



REPÚBLICA DE CUBA

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
DE MOA

“DR. ANTONIO NÚÑEZ JÍMENEZ”

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO
DE
INGENIERA GEÓLOGA**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE ABASTECIMIENTO
DEL POBLADO YAMANIGÜEY**

Autora: Marianela Crespo Lambert

Tutora: MSc. Moraima Fernández Rodríguez

Moa, 29 de junio del 2018

Año 60 de la Revolución

PENSAMIENTOS



"Una importante especie biológica está en riesgo de desaparecer por la rápida y progresiva liquidación de sus condiciones naturales de vida: el hombre".

Fidel Castro Ruz.



“La paz es indispensable, como requisito para la gran batalla contra el subdesarrollo, contra las enfermedades, contra el analfabetismo, contra la falta de viviendas, contra la creciente escasez de alimentos, materias primas, energía y agua que ya constituye un angustioso problema para cientos de millones de seres en las áreas más pobres del mundo”.

Fidel Castro Ruz.

DEDICATORIA

A la Revolución, a nuestro líder histórico Fidel Castro Ruz, a mis padres, hermanos, familiares, profesores y amigos.

AGRADECIMIENTOS

Antes de agradecer a cualquier persona e incluso a mis padres, que me dieron la vida, agradezco infinitamente a nuestra Revolución cubana por haberme dado la oportunidad de estudiar y graduarme como ingeniera en esta universidad.

Agradezco, es una palabra muy pequeña para escribir lo que siento respecto a todo el sacrificio, amor, paciencia, pasión, apoyo, espera y compromiso de mis padres, por eso mamá y papá les dedico este trabajo que es tanto de ustedes como mio, porque este trabajo es el resultado de cuatro años de sacrificio tanto de mi parte como el de ustedes, y comprobamos que no va haber ni distancia, ni enfermedad, ni ciclón Irma que nos derrote, porque ustedes me enseñaron que antes las malas situaciones se toman fuerzas para ser más fuertes y convertir esas malas situaciones en retos superados. A mi hermano Raudel García Lambert también le agradezco por haberme dado el mismo apoyo y amor que mis padres. Gracias a todos mis familiares por su apoyo y fe en mi, a mi abuela Elside Pérez Reyes, a los que no estan entre nosotros también agradezco a mis abuelos.

Agradecimiento especial a Luis Alberto Pérez García amigo, compañero, esposo y mi ejemplo a seguir por su apoyo en estos cuatro años de duro batallar, en especial agradezco tus regaños que hasta hoy fue que comprendí que no eran para ofenderme sino para mejorar y gracias a ti hoy me estoy graduando con los resultados que esperabas de mi. Muchas gracias sobre todo por tu paciencia, tus consejos, ayuda, apoyo, fe en mi y preocupación.

Gracias a mis suegros y familiares por su apoyo y compromiso con mi persona y con mi familia en los momentos más difíciles, estoy eternamente agradecida con ustedes y satisfecha de haberlos conocido y por dejarme ser parte de su familia. Muchas gracias por haber formado una persona tan especial como Luis Alberto.

A mis amistades de Moa en especial a mi tercera familia Martha López y su esposo, hijas y nietos, en especial a su hijo Yosvany Guerrero por haberme

Tesis presentada en opción al Título de Ingeniera Geóloga

abierto las puertas de su casa sin pedir nada ha cambio y por habernos dejado ser parte de la familia, por su apoyo incondicional en los momentos difíciles, por preocuparse por nuestros problemas y ayudarnos a salir adelante.

A Amparo, esposo e hijo por habernos abierto las puertas de su casa cuando aún no conocíamos nada de Moa. A mi tutora Moraima Rodríguez Fernández por su compromiso y apoyo, gracias por todo lo enseñado. A Yurisley Váldez Meriño por las oportunidades que me ofreció y en especial la de realizar este reajuste de Plan de Estudio que me ha enseñado mucho. Gracias a tus prácticas que no me hicieron dejar esta hermosa carrera y me enamoraron cada vez más de la Geología. A Andrés Salazar Moreno, esposa e hijos por también habernos abierto las puertas de su casa, por su apoyo y preocupación, muchas gracias. A los profesores desde mi primer año hasta el quinto año por sus conocimientos, compromiso en la formación de las nuevas generaciones de geólogos, por todas las enseñanzas que se quedaron en mi mente. A mis compañeros de aula del actual cuarto año y los del quinto con los cuales compartí buenos momentos, de ellos me gustaría resaltar a Sixta mi compañera de mesa desde el primer año, Liane, Juan mi coterráneo, Desdín, Pedro, Katerin, en fin le agradezco a los 33 estudiantes de 4to de geología. Agradecer también a Idania representante del CITMA en Moa, por su cooperación y apoyo durante esta investigación.

En fin a todos los que me rodearon y me apoyaron en cumplir uno de mis sueños .
A todos MUCHAS GRACIAS.

RESUMEN

En los últimos años debido a diversas causas naturales y antrópicas, han provocado afectaciones y deterioro de la calidad de las aguas y ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de las mismas, esto es posible y sencillo a través de la aplicación de los Índices de Calidad de las Aguas (ICA), los cuales son un número simple que expresa la calidad por la integración de las variables físicas, químicas y bacteriológicas, por tal motivo surge la investigación 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, utilizando las normas nacionales e internacionales para agua potable. Se implementó la metodología de evaluación del Índice de Calidad de Montoya, 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.

ABSTRACT

In recent years, due to various natural and anthropic causes, they have caused damage to and deterioration of water quality and have generated the need to quantify and evaluate the quality of water, this is possible and simple through the application of Water Quality Indices (ICA), which are a simple number that expresses the quality by the integration of physical, chemical and bacteriological variables, for this reason the investigation arises with the objective of evaluating the quality of the water supply in the town of Yamanigüey. The hygienic-sanitary status of the main sources of contamination in the surrounding areas and the physical-chemical and bacteriological characteristics of the water were determined, according to different authors, using the national and international standards for drinking water. The evaluation methodology of the Montoya Quality Index was implemented, 1997 and the data were expressed in tables and graphs. The main conclusions were obtained that the waters according to Cuban standards are classified as drinking water and according to the results of the ICA, nine of them are classified as acceptable and the rest as little polluted. Measures were proposed for the control and mitigation of water pollution. The pollution problems found in the water sources studied are generated as a consequence of the development of human activities, therefore strategic interventions are required to counteract the negative impacts on water resources.

ÍNDICE

RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	3
Introducción	3
Agua potable.....	4
Fuentes de abastecimiento de agua.....	4
Fuentes de abastecimiento superficiales	4
Fuentes de abastecimiento subterráneas	4
Sistema de abastecimiento público de agua.....	4
Calidad natural.....	4
Contaminación del agua	5
Sedimentos.....	5
Salinidad	6
Índices de calidad de las aguas (ICA)	6
CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO- GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y PARTICULARES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	9
1.1. Introducción.....	9
1.2. Ubicación geográfica del área de estudio.....	9
1.3. Características socioeconómicas regionales y locales.....	10
1.4. Hidrografía.....	10

Tesis presentada en opción al Título de Ingeniera Geóloga

1.5. Clima	13
1.6. Precipitaciones	14
1.6.2. Humedad y evaporación	15
1.6.3. Vientos.....	15
1.7. Geomorfología regional	15
1.8. Geología regional y local	17
2.0. Vegetación	19
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....	20
2.1. Introducción.....	20
2.2. Etapa preliminar	21
2.3. Etapa de campo, muestreo y laboratorio	33
2.3.1. Levantamiento hidrogeológico a escala 1: 50 000	33
2.3.2. Muestreo hidroquímico	34
2.4. Técnica empleada para las tomas de muestras de agua en los puntos muestreados	45
2.5. Análisis en el laboratorio	47
2.6. Procesamiento y análisis de la información	48
CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE ABASTECIMIENTO DEL POBLADO YAMANIGÜEY.....	56
3.1. Aspectos generales.....	56
3.2. Influencia del terreno geológico en la composición química de las aguas ..	57
3.3. Estado higiénico sanitario de las fuentes de abastecimiento de agua	59
3.4. Evaluación y clasificación de las aguas de abastecimiento por su composición química y propiedades físicas.	62

