido óseo y la transmisión nerviosa como neurotransmisor celular.

El magnesio (fundamental para la fotosíntesis como integrante de la clorofila) es también importante en ciertos sistemas enzimáticos e interviene en la formación de los huesos. Parece que el consumo de agua con bajos niveles del metal menos 15mg/L se relaciona con altas tasas de enfermedades coronarias. Por otro lado, el elevado contenido de Mg en aguas de bebida puede provocar efectos laxantes y sabor amargo. En las muestras analizadas estos dos elementos se encuentran dentro las normas cubanas.

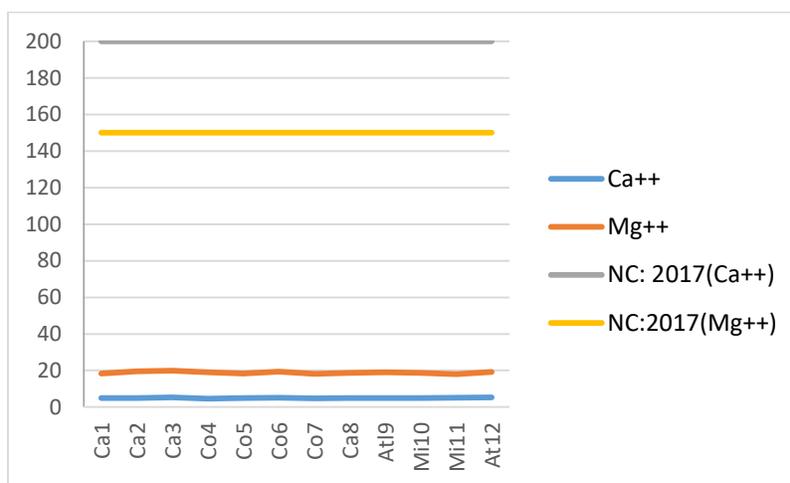


Figura 32. Concentraciones de los aniones Ca^{2+} y Mg^{2+} en las muestras analizadas.

Nitrito (NO_2^-) y Nitrato (NO_3^-)

El nitrato y el nitrito son iones de origen natural que forman parte del ciclo del nitrógeno. El nitrato se utiliza principalmente en fertilizantes inorgánicos, y el nitrito sódico como conservante alimentario, especialmente para las carnes curadas. La concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser baja, pero puede llegar a ser alta por filtración o escorrentía de tierras agrícolas o debido a la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares. Desde el punto de vista fisiológico es importante citar que los nitritos y los nitratos pueden ser tóxicos debido a su poder de transformar la hemoglobina de la sangre en metahemoglobina incapaz de fijar el oxígeno y realizar correctamente la respiración celular. Las concentraciones en el agua monitoreada de estos elementos son bajas, que cumplen con la normativa cubana.

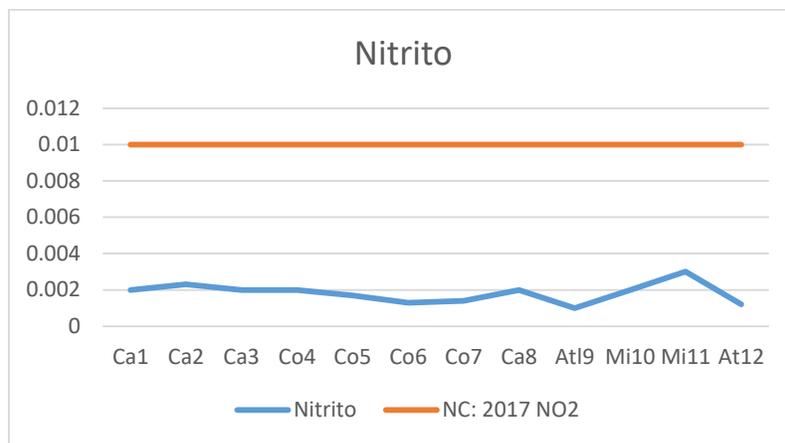


Figura 33. Concentraciones de nitrito mg/L en las muestras analizadas.

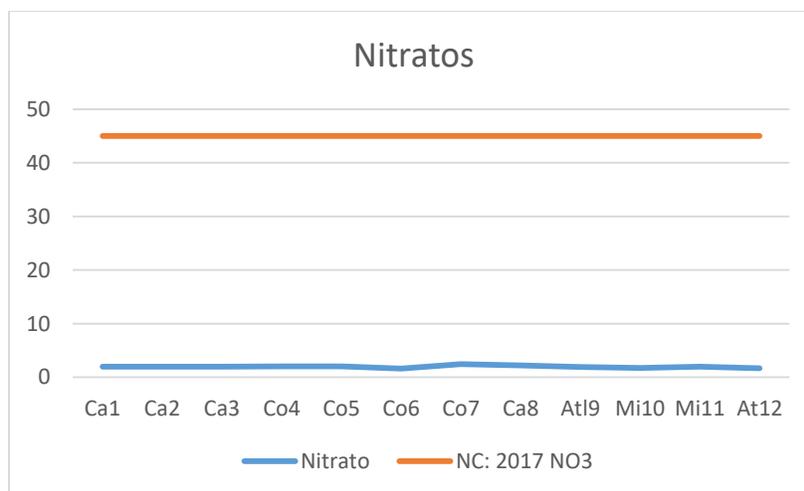


Figura 34. Concentraciones de nitrato mg/L en las muestras analizadas.