Tesis presentada en opción al Título de Ingeniera Geóloga

3.4.1. Clasificación de las aguas por su composición química según Aliokin .	66
3.4.2. Clasificación de las aguas por su mineralización según Aliokin	67
3.4.3. Clasificación de las aguas por el pH según E.B Pasoxov	68
3.4.4. Clasificación de las aguas por su dureza total según Aliokin.....	69
3.4.5. Dureza Total (como carbonato de calcio, mg/L)	70
3.4.6. Salinidad (%)	71
3.4.7. Clasificación de las aguas por su grado de contaminación salina según Simpson.....	71
3.4.8. Clasificación de las aguas por el Índice de Salinidad Marina (ISM).....	72
3.4.9. Temperatura (°C)	73
3.4.10. Conductividad (µs/cm)	74
3.4.11. Alcalinidad (mg/L)	75
3.4.12. Color (Pt/Co), Turbidez (NTU) y Sólidos en Suspensión (mg/L).....	75
3.4.13. Sólidos Totales Disueltos (STD, mg/L)	76
3.5. Evaluación de los resultados de los análisis bacteriológicos	77
3.6. Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento a través del Índices de calidad del Agua (ICA).....	79
3.7. Plan de medidas para el control y mitigación de contaminación de las aguas en el poblado Yamanigüey.....	83
Conclusiones.....	86
Recomendaciones.....	87
Bibliografía	88

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural indispensable para la vida, constituyendo una necesidad primordial para la salud, por ello debe considerarse como uno de los derechos humanos básicos. En las sociedades actuales el agua se ha convertido en un bien muypreciado, debido a la escasez, es un sustento de la vida y además el desarrollo económico está subordinado a la disponibilidad de agua.

La composición química, propiedades físicas y bacteriológicas de las aguas es fundamental para utilizarlas como fuente de abastecimiento para consumo humano y animal, para irrigación, para la industria y otros propósitos. El progresivo deterioro de las mismas debido a influencias naturales y antrópicas hace necesario evaluar y cuantificar estos daños, esto es posible y sencillo a través de la aplicación de los índices de calidad de las aguas (ICA) los cuales son un número simple que expresa la calidad del agua por la integración de las medidas de las variables que se evalúen, es decir variables físicas, químicas y bacteriológicas, las cuales varían en dependencia del autor del ICA que se utilice.

En los últimos años debido al acelerado desarrollo industrial, el aumento demográfico y los cambios climáticos junto a las consecuencias que los mismos generan sobre la afectación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, cada vez más comienza a ser una gran preocupación la conservación y protección de los mismos a escala internacional y nacional, es por ello que en nuestro país se implementa la Tarea Vida como Plan del Estado para el enfrentamiento al cambio climático, que ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de las aguas, para así detectar variaciones y dar la alerta anticipada de cambios en su calidad, tal y como se plantea en las tareas 9 y 10 del citado Plan del Estado.

Tesis presentada en opción al Título de Ingeniera Geóloga

En el asentamiento Yamanigüey antiguamente los pobladores se abastecían con las aguas de pozos criollos, en diciembre de 2013 como parte de las acciones de la Revolución se mejoran varias unidades de servicio a la población en la localidad, incluyendo la instalación allí de un nuevo sistema de acueducto, del cual los pobladores se abastecen actualmente, pero no han renunciado completamente a la utilización de las aguas de los antiguos pozos criollos. En algunas viviendas actualmente se abastecen a través de una turbina y un tanque elevado, de las aguas de los pozos y poco utilizan las aguas del sistema de distribución. Las otras viviendas que no cuentan con estas instalaciones, en caso de déficit en la red de distribución ya sea por problemas de diferentes génesis, se ven en la necesidad de utilizar esas aguas para el consumo. A esto se le suma que la mayoría de los pobladores refieren que el servicio de agua por tuberías es caro, y en aras del ahorro recurren al uso de las aguas subterráneas. El cuadro se torna aún más alarmante si sumamos la poca cultura existente en el área acerca de la calidad del agua de consumo, o las enfermedades asociadas al consumo de aguas no aptas para estos fines.

Por tal motivo surge la siguiente investigación titulada: “**Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey**”. Que a su vez se traza como **problema científico** la necesidad de evaluar la calidad de las fuentes de abastecimiento de agua en el poblado Yamanigüey.

Objeto de estudio: aguas de abastecimiento del poblado de Yamanigüey.

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

Objetivo general: evaluar la calidad de las fuentes de abastecimiento de agua en el poblado de Yamanigüey, que permita definir el estado actual de las mismas y tomar medidas para su conservación.

Hipótesis: si se evalúa la calidad de las fuentes de abastecimiento de agua en el poblado de Yamanigüey, se puede definir el estado actual de las mismas y tomar acciones de control y mitigación de la contaminación, garantizando un suministro de agua segura a la población.

Objetivos específicos:

1. Determinar el estado higiénico sanitario de las fuentes de abastecimiento de agua del poblado Yamanigüey.
2. Evaluar las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas según Normas Cubanas y Norma de la Organización Mundial de la Salud.
3. Evaluar y analizar la calidad de las aguas utilizando la metodología del índice de Calidad de las Aguas de Montoya (ICA).
4. Proponer medidas para prevenir y mitigar la contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua.
- 5.

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Introducción

Para lograr una investigación exitosa, es necesario conocer los trabajos realizados en el mundo sobre esta temática, la recopilación de la mayor cantidad de información sobre los estudios más relevantes desarrollados, hipótesis y metodologías establecidas en los últimos años, que permitan actualizar la temática con el objetivo de alcanzar mejores resultados y de conocer aspectos generales sobre los estudios de evaluación de la calidad de las aguas a través de los ICA. Para ello es necesario establecer una serie de definiciones indispensables para realizar estudios sobre calidad y contaminación de aguas.

Agua potable

Agua que no ofrezca peligro para la salud humana por sus características químicas, físicas, biológicas y radiológicas al ser usada como bebida, en la preparación de alimentos, aseo personal y otras actividades que impliquen el contacto directo del agua con los seres humanos. (Norma Cubana, 2012)

Fuentes de abastecimiento de agua

Todas las corrientes superficiales, lagos y embalses, así como las aguas subterráneas, que son utilizadas para el suministro de agua de consumo humano o para la elaboración de alimentos. (Norma Cubana, 2014)

Fuentes de abastecimiento superficiales

Agua provenientes de ríos, arroyos, lagos y embalses, y en general, las aguas situadas sobre la corteza terrestre, en contacto con la atmósfera.

Fuentes de abastecimiento subterráneas

Aguas provenientes de los mantos subterráneos, tanto libres como confinados.

Sistema de abastecimiento público de agua

Conjunto de obras destinadas a la captación, conducción, tratamiento y distribución de agua potable a un grupo de población mínimo de 200 habitantes. No incluye los abastecimientos individuales. (Norma Cubana, 1985)

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)

Contaminación del agua

Se define la contaminación del agua como el vertido en ella de productos diversos, de modo que el agua adquiere unas propiedades tóxicas para los seres que en ella habitan, y se convierte en no apta para el uso a la que la destina el hombre. Generalmente el agua se contamina debido a las actividades humanas. (Fernández Rodríguez, 2003)

Los agentes contaminantes del agua son del tipo biológico, químico y físico. Los contaminantes biológicos corresponden a desechos orgánicos, tales como la materia fecal y restos de alimentos, estos llegan a los ríos, lagos o mares a través de los alcantarillados de las ciudades, poseen la propiedad de fermentar, es decir, se descomponen utilizando el oxígeno disuelto del agua, estos desechos orgánicos de tipo biológico son de tipo biodegradables.

Los contaminantes químicos son compuestos químicos, orgánicos e inorgánicos, que llegan al agua proveniente de las actividades domésticas, industriales y agropecuarias, están formados por hidrocarburos derivados del petróleo, plaguicidas, aceites, detergentes, no suelen ser biodegradables por lo que permanecen en el agua mucho tiempo después de su vertido.

Los contaminantes físicos también están formados por vertidos de líquidos calientes y sustancias radioactivas provenientes de hospitales, laboratorios y centrales nucleares.

Sedimentos

Se denominan a las partículas de suelo o sólidos de basura que se acumulan en el fondo de depósitos o corrientes de agua. Si los sedimentos acarrean sustancias

tóxicas, pueden producir, a través de las cadenas alimentarias, la muerte de organismos acuáticos.

Salinidad

Salinización no es más que la acumulación excesiva de sales, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y nitratos de sodio, potasio, calcio y magnesio en aguas y suelos, provocando el deterioro de esos recursos naturales.

Índices de calidad de las aguas (ICA)

La aplicación de los ICA, resume y simplifica, en un único valor numérico, el cúmulo de información disponible sobre la calidad del agua. Estos índices facilitan el manejo de datos, evitan que las fluctuaciones en las mediciones invisibilicen las tendencias ambientales y permiten comunicar, en forma simple y veraz, la condición del agua para un uso deseado o efectuar comparaciones temporales y espaciales entre cuerpos de agua. Por lo tanto, resultan útiles o accesibles para las autoridades políticas y el público en general (Pérez Castillo & Rodríguez, 2008a).

En términos simples, un ICA es un número único que expresa la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua y su uso es cada vez más popular para identificar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua (Torres, Hernán Cruz, & Janeth Patiño, 2009).

Actualmente los ICA tienen alta aceptabilidad dentro de las investigaciones hídricas ya sea para estudios de aguas subterráneas como superficiales, diversos autores utilizan los ICA como parámetro fundamental para el desarrollo de sus trabajos de investigación, pero 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 en el mundo ya que 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. Los países con más utilización los ICA en estudios hídrico son: Estados Unidos, Canadá, México, Colombia, Brasil, Europa, países de Centro América y otros. En Cuba la aplicación de los ICA es minoritaria con respecto a la utilización que tienen en otros países como los anteriormente mencionados.

Las variables más utilizadas para la determinación de los Índices de Calidad del Agua son: Oxígenos Disueltos, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Nitratos, Fosfatos, diferencia de Temperatura, Sólidos Totales Disueltos, Sólidos Suspendidos, Turbidez, Detergentes, Alcalinidad, Conductividad y Color. Algunos de sus conceptos se citan a continuación:

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. (De Miguel Fernández, 2012).

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

Color: el color no se puede atribuir a ningún constituyente en exclusivo, aunque en ciertos colores en aguas naturales son indicativos de la presencia de determinados contaminantes. La coloración del agua natural no contaminada está causada principalmente por la presencia de sustancias húmicas que le proporcionan al agua el color amarillo; compuestos de hierro le dan color rojizo así como tonalidades oscuras (negras) son debidas a la presencia de manganeso. (De Miguel Fernández, 2012).

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

Coliformes totales: bacilos Gram negativos, aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, oxidasa negativos, capaces de crecer en presencia de sales biliares o agentes tensoactivos que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a $35,0\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ de 24 a 48 horas y que pueden presentar actividad de la enzima β -galactosidasa. La mayoría de las bacterias del grupo coliforme son de los géneros Escherichia, Citrobacter, Klebsiella y Enterobacter pertenecientes a la familia Enterobacteriaceae.(Norma Cubana, 2012).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): es un parámetro que mide la cantidad de dióxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida. Es la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión.

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

1.1. Introducción

En el presente capítulo se describen los principales rasgos geomorfológicos, tectónicos, hidrogeológicos, climáticos y geológicos del sector analizado así como también las características de la vegetación y la economía, lo cual permitirá tener una panorámica general acerca del marco teórico de la investigación y el área de estudio.

1.2. Ubicación geográfica del área de estudio

El poblado Yamanigüey se encuentra situado al este del municipio de Moa, a una distancia de 26 km, con una extensión territorial de 8,2 km², limita al norte con el Océano Atlántico, al sur con el río Yamanigüey, al este con el municipio con el océano Atlántico y al oeste con el consejo popular Punta Gorda.

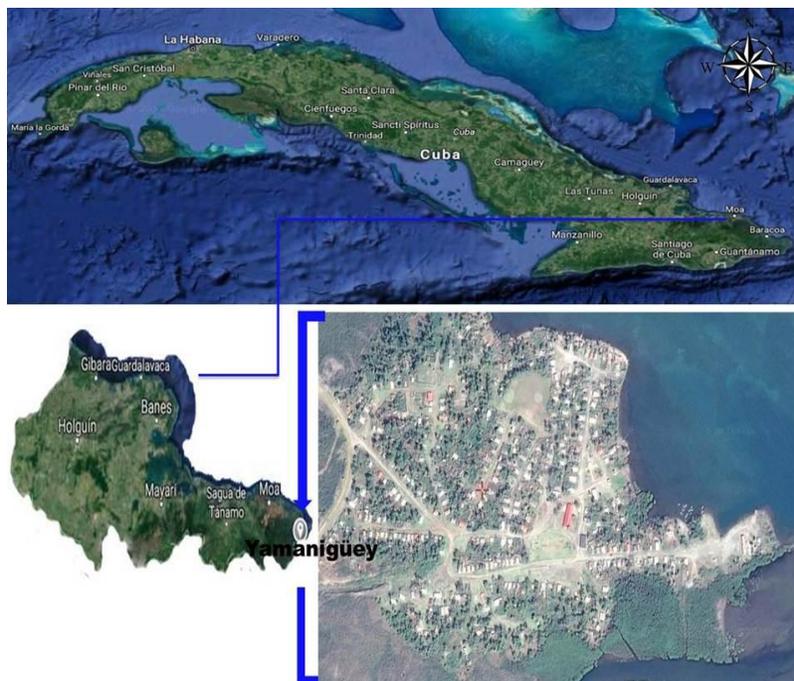


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

1.3. Características socioeconómicas regionales y locales

El municipio Moa se caracteriza por la presencia de extensas cortezas de meteorización, lo que ha permitido el desarrollo de la minería y metalurgia en la región y por ende su desarrollo económico, social y cultural. En 1963 se crea el municipio de Moa perteneciente a la región minera de la provincia de Oriente y en 1976 por división política administrativa, pasa a la provincia de Holguín. Hoy, Moa cuenta con varios centros de enseñanza, hospitales, hoteles, un aeropuerto y otras instalaciones que favorecen el desarrollo económico, social y cultural en el municipio. Cuenta además con las plantas procesadoras de níquel Comandante Pedro Sotto Alba y Ernesto Che Guevara. La ciudad y las instalaciones mineras son visitadas por intereses económicos, solo algunos espacios son utilizados para fines turísticos y ecológicos.

El poblado de Yamanigüey cuenta con una población de 2 394 habitantes (“Yamanigüey - EcuRed,” 2018). La localidad cuenta con las siguientes instalaciones sociales con dos consultorios médicos, una escuela primaria, un sector de la Policía Nacional Revolucionaria, una farmacia, una tienda de abastecimiento, un puesto de Tienda Recaudadora de Divisa (TRD), una cafetería, una panadería, una base de pesca y un puesto de correos de Cuba.

1.4. Hidrografía

La abundancia de precipitaciones, combinada con el relieve y las características del clima, favorece la existencia de una red hidrográfica bien desarrollada, fundamentalmente del tipo dendrítica, que corre de sur a norte, aunque en algunos casos se observa la red subparalela. Está representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se destacan: Yamanigüey, El Medio, Semillero, Quesigua, Cayo Guam, Punta Gorda, Yagrumaje, Moa, Cabañas, y Aserrío (ver Figura 2), los cuales son de carácter permanente, drenando en el mismo sentido que presenta la red. Estos ríos desembocan en la bahía de Moa, formando deltas cubiertos de

Capítulo I: Características Físico - Geográficas, Geológicas regionales y particulares del área de estudio

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 teniendo como origen las zonas montañosas del grupo Sagua - Baracoa. Los mismos sobrepasan los 1.5 m/s de velocidad y los gastos oscilan entre 100 y 200 L/s algunos pueden tener gastos inferiores. 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 (Viltres Milán, 2011).