3.6 Cloro libre residual

La finalidad principal de la cloración es la desinfección microbiana. No obstante, el cloro actúa también como oxidante y puede eliminar o ayudar a eliminar algunas sustancias químicas; por ejemplo, puede descomponer los plaguicidas fácilmente oxidables, puede oxidar especies disueltas, como el manganeso (II), y formar productos insolubles que pueden eliminarse mediante una filtración posterior; y puede oxidar especies disueltas a formas más fáciles de eliminar (por ejemplo, el arsenito a arseniato). (Acurio, 2011) En las muestras los niveles de cloro se mantienen por debajo de la norma encontrándose valores de entre 0,3 y 1. (Ver Figura 35)

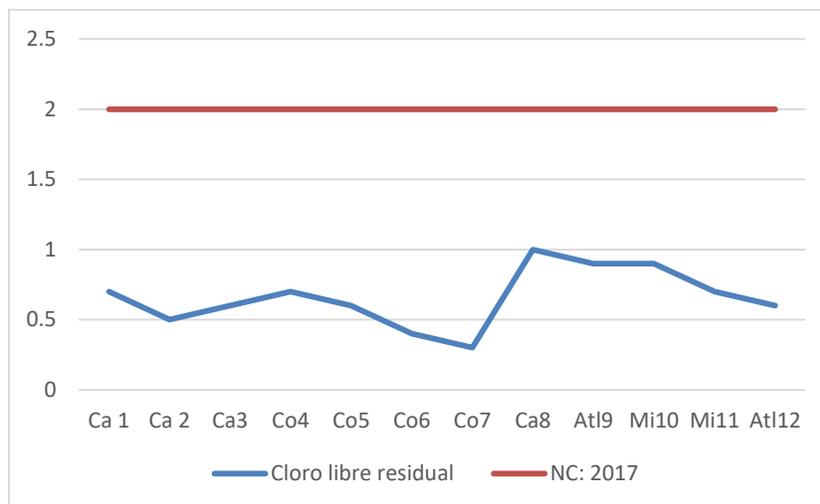


Figura 35. Niveles de cloro residual con respecto a la norma cubana en las muestras analizadas.

3.7 Temperatura (°C)

Es uno de los parámetros físicos más importantes, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Existen múltiples factores, que principalmente son ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe. En nuestro caso esta temperatura corresponde a la temperatura tomada en el laboratorio que oscila entre 26 a 27°C. La temperatura con mayor valor se encuentra en el punto Co7 y llega alcanzar los 27°C, la temperatura alta del agua potencia la proliferación de microorganismos y puede aumentar los problemas de sabor, olor, color y corrosión.

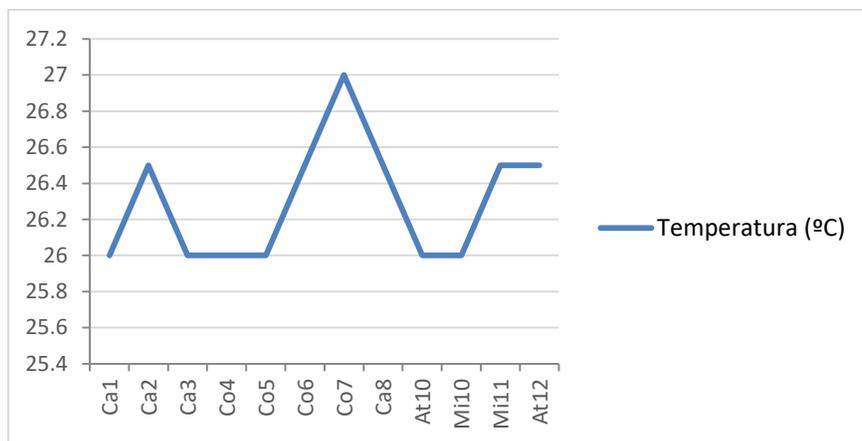


Figura 36. Temperaturas de laboratorio.

3.8 Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)

Conductividad eléctrica y TDS: los Sólidos totales disueltos es una medida de la concentración total de iones en solución. La conductividad es realmente una medida de la actividad iónica de una solución en términos de su capacidad para transmitir corriente. Las 12 muestras analizadas se comportan de tal manera que, los mayores valores de conductividad están asociados a las muestras con mayores contenidos de STD, como se observa en la Figura.37

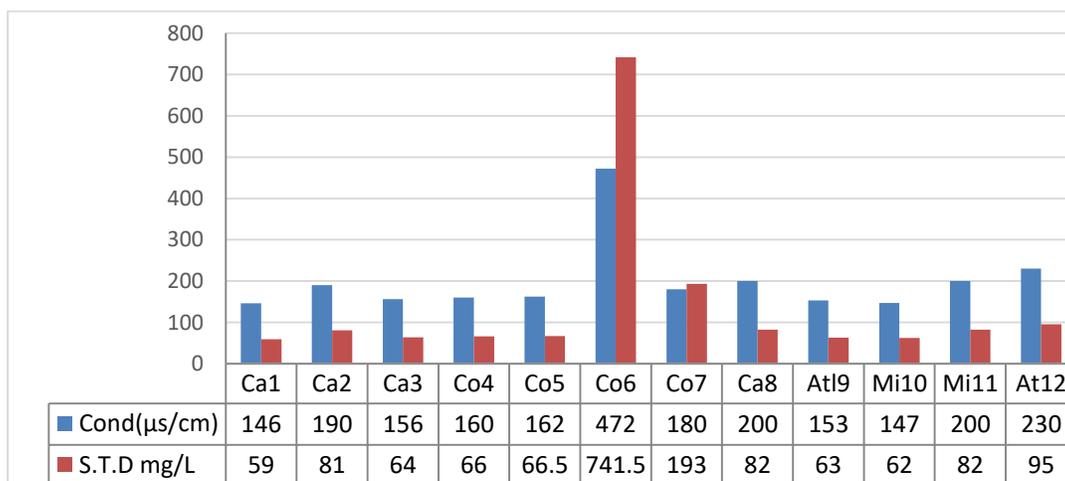


Figura 37. Comportamiento de los contenidos de conductividad y STD.