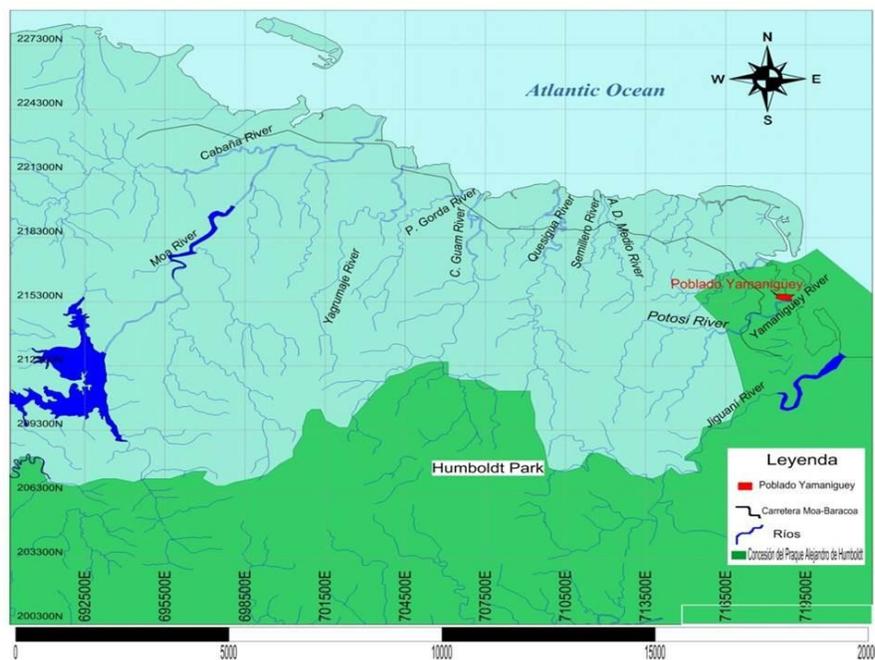


Figura 2. Mapa de red fluvial.

De acuerdo a la extensión superficial de las cuencas hidrográficas los ríos más importantes son el río Moa, con un área de 156 km² y los ríos Cayo Guam, Cabañas, Quesigua, Yagrumaje, Yamanigüey y Punta Gorda con cuencas hidrográficas muy inferiores, pues ninguna supera los 100 km².

Capítulo I: Características Físico - Geográficas, Geológicas regionales y particulares del área de estudio

Debido al régimen de precipitaciones, particularidades hidrogeológicas regionales, características de las rocas acuíferas y parámetros hidrogeológicos existentes en el territorio, se considera como una zona de elevada complejidad hidrogeológica. Se ha establecido la existencia de cinco complejos acuíferos fundamentales, a partir de la caracterización del tipo de rocas presentes y de su capacidad para el almacenamiento de aguas subterráneas (Viltres Milán, 2011), los mismos son descritos a continuación:

Complejo acuífero de las ofiolitas: se extiende en dirección noroeste-sudeste, al oeste del río Moa. Litológicamente se encuentra constituido por serpentinitas alteradas, peridotitas serpentinizadas y piroxenitas. La capacidad acuífera ha sido poco estudiada; su profundidad de yacencia es de 1.3 – 12 metros. El coeficiente de filtración (K) oscila entre 1 - 14.7 m/día, el gasto de aforo (Q) entre 1.2 – 4 L/s.

Complejo acuífero de los sedimentos costeros: se extiende por casi todo el norte del área, formando una franja estrecha que presenta dimensiones de 1 - 2 Km. de ancho. El relieve es costero con cotas de 0 - 2m sobre el nivel del mar; su edad se corresponde con el Cuaternario. Su composición litológica integrada por depósitos arcillosos contiene fragmentos angulosos de composición múltiple. Las rocas acuíferas se asocian a calizas organógenas, en menor escala sedimentos no consolidados, así como, depósitos arcillo - arenosos con fragmentos angulosos de composición variada. Predominan aguas cársticas y de grietas, y en algunos casos intersticiales. Por lo general tienen interrelación hidráulica con el agua de mar. A una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m yace el nivel freático. El coeficiente de filtración (K) de estas rocas alcanza valores hasta los 268.4 m/días, el gasto (Q) es aproximadamente de 14 L/s.

Complejo acuífero de los sedimentos aluviales: se extiende en dirección norte-sur formando una franja ancha en su parte inferior, y estrecha en la superior, ocupando prácticamente la totalidad de las terrazas de los ríos más importantes,

Capítulo I: Características Físico - Geográficas, Geológicas regionales y particulares del área de estudio

así como, los valles de sus afluentes. Constituido por gravas, arenas, cantos rodados y arenas arcillosas, con 15 m de potencia aproximadamente, estos sedimentos son de edad cuaternaria y se caracterizan por su alta capacidad para el almacenamiento de agua. El coeficiente de filtración (K) varía de 13 - 290 m/días, mientras que su gasto de aforo (Q) oscila entre 2 - 57 L/s. Estas aguas yacen a una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m.

Complejo acuífero de las lateritas: se extiende por casi toda la zona de Moa ocupando gran parte del área. Su composición litológica se corresponde con potentes cortezas de intemperismo, representando a un acuitado, debido al predominio de aguas capilares y de potencias considerables de lateritas que alcanzan los 30 m, con un marcado desarrollo de procesos de capilaridad, donde los ascensos capilares de las aguas pueden alcanzar alrededor de 20 m. Las precipitaciones atmosféricas son la fuente principal de alimentación de estas aguas.

Complejo acuífero de los sedimentos terrígenos – carbonatados: aparece este complejo sólo en una pequeña porción al norte del poblado de Cañete. Constituido geológicamente por margas estratificadas, calizas compactas, depósitos brechosos de carácter tanto tectónico como sedimentarios, aleurolitas y conglomerados. Las rocas acuíferas se corresponden con los conglomerados brechosos y las calizas, y en menor medida, las margas estratificadas.

1.5. Clima

El clima es tropical húmedo y 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, así como los vientos gravitacionales que descienden siguiendo el curso de los ríos.

Capítulo I: Características Físico - Geográficas, Geológicas regionales y particulares del área de estudio

La temperatura promedio en Yamanigüey es 26.0 °C. Las temperaturas son más altas en promedio en agosto, alrededor de 28.1 °C. Las temperaturas medias más bajas del año se producen en febrero, cuando está alrededor de 23.5 °C. La variación en las temperaturas durante todo el año es 4.6 °C.(Climate Data, 2018).

1.6. Precipitaciones

Las precipitaciones poseen un promedio anual entre 2000-2400 mm, siendo unas de las mayores pluviometrías del país. Se identifican dos períodos de lluvia (Mayo-Junio) y (Octubre-Febrero) y dos de sequías (Marzo-Abril) y (Julio-Septiembre) según (Viltres Milán, 2011). Los mayores valores de precipitaciones corresponden con el mes noviembre (754.25 mm) correspondiente al año 2017 y los valores más bajos de precipitaciones lo encontramos en el mes de junio (7.2 mm) en el año 2015.

En la Figura 3 se muestra un promedio de las precipitaciones anuales de los años 2015, 2016, 2017. Tomado de (Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, 2017)

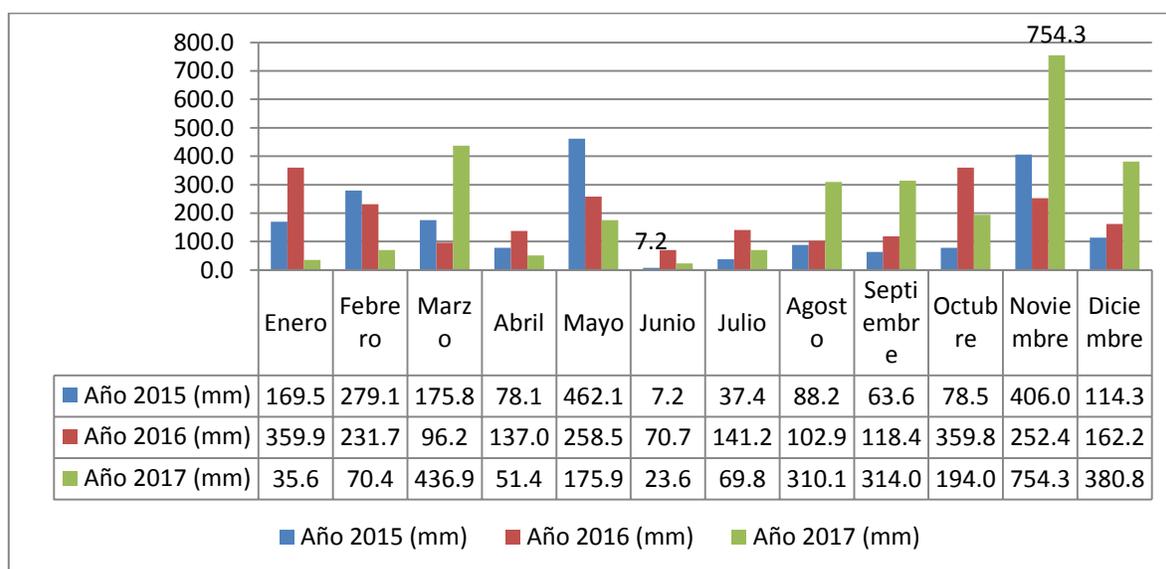


Figura 3. Promedio de precipitaciones mensuales desde el 2015 hasta 2017. Valores tomados del Registro de precipitaciones en pluviómetro ubicado en la subdirección de Minas Ernesto Che Guevara. Años 2015-2016-2017.

1.6.2. Humedad y evaporación

La humedad relativa media anual es de 85%, los meses de mayor humedad son diciembre con un 94%, noviembre con un 86% y octubre con un 90%. Siendo estos tres meses el período de mayor humedad relativa del territorio. La evaporación anual presenta valores entre 2200 - 2400 mm; los meses de julio y agosto son los más secos.

1.6.3. Vientos

Los vientos son de moderada intensidad, en superficie presentan dirección noreste-este fundamentalmente. La distribución de frecuencia anual de la dirección e intensidad del viento durante el año muestra que el sur es la más notable, con un 37.41 %, seguido de los vientos de sentido norte-este con 32.52%, mientras que el resto de las direcciones poseen una frecuencia inferior al 10 %, siendo la dirección oeste la de menor ocurrencia, con un 0.41%.

1.7. Geomorfología regional

Orográficamente el territorio moense se caracteriza por una alta complejidad, predominando el relieve de montaña, hacia la parte este, con cota máxima de 1139 m sobre el nivel del mar (El Toldo) y ondulado hacia el norte, zona correspondiente a la región costera. La zona montañosa se caracteriza por presentar valores de pendientes que pueden sobrepasar los 45 grados y valores máximos de isobasitas de 900 m en el segundo orden y 800 m en el tercero.(Polanco Almaguer, 2012)

En el territorio aparecen diversas formas del relieve, teniendo mayor relevancia la zona de llanuras (ver Figura 4). El área de estudio se encuentra enmarcada en las zonas geomorfológicas de llanuras fluviales acumulativas, en las cuales los sedimentos que se acumulan en estas zonas se caracterizan por su carácter temporal y su composición limonítica según (Rodríguez Infante, 2005).

Capítulo I: Características Físico - Geográficas, Geológicas regionales y particulares del área de estudio

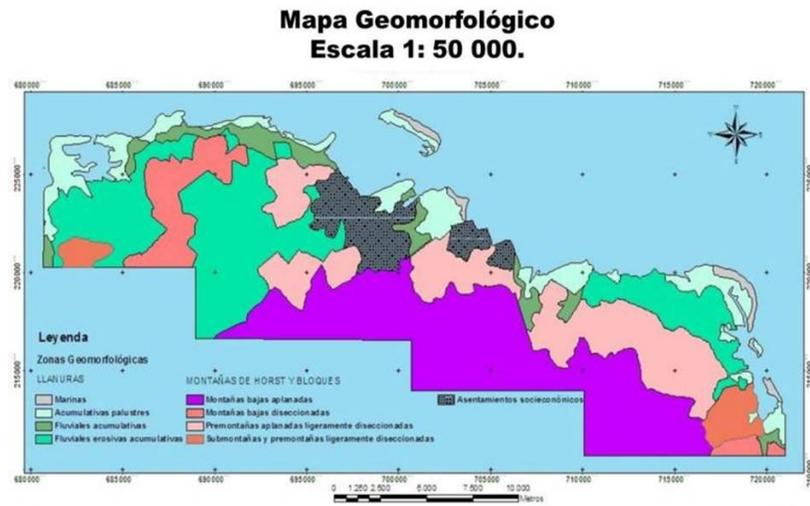


Figura 4. Mapa geomorfológico de Moa .Tomado de (Polanco Almaguer, 2012).

El área de estudio se sitúa en el Bloque Cupey, el cual se ubica en el extremo oriental de Moa. Este bloque aparece subdividido en cinco sub-bloques a través de las fallas El Medio, Cupey y Jiguaní con comportamientos diferenciados en los valores morfométricos. (Rodríguez Infante, 2007). Este bloque presenta alta intensidad relativa de levantamiento según el mapa de bloques morfotectónicos del municipio Moa (ver Figura 5).

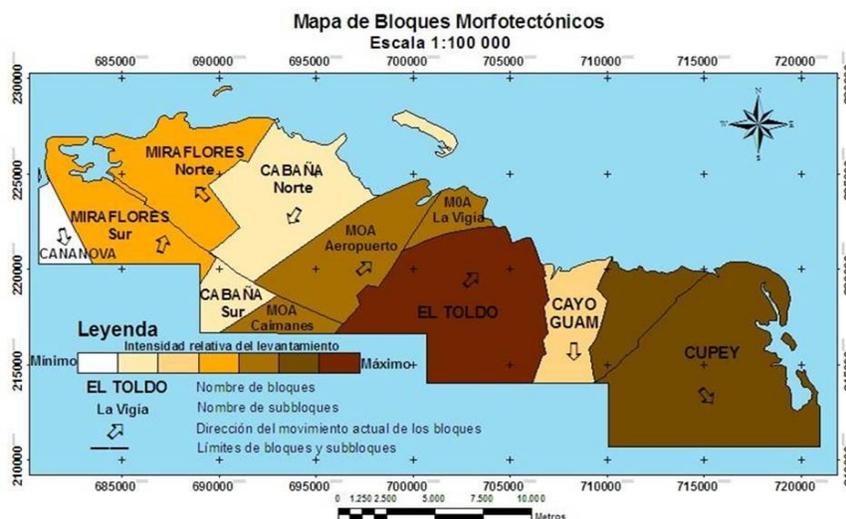


Figura 5. Mapa de Bloques Morfotectónicos del municipio Moa. Tomado de (Polanco Almaguer, 2012).

1.8. Geología regional y local

El municipio Moa se encuentra ubicado en el complejo ofiolítico Mayarí-Baracoa, el cual se localiza en el extremo oriental de la Isla de Cuba. En este macizo se pueden distinguir diferentes mantos de cabalgamiento, en los que se aprecian espejos de fricción y escamas tectónicas de diferentes espesores (ver Figura 6).

La geología del sector este del municipio Moa se describe según la información del esquema geológico, escala original 1:100000, (ver Figura 6).

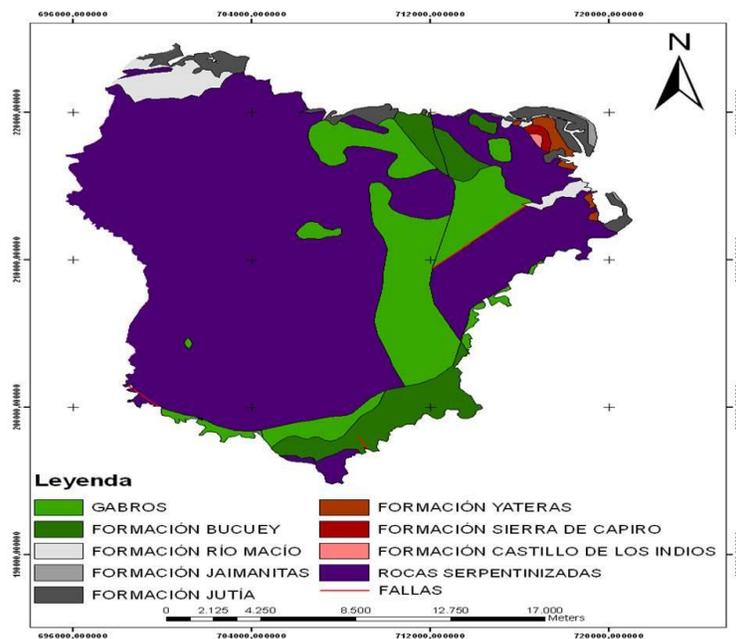


Figura 6. Esquema geológico del sector este de Moa. Escala Original 1:100 000. Tomado de (Viltres Milán, 2011).