3.9 Sólidos suspendidos totales (SS)

Los sólidos en suspensión son productos de la erosión de los suelos, detritus orgánico y plancton. Los sólidos suspendidos, tales como limo, arena y virus, son generalmente responsables de impurezas visibles. La materia suspendida consiste

en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición. Pueden ser identificadas con la descripción de características visibles del agua, incluyendo turbidez y claridad, gusto, color y olor del agua.

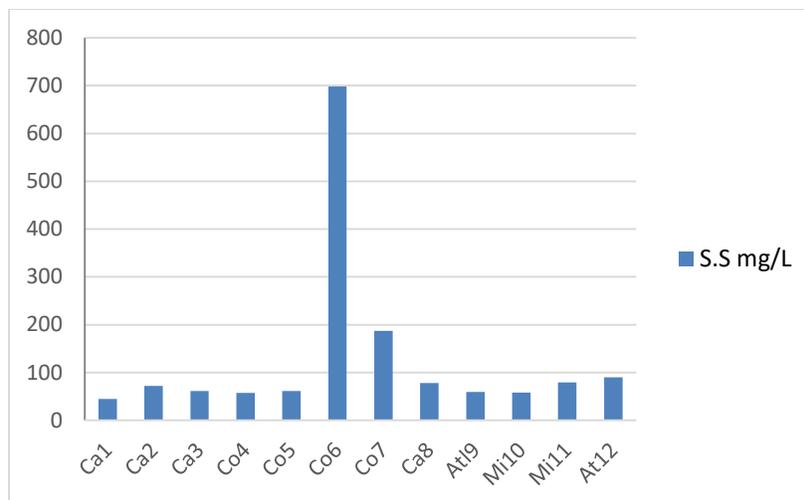


Figura 38. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales en las muestras.

3.10 Evaluación de los resultados de los análisis bacteriológicos

La contaminación microbiana es dividida en la contaminación por los organismos que tienen la capacidad de reproducirse, multiplicarse y los organismos que no pueden hacerlo. Los coliformes totales son un grupo de microorganismos que se encuentran comúnmente en el suelo, aguas en la superficie y en las plantas, también están presentes en los intestinos de animales y humanos. Las bacterias coliformes que la lluvia arrastra por el suelo, usualmente quedan atrapadas en las rocas y a medida que el agua pasa por las rocas llega a los sistemas de agua. Como se puede apreciar en la Tabla 10, la presencia de dos muestras que se encuentran por encima de la norma NC: 827- 2017, que regula que los coliformes totales deben de ser (< 2 NMP/100 mL) y en las muestras Co4 y Ca8 llega a ser de 5 (< 2 NMP/100 mL).

El agua apta para consumo humano puede contaminarse cuando entra al sistema de distribución, a través de conexiones cruzadas, rotura de las tuberías del sistema de distribución, conexiones domiciliarias, cisternas y reservorios

defectuosos, grifos dañados y durante el tendido de nuevas tuberías o reparaciones realizadas sin las mínimas medidas de seguridad. De igual manera, la construcción defectuosa en las estructuras de pozos o depósitos y ausencia o irregular mantenimiento de estas instalaciones son causas que predisponen el ingreso y multiplicación de microorganismos a partir de distintas fuentes. Además, existen otros factores que permiten el desarrollo de microorganismos en el agua dentro de los sistemas de distribución y almacenamiento como: cantidad y tipo de nutrientes, oxígeno, temperatura, pH, concentración de desinfectante y material de las tuberías

Tabla 10. Resultados de los análisis bacteriológicos.

Muestras	Localidad	Coliformes totales (NMP/100 mL)	Coliformes Fecales (NMP/100 mL)
Ca 1	Vivienda del Caribe.	2.2	0
Ca 2	Vivienda del Caribe	2.2	0
Ca3	Parque Infantil.	2.2	0
Co4	Secundaria B. José Martí	5	0
Co5	Policlínico Principal	2.2	0
Co6	Vivienda Vista Alegre.	2.2	0
Co7	Vivienda Coloradas nuevas.	2.2	0
Ca8	I.S.M.M.M.	5	0
Atl9	Vivienda Atlántico	2.2	0
Mi10	Vivienda Miraflores.	2.2	0
Mi11	Vivienda Miraflores	2.2	0
Atl12	Vivienda el Atlántico	2.2	0

3.11 Evaluación de la calidad de agua de consumo mediante la Metodología propuesta por el Órgano del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas de Gutiérrez y García, 2014 para el cálculo del ICAsup

En la evaluación de las aguas por la metodología de Gutiérrez y García, 2014 arrojaron los resultados siguientes, 4 de las muestras se clasifican como aguas de excelente calidad, 7 de calidad aceptable y solo una se encuentra medianamente contaminada (ver Figura 39). Las muestras clasificadas como de excelente calidad corresponde a los puntos Ca1, Ca3, Atl9, Mi10 con un valor registrado en el ICAsup de 90.9 - 94.2 % .Los que tienen una calidad aceptable son los puntos Ca2, Co4, Co5, Co7, Ca8, Mi11, Atl12 y oscilan en valores de entre 86.7 y 89.94 % y medianamente contaminada se encontraba el punto Co6 con 76.678 %.