Formación Jutía (Pleistoceno-Holoceno): depósitos de pantanos, de mangles, limos, limos arenosos.

Formación Jaimanitas (Pleistoceno Superior): constituida por calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas conteniendo principalmente conchas bien preservadas y corales de especies actuales y ocasionalmente biohermos. Las bolsas cársicas se encuentran rellenas por una

Capítulo I: Características Físico - Geográficas, Geológicas regionales y particulares del área de estudio

fina mezcla carbonato arcillosa ferruginosa de color rojo ladrillo. Pasan a calcarenitas masivas o finamente estratificadas y a veces contienen intercalaciones de margas. La cementación es variable. La coloración predominante es blancuzca o amarillenta.

Formación Yateras (Oligoceno Inferior - Mioceno Inferior parte baja): alternancia de calizas biodetríticas y detríticas, y calizas biógenas de grano fino a grueso, estratificación fina a gruesa o masivas, duras, de porosidad variable, a veces aporcelanadas que frecuentemente contienen grandes *Lepidocyclinas*.

Formación Sierra de Capiro (Eoceno Superior): constituida por areniscas, aleurolitas y margas bien estratificadas con intercalaciones de conglomerados finos compuestos por cantos de serpentinitas, calizas arrecifales, cristaloclastos de piroxenos y cuarzo y rocas volcánicas. Hacia la base de la formación se localizan olistostromas de bloques de serpentinitas muy alteradas y diabasas. En muchos lugares se observa una clara gradación de conglomerados y areniscas.

Formación Castillo de los Indios (Eoceno Inferior - Medio): constituida por margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, limolitas y tobas.

Formación Bucuey (Cretácico): constituida por Tobas y lavobrechas, tufitas, argilitas, limolitas, lavas, conglomerados y calizas.

Gabros del Complejo Ofiolítico: los cuerpos de gabros forman grandes bloques y diques incluidos en el macizo ofiolítico, cuyos contactos con los otros tipos litológicos son generalmente tectónicos, las dimensiones de los cuerpos de gabros varían de uno a tres kilómetros de ancho y de 10 a 15 kilómetros de longitud. Se estima que presentan un espesor medio de 500 metros. Muchas veces los cuerpos de gabros están cubiertos por las rocas ultramáficas fundamentalmente peridotitas.

Capítulo I: Características Físico - Geográficas, Geológicas regionales y particulares del área de estudio

En el sector de Yamanigüey afloran las siguientes litologías:

Rocas Serpentinizadas del Complejo Ofiolítico: constituidas por harzburgitas y peridotitas. Se han datado con una edad de Jurásico-Cretácico Temprano. Se considera que estas rocas serpentinizadas poseen un espesor superior a los 1000 metros, se presentan en forma de escamas tectónicas muy fracturadas.

Depósitos del Cuaternario Río Macío (Holoceno): está integrada por materiales aluviales de las terrazas de los ríos Moa, Cabañas y Cayo Guam, aparecen ocho capas de estrato. Está formada por sedimentos arenosos, areno-arcillosos y conglomerados, estos últimos conforman fragmentos de rocas ultramáficas serpentinizadas (peridotitas y harzburgitas). Mineralógicamente se pueden describir por la presencia de óxido e hidróxido de hierro y aluminio. Los minerales de hierro son hematita, goethita, magnetita, y de aluminio principalmente gibbsita. Las arcillas están representadas por montmorillonita.

2.0. Vegetación

El municipio forma parte del sistema montañoso Moa – Baracoa, este representa la zona de mayor biodiversidad del país con un 68% de especies autóctonas. La vegetación de Moa, ubica su zona más exuberante hacia la franja montañosa, de 363 kilómetros cuadrados, buena parte del Parque Nacional Alejandro de Humboldt, Área Protegida y Patrimonio de la Humanidad. Entre los bosques húmedos se destacan: Ocuje, Copey, Júcaro amarillo, Yagruma, Palma maracaná y Pujúa. Los bosques de la zona en su mayoría naturales, donde crecen pinos y carrascales. Mientras que otros lugares han sido reforestadas y sembradas con coníferas y latófilas como: Caoba, Cedro, Majagua, Ocuje, Eucalipto y otras. Los pinares de Moa son los de mayor endemismo en Cuba (70%), están formados principalmente por el Pino de Mayarí o de Moa (*Pinus cubensis*), la *Dracena cubensis*, la Palma miraguano, Jazmín de sabana y otras.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

2.1. Introducción

El presente capítulo, contiene la metodología empleada para el estudio hidrogeológico de la región de trabajo y dar cumplimiento a los objetivos que en el mismo se expresan, para lograr que se realice con la calidad requerida la evaluación física, química y bacteriológica de las aguas en el poblado de Yamanigüey, para esto se dividió el trabajo en tres etapas fundamentales:

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

Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento de agua en el poblado Yamanigüey.



Figura 7. Flujograma de la investigación.

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos se trazaron varias tareas, las cuales fueron cumplidas satisfactoriamente. A continuación, se describen las tres etapas de trabajo.

2.2. Etapa preliminar

Durante esta primera etapa de la investigación, se realizó una búsqueda de información bibliográfica, través de la revisión de una serie de artículos científicos, trabajos de diploma, tesis de maestría y otros documentos con el objetivo de obtener la mayor cantidad de información posible sobre estudios realizados en el área. Además se consultó bibliografía actualizada sobre metodologías utilizadas en Cuba y en el mundo sobre el empleo de índices de calidad de aguas subterráneas y superficiales, lo que permitió de forma más acertada conocer las vías más idóneas para la realización de la investigación.

Dentro de las investigaciones internacionales se destacan una serie de trabajos encaminados a la aplicación de diferentes ICAS, que a continuación serán abordados.

(Truque B, 2003) este documento fue preparado con la intención de proponer una armonización de las políticas existentes en los países del continente americano, acerca de la calidad del agua potable que los seres humanos consumen. La calidad del agua potable es de suma importancia para la salud, por lo cual la mayoría de los países tienen legislaciones internas que están relacionadas con las aguas de consumo humano. Estas normas sirven para determinar la responsabilidad de los distintos sectores involucrados en la producción y distribución del agua potable.

(Cardona, 2003) este estudio fue realizado para analizar la calidad y riesgo de la contaminación del agua en la microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras, durante los meses de mayo a junio se realizaron dos muestreos, en época seca y lluviosa, en los cuales, nitratos, fosfatos, coliformes totales y fecales,

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

temperatura, pH, turbidez, sólidos suspendidos, disueltos y totales, fueron medidos y posteriormente ajustados a un Índice de Calidad de Agua (ICA). También se determinaron indicadores de deterioro de la calidad del agua, tales como: Índice de Contaminación Agroquímica (IPCAS), Índice de Contaminación Poblacional (ICP) e Índice de Vulnerabilidad Institucional (IVIS). A través del empleo de estos índices se llegó a la conclusión que en la microcuenca del río La Soledad se evidencia un proceso gradual de deterioro de la calidad del agua, acorde a las actividades antrópicas realizadas, tal, que un marginamiento social en el acceso a agua para consumo está ocurriendo y no por limitaciones.

(Deloya Martínez, 2006) en el artículo se expone sobre los métodos de análisis, los cuales son un factor importante en la caracterización de aguas residuales y en el control de efluentes de sistemas de tratamiento de aguas. Se resumen algunas técnicas simples para el análisis de aguas residuales con el propósito de brindar algunos métodos sencillos para determinar: turbiedad, color, sólidos, oxígeno disuelto, DQO, nitrógeno amoniacal y fosfatos, entre otros.

(Samboni Ruiz, Carvajal Escobar, & Escobar, 2007) en este artículo se presenta una revisión de los indicadores ICA e ICO más utilizados en algunos países de América y Europa, así como su diseño e interpretación, que se basan en parámetros físico, químicos para su evaluación. Las variables que más se tienen en cuenta en este proceso son: pH, oxígeno disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), una forma de nitrógeno, fosfatos y sólidos totales (ST). Por lo tanto su uso no puede ser generalizado ya que se podría terminar realizando juicios subjetivos, además bajo un solo indicador no se puede evaluar la dinámica de un sistema, por lo que es importante también el estudio de cada variable individualmente.