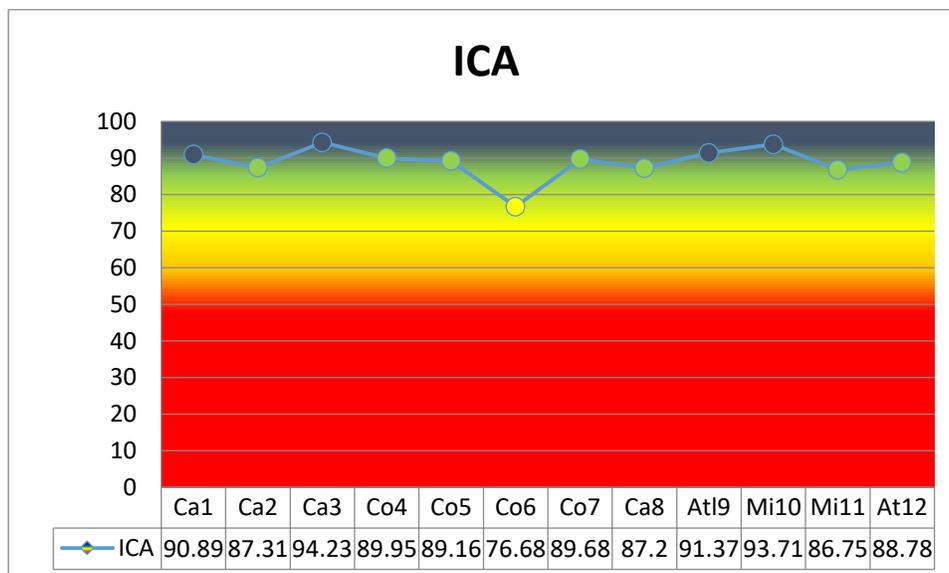


Figura 39. Resultados del índice de calidad para aguas superficiales de Gutiérrez y García 2014

La muestra que se encuentra medianamente contaminada pertenece al reparto Coloradas nuevas, las condiciones higiénicas del envase en el que se almacena el agua eran buenas, pero el agua que llegaba por la tubería se encontraba turbia a la vista y con carga de sedimentos, lo que indica la presencia de una avería posiblemente en profundidad pues no se apreciaba ninguna en los límites de la vivienda.

El agua de este punto se encuentra contaminada según el ICAsup pues los parámetros para su realización como la conductividad presenta un valor elevado de 472 ($\mu\text{s}/\text{cm}$), y con respecto a las otras muestras está realmente llevado pero también es de notar que la conductividad está relacionada directamente con los STD y en esta muestra sobrepasa la norma de la [OMS:2016](#) con un valor de 741,5 mg/L aunque no supera la NC 827:2017.

Es importante indicar que los parámetros que se encuentran elevados en esta muestra como es la conductividad, los STD y los SST, no dispone de datos fiables sobre posibles efectos para la salud asociados a la ingestión de estos en el agua de consumo y no se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud. No obstante, la presencia de concentraciones altas de los mismos en el

agua de consumo puede resultar desagradable para los consumidores. A si mismo darle la debida importancia.

3.12 Propuestas de tecnologías apropiadas para desinfección del agua

Son tecnologías sencillas, de bajo costo y de fácil implementación que permiten alcanzar niveles aceptables de descontaminación, de escasos recursos hídricos y económicos que resulten aceptables y sean socios económicamente viables.

El más importante requerimiento individual del agua bebida es que debe estar libre de cualquier microorganismo que pueda transmitir enfermedades al consumidor. Procesos tales como almacenamiento, sedimentación coagulación, floculación y filtración rápida, reducen en grado variable el contenido bacteriológico del agua. Sin embargo, estos procesos no pueden asegurar que el agua que producen sea bacteriológicamente segura. Frecuentemente se necesitará una desinfección final, la cual se encarga de la destrucción o al menos la desactivación completa de los microorganismos dañinos. Se realiza con el uso de medios físicos o químicos.

Entre los factores que influyen en el método a elegir para la desinfección del agua se pueden mencionar:

1. La naturaleza y número de organismos a ser destruidos.
2. El tipo y concentración del desinfectante usado.
3. La temperatura del agua a ser desinfectada: a mayor temperatura más rápida la desinfección.
4. El tiempo de contacto del desinfectante: a mayor contacto desinfección es más completa.
5. La naturaleza del agua a ser desinfectada: si el agua contiene partículas coloidales y orgánicas obstaculiza el proceso de desinfección.
6. El pH, acidez o alcalinidad del agua.
7. Mezcla: buena mezcla de los desinfectantes a través de toda el agua.

Desinfección física

Hervido: es una práctica segura y tradicional que destruye virus, bacterias, quistes y huevos. Es un método efectivo como tratamiento casero, pero no es factible para abastecimientos públicos; se puede usar el hervido como medida temporal en situaciones de emergencia. Esta tecnología sería apropiada para las muestras con elevado contenido de materia orgánica o bacteriología positiva como son las muestras Co4, Co8, y con elevado color a la Mi10.

Desinfección por ebullición: una recomendación típica para desinfectar el agua es hacer que el agua hierva vigorosamente por 10 a 12 minutos. En realidad, un minuto a 100 °C, destruirá la mayoría de los patógenos, incluidos los del cólera y muchos mueren a 70 °C. Las desventajas principales de hervir el agua son las de utilizar combustible, labor que consume mucho tiempo. También se pudiera utilizar para las muestras Co4, Co8 y Mi10 con elevado color.

Radiación solar: es un método efectivo para aguas claras, pero su efectividad es reducida cuando el agua es turbia o contiene constituyentes tales como el nitrato, sulfato, hierro en su forma ferrosa.

La desinfección solar utiliza la radiación solar para inactivar y destruir a los patógenos que se hallan presentes en el agua. El tratamiento consiste en llenar recipientes transparentes de agua y exponerlos a plena luz solar por unas cinco horas (dos días consecutivos bajo un cielo que está 100% soleado). La desinfección ocurre por una combinación de radiación y tratamiento térmico (la temperatura del agua no necesita subir muy por encima de 50 °C). La desinfección solar requiere agua relativamente clara (turbidez inferior a 30 NTU) (CEPIS2002).

La aireación: puede lograrse con la agitación vigorosa de un recipiente lleno de agua hasta la mitad o permitiendo al agua gotear a través de una o más bandejas perforadas que contienen pequeñas piedras. La aireación aumenta el contenido de aire del agua, elimina las sustancias volátiles tales como el sulfuro de hidrógeno, que afectan al olor y el sabor, y oxida el hierro y el manganeso a fin de que formen precipitados que puedan eliminarse mediante sedimentación o filtración.

Coagulación y floculación: si el agua contiene sólidos en suspensión, la coagulación y la floculación pueden utilizarse para eliminar gran parte del material. En la coagulación, se agrega una sustancia al agua para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión. Hace que las partículas, que anteriormente tendían a repelerse unas de otras, sean atraídas las unas a las otras o hacia el material agregado. La coagulación ocurre durante una mezcla rápida o el proceso de agitación que inmediatamente sigue a la adición del coagulante.

El proceso de floculación que sigue a la coagulación, consiste de ordinario en una agitación suave y lenta. Durante la floculación, las partículas entran más en contacto recíproco, se unen unas a otras para formar partículas mayores que pueden separarse por sedimentación o filtración. El alumbre (sulfato de aluminio) es un coagulante que se utiliza tanto al nivel de familia como en las plantas de tratamiento del agua. Los coagulantes naturales incluyen semillas en polvo del árbol Moringa olifeira y tipos de arcilla tales como la bentonita. Esta tecnología sería eficaz para muestras alto contenido de STD y SS como la muestra Co6.

Desalinización: las sales químicas excesivas en el agua le dan mal sabor. La desalinización mediante destilación produce agua sin sales químicas y pueden utilizarse varios métodos al nivel de familia; por ejemplo, para tratar el agua de mar. La desalinización también es eficaz para eliminar otros productos químicos tales como el fluoruro, el arsénico y el hierro.

La filtración: incluye el tamizado mecánico, la absorción y la adsorción y, en particular, en filtros de arena lentos, los procesos bioquímicos. Según el tamaño, el tipo y la profundidad del filtro, y la tasa de flujo y las características físicas del agua sin tratar, los filtros pueden extraer los sólidos en suspensión, los patógenos y ciertos productos químicos, sabores y olores.

El tamizado y la sedimentación son métodos de tratamiento que preceden útilmente a la filtración para reducir la cantidad de sólidos en suspensión que entran en la fase de filtración. Esto aumenta el período en el cual el filtro puede

operar antes de que necesite limpieza y sustitución. La coagulación y la floculación también son tratamientos útiles antes de la sedimentación y mejoran aún más la eliminación de sólidos antes de la filtración. Se propone este método para la muestra Co6 por el contenido elevado de STD y SS y la Mi10 por su alto contenido de Color.

Almacenamiento y sedimentación: al almacenar el agua en condiciones no contaminantes por un día se puede conseguir la eliminación de más del 50% de la mayoría de las bacterias. Los períodos más largos de almacenamiento conducirán a reducciones aún mayores. Durante el almacenamiento, los sólidos en suspensión y algunos de los patógenos se depositarán en el fondo del recipiente. El agua sacada de la parte superior del recipiente será relativamente clara (a menos que los sólidos sean muy pequeños, tales como partículas de arcilla) y tendrá menos patógenos.

El sistema de tratamiento de tres ollas en las que se echa agua sin tratar a la primera olla, donde se decanta en la segunda olla después de 24 horas y se echa en la tercera olla después de 24 horas adicionales, aprovecha los beneficios del almacenamiento y la sedimentación. También pudiera ser utilizado por la muestra Co6.

Tamizado: echar el agua a través de un paño de algodón limpio eliminará una cierta cantidad de sólidos en suspensión o turbidez. Se han construido telas de filtro de monofilamento especial para uso en las zonas en las que prevalece la enfermedad del nematodo de Guinea. Las telas filtran los copéodos que son los huéspedes intermedios de las larvas del nemátodo de Guinea.

Desinfección química

La cloración es el método más ampliamente utilizado para desinfectar el agua. Se empezó a utilizar a inicios del siglo XX; y fue quizás el evento tecnológico más importante en la historia del tratamiento del agua. La fuente de cloro puede ser el hipoclorito de sodio (tal como blanqueador casero o electrolíticamente generado a

partir de una solución de sal y agua), la cal clorinada o el hipoclorito hiperconcentrado (comprimidos de cloro).

El yodo es otro desinfectante químico excelente que se utiliza a veces. El yodo no debería utilizarse por períodos prolongados (más de unas cuantas semanas). Tanto el cloro como el yodo deben agregarse en cantidades suficientes para destruir todos los patógenos, pero no tanto que el sabor se vea adversamente afectado. Puede ser difícil decidir cuál es la cantidad apropiada debido a que las sustancias en el agua reaccionarán con el desinfectante y la potencia del desinfectante puede reducirse con el tiempo según la forma en que se almacene.

3.13 Valoración económica de los trabajos realizados

El costo de los análisis realizados en Planta de Agua y en el Centro de Higiene y Epidemiología Municipal, ubicado en el Reparto Rolo Monterrey se muestra en la siguiente Tabla 11.

Tabla 11. Costo en CUC y CUP de los análisis realizados en los diferentes laboratorios.

Parámetros	Precio de los análisis			Cantidad de muestras	Costo total		
	CUP	CUC	MT		CUP	CUC	MT
pH	4,16	2,29	6,45	24	99,84	54,96	154,80
STD	21,24	1,09	22,33	24	509,76	26,16	535,92
C.E	4,05	1,61	5,66	24	97,20	38,64	135,84
Turbidez	1,43	3,08	4,51	24	34,32	73,92	108,24
DOQ	22,41	13,43	35,84	24	537,84	322,32	860,16
Color	2,01	7,36	9,37	24	48,24	176,64	224,88
MO	4,00	1,21	5,21	24	96,00	29,04	125,04
NO ₂ -	4,80	2,79	7,59	24	115,2	66,96	182,16
NO ₃ -	14,26	7,68	21,94	24	342,24	184,32	526,56
SO ₄ ²⁻	23,87	6,11	29,98	24	572,88	146,64	719,52
CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻	18,32	3,23	21,55	24	439,68	77,52	517,20
Mg ²⁺ , Na ⁺ y k ⁺	35,48	8,99	44,47	24	851,52	215,76	1067,28
Ca ²⁺	13,15	2,20	15,35	24	315,6	52,8	368,4
Cl ⁻	8,04	4,10	12,14	24	192,96	98,4	291,36
Coliformes termotolerantes y totales	20,64	17,70	38,34	24	495,36	424,8	920,16
OD	8,90	9,65	18,55	24	213,6	231,6	445,2
Costo total de los análisis					4962.24	2220.48	7182.72