(Pérez Castillo & Rodríguez, 2008b) proponen un ICAGL, un índice de calidad del agua físico, química de humedales (WWQI), para ser utilizado como una herramienta de gestión para las lagunas de inundación estacional en el Parque

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

Nacional Palo verde, Guanacaste, Costa Rica. El objetivo es preservar su papel natural para las plantas nativas, así como para los migrantes y las especies animales locales. El índice incluye los siguientes parámetros: porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, pH, concentración de nitrato, concentración total de fósforo, demanda química de oxígeno, concentración de sólidos suspendidos, conductividad eléctrica y temperatura. Los valores de ajuste se basaron en los "pesos" definidos en el Índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF). Estos pesos o ponderaciones juegan un papel fundamental a la hora del cálculo de los diferentes ICA.

(Nava Ramírez, 2008) en este artículo, la autora expone criterios sobre la importancia y aplicabilidad de los ICA, por ejemplo prevenir y evaluar, corregir y controlar, en el origen, factores relacionados con recursos hídricos que afectan o pueden afectar la salud de la población y el equilibrio del ecosistema, determina la posibilidad de uso y evaluar las tendencias de la calidad del agua, tanto a nivel nacional, como por regiones o localidades.

(Torres Vega, 2009) en este trabajo se presenta la elaboración de un Índice de Calidad de Agua (ICA) para los ríos en Puerto Rico, dicho índice pretende clasificar en una escala de 0 a 100 la calidad representativa del agua, según los constituyentes evaluados y esto, a su vez, posibilita la calificación del agua conforme a su estado como bueno, moderado, promedio, alerta o pobre. El ICA desarrollado considera once constituyentes: coliformes fecales, pH, DBO 5 días, oxígeno disuelto, nitratos, fósforo total, nitrógeno de amonio, sedimentos suspendidos, mercurio, plomo y temperatura, los cuales fueron determinados mediante la evaluación de un grupo de expertos en la calidad de agua.

(T. Brady, 2009) este informe de consenso, proporciona recomendaciones para la inspección, exámenes y reparación de pozos que proporcionan agua de beber a los niños ya que en aproximadamente una sexta parte de los hogares estadounidenses el agua de beber se obtiene de pozos particulares. Estos pueden

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

estar contaminados por sustancias químicas o microorganismos patogénicos y provocar enfermedades, las enfermedades de estos niños como consecuencia de la ingestión de agua contaminada pueden ser graves.

(Torres et al., 2009) abordan 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, garantizando el suministro de agua segura. Una herramienta son los índices de calidad de agua ICA; aquellos que consideran las variaciones en el tiempo y en el espacio y además permiten una comparación con la normativa vigente en la zona de estudio.

(Guzman & Narvaez, 2010) realizan un análisis de la calidad del agua que se está usando para riego, es así, que la Secretaría Nacional del Agua de México (SENAGUA); comprometida con la Constitución de la República, en el cumplimiento del buen vivir, implantó el Proyecto Calidad del Agua 001.005; como uno de los objetivos para el año 2010, fue establecer la línea base de monitoreo de calidad del agua para riego en la Demarcación Hidrográfica del Guayas fundamentada en la pirámide de Manejo Integral de la Calidad del Agua (2), y establecer un plan de monitoreo a continuarse por los especialistas de calidad del agua de la demarcación.

(De los Angeles Megía, 2010) realiza una caracterización química y física de las aguas que se utilizaran para el riego en el de parque municipal en Santa Cruz de lo Cábanos (España). Así pues, reunidos todos los datos obtenidos a partir de los distintos índices y normas para la clasificación del agua, se llega a la conclusión de que este agua es buena para riego, utilizable en cualquier suelo y en todo tipo de cultivos.

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

(Carrillo Castro & Villalobos Alcázar, 2010) los mismos explican que con el desarrollo comercial en la zona norte del estado de Veracruz se ha ido incrementando, por lo que la afluencia de empresas nacionales y trasnacionales traen consigo mayor desequilibrio a los principales cuerpos de agua ya que el impacto directo e indirecto es inevitable. Por lo que los autores se proponen el objetivo de calcular el índice de calidad de agua y a partir de ello realizar un análisis estadístico comparativo para conocer el impacto generado por las actividades antropogénicas y con ello dar posibles propuestas de solución. El índice de calidad del agua se determinó por el método propuesto por Brown que es una versión modificada del "WQI" que fue desarrollada por la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU.

(Chiliquina Quinapanta & Donoso Cruz, 2012) el objetivo del trabajo fue caracterizar la calidad del agua de la microcuenca del río Pachanlica en la provincia de Tungurahua, tomando como base la Metodología ICA de Montoya el cual contempla el análisis de 18 parámetros entre físico- químico y bacteriológico. Como resultado de esta investigación el río muestra contaminación con un valor promedio de ICA 40,71. Las causas principales de contaminación de las aguas superficiales de la provincia son descargas de aguas residuales de sus moradores entre descargas domésticas y actividades industriales.

(Soto, 2012) aborda que la Dirección Nacional de Calidad del Agua formuló entre sus objetivos para el año 2011, analizar la calidad del agua en algunas unidades hidrográficas del Ecuador, tales como las Subcuencas de los ríos Santiago, Zamora y Coca. Esta última fue inspeccionada entre los meses de marzo y abril del 2011, determinando las actividades antropogénicas contaminantes y estableciendo los sitios de muestreo donde determinar la calidad de agua, a través del Índices de Calidad del Agua (ICA) establecido por la National Sanitation Fundation (NSF).

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

(Calvo Brenes, 2012) propone nuevas fórmulas de cálculo para la determinación del SI que sean aplicables a Costa Rica y acordes con su legislación, además de una nueva categorización de la calidad del agua que; además; se puede utilizar con cualquier índice que se desee evaluar.

(Aldana Aguilar & Zacarias Laynes, Edison, 2013) proponen un artículo que tiene como objetivo mostrar la variabilidad temporal del recurso hídrico, determinando los índices de calidad del agua e índices de contaminación del río Cucabaj, así como los costos en los que se incurre para su desinfección por medio de hipoclorito de calcio.

(Fernández Parada & Solano Ortega, 2013) presentan un trabajo que resulta de gran interés ya constituye un resumen de los principales índices de calidad y contaminación, usados a nivel mundial. Nuestra investigación se rigió por las fórmulas que este trabajo contiene en sus páginas.

(Rubio Arias et al., 2014) aplican un ICA en la presa La Boquilla, en Chihuahua, México. Determinaron como propiedades físicas y químicas de las aguas pH, cloruros, dureza total y turbidez. Concluyen que el agua de la presa se puede considerar adecuada para la producción agrícola, uso pecuario y producción piscícola.

(Sucoshañay Villalba, Gutiérrez Hernández, García Rivero, Ledesma Acosta, & Mira Vásquez, 2015) realizaron una investigación en la cuenca del río Puyo localizada en la amazonia ecuatoriana, donde se asienta la capital provincial (Puyo), la contaminación está afectando a sus principales sistemas fluviales. Se seleccionaron catorce puntos de monitoreo, divididos en la corriente principal y principales tributarios, en los cuales fueron determinados cinco parámetros de calidad de agua: pH, Conductividad eléctrica, Oxígeno Disuelto, DBO y Coliformes fecales, y se aplicó el ICA sp. Los resultados muestran que ocho puntos monitoreados se clasifican medianamente contaminados y dos contaminados, de

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

los cuales uno de ellos es un balneario turístico importante en el territorio y localizado en un tributario principal. En el territorio se concluye que la contaminación existente es efecto de las aguas albañales que se disponen directamente en los ríos y sin tratamiento.

(Miravet Sánchez, García Rivero, López Del Castillo, Alayón García, & Salinas Chávez, 2016) investigan los índices de calidad de las aguas superficiales y el basado en la tolerancia de los macro invertebrados, estos arrojaron resultados muy similares caracterizando las aguas desde contaminadas hasta muy contaminadas para todos los puntos de muestreo del río Ariguanabo. 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.