CONCLUSIONES

- ✓ Se identificaron nueve focos contaminantes que afectan las aguas de consumo en los repartos Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico, y Miraflores, ellos son: el deterioro de la red de distribución hidráulica del municipio, la presencia de micro vertederos y acumulación de sedimentos en los alrededores de las rupturas, que influye en las propiedades físicas del agua; la falta de limpieza en los envases en los que los pobladores almacenan el agua, que llega a variar el tiempo de lavado hasta meses.
- ✓ Las muestras de aguas analizadas se clasificaron; según Aliokin por su composición química como aguas Hidrocarbonatadas–Magnésicas–Clóricas; según su dureza como aguas blandas; por su mineralización como aguas dulces, por su pH según E.B Pasoxov se clasifican en neutras y débilmente básicas. Las propiedades físico-químicas y bacteriológicas se clasificaron según las normas cubanas NC: 2017 y la norma de la organización Mundial de la Salud OMS: 2006, los resultados arrojaron que las aguas son aptas para el consumo humano, es decir que son potables.
- ✓ De acuerdo a los resultados obtenidos por la Metodología propuesta por el Órgano del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas de Gutiérrez y García, 2014 para el cálculo del ICAsup, las muestras analizadas se clasifican cuatro como aguas de excelente calidad en los repartos del Caribe, Atlántico y Miraflores, siete de calidad aceptable y una medianamente contaminada en el reparto de las Coloradas.
- ✓ Se propusieron siete tecnologías para la desinfección de las aguas, si bien se demostró que son aptas para el consumo humano, cuatro de sus análisis sobrepasan el límite máximo admisible por las normas: a la muestra Mi10, Co4, Co6 y Co8 se le propuso la desinfección por hervido, por ebullición o filtrado y la desinfección por Almacenamiento y sedimentación, Filtración, Coagulación y floculación o tamizado, para disminuir los agentes patógenos, el color y reducir los sólidos totales disueltos en el agua.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere un monitoreo periódico de cada dos meses en los repartos Coloradas nuevas, Caribe, Atlántico, y Miraflores en el municipio de Moa, con puntual atención a las viviendas que se encontraban en este trabajo con algún parámetro por encima de la norma.
2. Sugerir a las entidades encargadas en la rehabilitación de los acueductos y alcantarillados, que se le asigne un presupuesto para la reparación de tuberías averiadas pues se comprobó que pudieran ser un factor contaminante de las aguas.
3. Sugerir a las autoridades de salud, empresas y el gobierno en relación con los medios de comunicación y la universidad, desarrollar un programa que explique y eduque en el cuidado del agua. Aprovechar este espacio y dar a conocer las tecnologías apropiadas para su desinfección y manejo.

BIBLIOGRAFÍA

ACURIO, ANÍBAL J M, 2011. Validación de los métodos analíticos para determinación de cloro libre residual, cromo hexavalente, cromo total y nitritos en muestras de agua, en el centro de investigaciones y control ambiental “CICAM”, Universidad técnica de Ambato, Ecuador.

ALONSO, J, 2013. Evaluación de calidad de las aguas del arroyo Aguapey mediante el empleo del Índice Simplificado de Calidad de Agua.

ALONSO, J A, 2009. ¿Cómo se potabilizan las aguas para el consumo humano? [En línea]. Disponible en: www.weblog El Agua de Madri+d.com

ARCOS, PL, ÁVILA DE S N, TORRES, ESTUPIÑÁN SM, PRIETO, GÓMEZ CA, 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua.

ARIAS, BLANCA R., BEJARANO, DIANA M., ARIAS, CARLOS A. 2014. Mapa de riesgos para la calidad del agua en sistemas de abastecimiento municipales. Un caso colombiano Risk map for the water quality of municipal supply systems.

ARIAS, O R., DELGADO, ORTIZ CR., MARTÍNEZ, QUINTANA MR., TERÁN, A S., RIVERO, OCHOA MJ., Burciaga, Rey IN. 2014 Índice de calidad de agua (ICA) en la presa de la Boquilla en Chihuahua, México.

ACURIO, A.J.M., 2011. Validación de los métodos analíticos para determinación de cloro libre residual, cromo hexavalente, cromo total y nitritos en muestras de agua, en el centro de investigaciones y control ambiental «CICAM». S.I. Universidad técnica de Ambato, Ecuador.

BORBOLLA-SALA, M.E., CRUZ-VÁZQUEZ, L. de la, PIÑA-GUTIÉRREZ, O.E., FUENTE-GUTIÉRREZ, J. de C. y GARRIDO-PÉREZ, S.M.G., 2003. Calidad del agua en Tabasco. ,

CABALLERO, D. de la C.R., 2017. Evaluación de la calidad de las aguas en el poblado La Melba. S.I.: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa «Dr. Antonio Núñez Jiménez».

- CALLEJAS, A.K.F., 2018. Propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable de la escuela de logística del ejército nacional. ,
- CEPAL, 1997. Manejo de cuencas hidrográficas/desechos sólidos, Turrialba, Costa Rica. [en línea], Disponible en: www.infoagua.org/cuencas.
- CIFUENTES, B.M.G., 2004. Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos en la Zona 11, Mixco, Guatemala. S.I.Universidad de San Carlos de Guatemala.
- CUBANA, N., 2017. NC 827: 2017. , no. 261, pp. 830-835.
- E.PANIAGUA-SUÁREZ, R., LÓPEZ-GIRALDO, L.A. y FLOR Á. TOBÓN-MARULANDA, 2010. Contaminación del agua por plaguicidas en un área de Antioquia. , vol. 12, no. 2, pp. 300-307.
- FÉLIX-FUENTES, A., CAMPAS-BAYPOLI, O.N., MA. GUADALUPE AGUILAR-APODACA y MEZA-MONTENEGRO MERCEDES, M., 2007. Calidad microbiológica del agua de consumo humano de tres comunidades rurales del sur de Sonora (México). , no. 3.
- FERNÁNDEZ, L.S.Q., KULICH, E.I. y GUTIÉRREZ, C.M., 2017. Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo , Ecuador. , vol. XXXVIII, no. 3, pp. 41-51.
- GALLEGO, M., 2000. El agua vinculo de contaminación. [en línea]. Disponible en: www.badad.com/no01/agua.html.
- GIL-MARÍN, J.A., VIZCAINO, C. y MONTAÑO-MATA, N.J., 2018. Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio : cuenca del Río Guarapiche , Monagas , Venezuela. , vol. 79, no. 1, pp. 111-119.
- LAMBERT, M.C., 2018. Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey. S.I.Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa «Dr. Antonio Núñez Jiménez».

- LÓPEZ, C.C.C. y YÁNEZ, V.E.O., 2015. Control de calidad del agua potable que se distribuye en los campus: Central, Hospitalidad, Balzay, paraíso, Yanuncay y las granjas de Irquis y Romeral pertenecientes a la universidad de Cuenca. S.l.: Universidad de cuenca facultad de ciencias químicas escuela de bioquímica y farmacia.
- MEJÍA, M.R., 2005. Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria , en la microcuenca El Limón , San Jerónimo , Honduras . , pp. 110.
- MENDOZA, M., 1996. Impacto de la tierra, en la calidad del agua de la microcuenca del rio Sabalos,Turialba, Costa Rica. , pp. 81.
- OMS, 2006. Guías para la calidad del agua potable. , vol. 1.
- ONGLEY, E., 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudios de la FAO, riego y drenaje, Roma, Italia. , pp. 116.
- OPS, 1993. Consideraciones sobre el programa medio ambiente y salud en el Istmo Centroamericano, San José, Costa Rica. , pp. 50.
- PULLÉS, M.R., 2014. Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en cuba. ,
- REIFF, F., 1995. Guía para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales de America latina y el caribe. Documento OPS/OMS, vol. Serie tecn, pp. 20-35.
- REYNOLDS, J., 2002. Manejo integrado de aguas subterráneas.Un reto para el futuro,San José,Costa Rica. ,
- SÁENZ, F., 1995. *Identificacion de las areas criticas para el manejo de la cuenca del rio Pacuare, Costa Rica*. S.l.: s.n.
- SAGARDOY, J., 1994. Irrigation management transfer,select paper,FAO,Roma. ,

- SALAZAR CHÁVEZ, B. y PASTOR ORTIZ, Y. del R., 2019. Evaluación de la calidad ecológica y ambiental del agua del río Jequetepeque en el tramo de San Juan - Chilete del departamento de Cajamarca en el año 2017- 2018. ,
- SÁNCHEZ, B.L.M., RIVERO, A.E.G., CASTILLO, P.L. Del, GARCÍA, G.A. y CHÁVEZ, E.S., 2016. Calidad de las aguas del río Ariguanabo según índices físico-químicos y bioindicadores Water quality of Ariguanabo river according to physico-chemical indices and bioindicators. , vol. XXXVII, no. 2, pp. 108-122.
- SEISDEDO, M., DÍAZ, M., BARCIA, S. y ARENCIBIA, G., 2017. Análisis comparativo de la calidad del agua de dos embalses de la cuenca Arimao , Cuba (2014-2015). , vol. 34, no. 2, pp. 60-67.
- SIMANCA, M.M., ÁLVAREZ, B.E. y PATERNINA, R., 2010. Calidad física, química y bacteriológica del agua envasada en el municipio de Montería. ,
- TAMAYO, Y.P., 2009. Evaluacion de la materia organica, el cloro residual en las aguas de consumo humano de la ciudad de Moa en el periodo febrero-abril 2009. , vol. 5, pp. 71.
- TORRES, S.M.E. y NAVIA, S.L.A. De, 2010. Calidad físico-química y microbiológica del agua del municipio de Bojacá , Cundinamarca. , vol. 8, no. 14, pp. 206-212.
- VÍQUEZ, C.H., 2016. Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y propuesta de alternativas tendientes a su mejora , en la Comunidad de 4 Millas de Matina , Limón . S.I. Universidad nacional facultad de ciencias de la tierra y el mar escuela de ciencias ambientales.
- VIVIANA, M., GUTIÉRREZ, F., MORENO, S., ALVARADO, M.V., BERMÚDEZ, A. y GUTIÉRREZ, M.F., 2009. Análisis filogenético de las cepas de rotavirus y virus de la hepatitis A encontradas en agua de consumo en el municipio de Quibdó , Chocó. ,

- ACURIO, A.J.M., 2011. Validación de los métodos analíticos para determinación de cloro libre residual, cromo hexavalente, cromo total y nitritos en muestras de agua, en el centro de investigaciones y control ambiental «CICAM». S.I.: Universidad técnica de Ambato, Ecuador.
- BORBOLLA-SALA, M.E., CRUZ-VÁZQUEZ, L. de la, PIÑA-GUTIÉRREZ, O.E., FUENTE-GUTIÉRREZ, J. de C. y GARRIDO-PÉREZ, S.M.G., 2003. Calidad del agua en Tabasco. ,
- CABALLERO, D. de la C.R., 2017. Evaluación de la calidad de las aguas en el poblado La Melba. S.I.: INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA «Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ».
- CALLEJAS, A.K.F., 2018. Propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable de la escuela de logística del ejército nacional. ,
- CEPAL, 1997. Manejo de cuencas hidrográficas/desechos sólidos, Turrialba, Costa Rica. [en línea], Disponible en: www.infoagua.org/cuencas.
- CIFUENTES, B.M.G., 2004. *Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos en la Zona 11, Mixco, Guatemala*. S.I.: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- CUBANA, N., 2017. NC 827: 2017. , no. 261, pp. 830-835.
- E.PANIAGUA-SUÁREZ, R., LÓPEZ-GIRALDO, L.A. y FLOR Á. TOBÓN-MARULANDA, 2010. Contaminación del agua por plaguicidas en un área de Antioquia. , vol. 12, no. 2, pp. 300-307.
- FÉLIX-FUENTES, A., CAMPAS-BAYPOLI, O.N., MA. GUADALUPE AGUILAR-APODACA y MEZA-MONTENEGRO MERCEDES, M., 2007. Calidad microbiológica del agua de consumo humano de tres comunidades rurales del sur de Sonora (México). , no. 3.
- FERNÁNDEZ, L.S.Q., KULICH, E.I. y GUTIÉRREZ, C.M., 2017. Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. , vol. XXXVIII, no. 3, pp. 41-51.
- GALLEGO, M., 2000. El agua vínculo de contaminación. [en línea]. Disponible en: www.badad.com/no01/agua.html.
- GIL-MARÍN, J.A., VIZCAINO, C. y MONTAÑO-MATA, N.J., 2018. Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. , vol. 79, no. 1, pp. 111-119.
- LAMBERT, M.C., 2018. *Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey*. S.I.: INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA «DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ».
- LÓPEZ, C.C.C. y YÁNEZ, V.E.O., 2015. *Control de calidad del agua potable que se distribuye en los campus: Central, Hospitalidad, Balzay, paraíso, Yanuncay*

y las granjas de Irquis y Romeral pertenecientes a la universidad de Cuenca.
S.I.: UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA.

- MEJÍA, M.R., 2005. Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria , en la microcuenca El Limón , San Jerónimo , Honduras . , pp. 110.
- MENDOZA, M., 1996. Impacto de la tierra, en la calidad del agua de la microcuenca del rio Sabalos,Turrialba, Costa Rica. , pp. 81.
- OMS, 2006. Guías para la calidad del agua potable. , vol. 1.
- ONGLEY, E., 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudios de la FAO, riego y drenaje, Roma, Italia. , pp. 116.
- OPS, 1993. Consideraciones sobre el programa medio ambiente y salud en el Istmo Centroamericano, San José, Costa Rica. , pp. 50.
- PULLÉS, M.R., 2014. Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en cuba. ,
- REIFF, F., 1995. Guía para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales de America latina y el caribe. *Documento OPS/OMS*, vol. Serie tecn, pp. 20-35.
- REYNOLDS, J., 2002. Manejo integrado de aguas subterráneas.Un reto para el futuro,San José,Costa Rica. ,
- SÁENZ, F., 1995. *Identificacion de las areas criticas para el manejo de la cuenca del rio Pacuare, Costa Rica*. S.I.: s.n.
- SAGARDOY, J., 1994. Irrigation management transfer,select paper,FAO,Roma. ,
- SALAZAR CHÁVEZ, B. y PASTOR ORTIZ, Y. del R., 2019. Evaluación de la calidad ecológica y ambiental del agua del río Jequetepeque en el tramo de San Juan - Chilete del departamento de Cajamarca en el año 2017- 2018. ,
- SÁNCHEZ, B.L.M., RIVERO, A.E.G., CASTILLO, P.L. Del, GARCÍA, G.A. y CHÁVEZ, E.S., 2016. Calidad de las aguas del río Ariguanabo según índices físico-químicos y bioindicadores Water quality of Ariguanabo river according to physico-chemical indices and bioindicators. , vol. XXXVII, no. 2, pp. 108-122.
- SEISDEDDO, M., DÍAZ, M., BARCIA, S. y ARENCIBIA, G., 2017. Análisis comparativo de la calidad del agua de dos embalses de la cuenca Arimao , Cuba (2014-2015). , vol. 34, no. 2, pp. 60-67.
- SIMANCA, M.M., ÁLVAREZ, B.E. y PATERNINA, R., 2010. Calidad física, química y bacteriológica del agua envasada en el municipio de Montería. ,
- TAMAYO, Y.P., 2009. Evaluacion de la materia organica, el cloro residual en las

aguas de consumo humano de la ciudad de Moa en el periodo febrero-abril 2009. , vol. 5, pp. 71.

TORRES, S.M.E. y NAVIA, S.L.A. De, 2010. Calidad físico-química y microbiológica del agua del municipio de Bojacá , Cundinamarca. , vol. 8, no. 14, pp. 206-212.

VÍQUEZ, C.H., 2016. *Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y propuesta de alternativas tendientes a su mejora , en la Comunidad de 4 Millas de Matina , Limón .* S.I.: UNIVERSIDAD NACIONAL FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES.

VIVIANA, M., GUTIÉRREZ, F., MORENO, S., ALVARADO, M.V., BERMÚDEZ, A. y GUTIÉRREZ, M.F., 2009. Análisis filogenético de las cepas de rotavirus y virus de la hepatitis A encontradas en agua de consumo en el municipio de Quibdó , Chocó. ,

Oficina Nacional de estadísticas República de Cuba. Indicadores demográficos de Cuba y sus territorios. Edición marzo 2016. Consultado en www.one.cu/.../indicadoresdemograficos/indicadores_2015.pdf