(Pérez Osorio, Arriola Morales, García Lucero, Saldaña Balanco, & Mendoza Hernández, 2016) el estudio se realiza en Los Cuatro Jagüeyes, donde se determinaron propiedades microbiológicas. Se concluyó que el agua del sector presenta importante contaminación microbiológica por huevos de helminto, Fasciola hepática, coliformes fecales (180 UFC) y totales (475 UFC), lo que representa un riesgo a la salud de la flora y fauna; así como gran cantidad de sólidos sedimentables y suspendidos.

(Atkins, Calderon, Montoya, & Morales, n.d.) en este reporte se describen los objetivos, métodos, resultados y conclusiones de un programa de monitoreo participativo para evaluar la calidad de agua en los alrededores del Distrito Minero de Yanacocha.

En Cuba el estudio de la calidad de las aguas y la aplicación de índices de Calidad de las Aguas, en estos últimos años se ha fomentado, aplicándose para el estudio de aguas subterráneas y superficiales, destacándose entre ellos:

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

(Fernández-Miguel & Vázquez-Taset, 2006) donde se exponen los principales factores de origen antrópico, geológico y climático que pueden originar contaminación por nitratos (NO_3) y nitritos (NO_2) y que más influyen en las condiciones de Cuba. Se analiza la contaminación por estos compuestos nitrogenados en territorios del Sur del Valle del Cauto y la provincia Holguín, así como en territorios de otros países. Se concluye que en las condiciones de Cuba, la contaminación por nitratos y nitritos puede considerarse alarmante, atendiendo al grado de desarrollo actual y a su posible incidencia sobre la salud de la población, esto último evaluado de forma cualitativa. Finalmente se recomiendan varias medidas para detallar las causas principales de la contaminación y como erradicarlas.

(Ruiz et al., 2008) establecen el estado actual de la calidad ambiental de la bahía de Matanzas a través de un estudio realizado en septiembre de 2004 (período lluvioso) en una red de estaciones representativa de toda la bahía. Los problemas de contaminación detectados, están localizados en la parte más interna de la bahía, en particular en las desembocaduras de los ríos San Juan y Yumurí, donde se mantienen los mayores compromisos ambientales, desde el punto de vista sanitarios; tanto respecto a los indicadores físico, químico de calidad de agua, como a los microbiológicos. En sentido general los índices de calidad obtenidos no manifiestan un aumento en el deterioro de la calidad del ecosistema.

(Valcárcel Rojas et al., 2010) presentan la metodología seguida para la modelación de tres parámetros que caracterizan la calidad del agua: demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto y amonio en un tramo del río Luyanó. Durante el trabajo se combinaron acertadamente las técnicas de radio trazadores para estimar los parámetros hidrodinámicos de la corriente del río con las técnicas de análisis físico y químico para determinar sus parámetros básicos. Como resultado se obtuvo un modelo que describe en más del 90% el comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno y del oxígeno disuelto y en más del 65% el

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

comportamiento del amonio, por lo que caracteriza adecuadamente los procesos de autodepuración y el balance de oxígeno en las aguas del río.

(García Hidalgo & Balmaseda Espinosa, 2013) el objetivo de esta investigación fue evaluar la gestión ambiental de la cuenca del río Naranjo a través del Índice simplificado de Gestión de Cuencas (IsGC). Se convocó a 14 expertos para definir el peso de cada variable utilizada. Los valores del IsGC obtenidos para los años 2009-2011, indican que la gestión se clasifica como Media, lo que implica el desarrollo e implementación de estrategias por parte de todos los actores sociales y las comunidades.

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

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

(Dignorach Suárez Malcolm & Lima Pimienta, 2015) determinaron específicamente las características y disponibilidad del agua lluvia acumulada en las cuencas que se encuentran cercanas al vial que rodea el área donde se construirá el campo de golf en Cayo Coco, así como el agua de los efluentes finales de la planta de

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

tratamiento de residuales Flamenco Oeste y de la futura planta en construcción. Se localizaron 10 cuencas hidrográficas.

(Miravet Sánchez et al., 2016) utilizan el índice de calidad de las aguas superficiales y el basado en la tolerancia de los macro invertebrados, los cuales arrojaron resultados muy similares caracterizando las aguas desde contaminadas hasta muy contaminadas para todos los puntos de muestreo del río Ariguanabo. 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.

(Fernández Rodríguez, 2003) muestra los resultados de la evaluación de las principales fuentes de agua de consumo en el municipio de Moa, se evaluaron las principales características físico, químicas para clasificar las aguas según diferentes autores utilizando las normas nacionales e internacionales para agua potable. Determinándose su grado de contaminación por elementos metálicos y elementos nitrogenados, además se realizaron análisis bacteriológicos.

(Laurencio Ricardo, 2005) brinda la posibilidad de conocer la eficacia del proceso de potabilización de las aguas que se realiza en la Planta Potabilizadora de la Empresa Ernesto Che Guevara (ECG). Se realiza una valoración de los diferentes procesos que tienen lugar durante el tratamiento de las aguas: captación, floculación, sedimentación, filtrado, clarificación y desinfección. Se evaluaron las principales características físico, químicas y se clasificaron las aguas según diferentes autores utilizando las normas nacionales e internacionales para agua potable.

(Duran Morales, 2005) presenta una investigación realizada sobre la base de las características físico – químicas de las fuentes de abasto de agua a los asentamientos rurales de Yamanigüey, Cañete, Cupey, Cayo Grande de Yamanigüey, Quemado del Negro, Jucaral, Centeno y Cayo Chiquito. Fueron

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

descritas todas las fuentes de agua incluyendo una valoración del estado higiénico, sanitario de las mismas, los principales tipos litológicos, así como los fenómenos y procesos más trascendentales que están teniendo lugar en el área. Posteriormente se interpretaron los resultados con la ayuda de diferentes clasificaciones y normas empleadas para el agua potable.

(Fernández Rodríguez, 2007) parte de la utilización para el consumo humano de agua subterránea procedente de pozos criollos cuando falla la distribución de agua potable a través de la red hidrológica de los pobladores de los repartos Las Coloradas y La Playa (municipio de Moa). Para conocer los componentes generales, mayoritarios y no deseables se evaluó la calidad física, química y bacteriológica de estas aguas. Los resultados reflejaron la presencia de elementos no deseables, indicadores de contaminación, que sobrepasan los índices establecidos para el consumo humano como agua potable. Los resultados del análisis bacteriológico evidenciaron la presencia de bacilos de colis y coliformes fecales, siendo fundamentalmente su composición fecal lo que determina su estado sanitario. Se concluye que las aguas de los pozos criollos estudiados no responden a los requisitos establecidos en las normas para consumo humano.

(Fernández Fis, 2007) realizaron un trabajo que tuvo como objetivo, evaluar los riesgos por contaminación hídrica y su incidencia en el medioambiente. Se midieron parámetros físicos tales como el pH, la conductividad eléctrica, turbidez y color, elementos químicos mayoritarios: Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3 , HCO_3^- , SO_4^{2-} , CL^- , Na^+ , K^+ , y metales (Ni, Co, Fe^{2+} , Zn, Cr^{6+}). Las muestras estudiadas están caracterizadas por la dureza como aguas blandas hasta aguas muy duras, dulces por mineralización y muy salinizadas a partir de la confluencia con el río Cabaña. Se evaluó la peligrosidad de los diferentes contaminantes y los riesgos a la salud y al medio ambiente, se proponen acciones para la mitigación de la contaminación.

(Puebla Tamayo, 2009) tiene como objetivo fundamental evaluar los contenidos de cloro residual y materia orgánica en aguas de consumo de Moa. Se realizó una

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

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, observando alteraciones en los contenidos (Fe, Materia Orgánica).

(Lobaina Infante, 2009) se comprueba la potabilidad del agua a través de los controles microbiológicos, en el municipio Moa, que se basan en la determinación de los microorganismos cuya presencia indica índice de contaminación y sirven como sistema de alarma. Determinaron el grado de potabilidad e incidencia en la salud de los consumidores en los diferentes centros educacionales del territorio, se muestrearon las cajas de agua y determinaron las propiedades físicas y químicas que sirvieron de base para el estudio.

(Cesar Tello, 2013) realiza el Diagnóstico Ambiental de las UEB Fábrica de Productos Alimenticios y la UEB de Mantenimiento y conocer el estado de la implementación del Sistema de Gestión Ambiental en la Empresa de Servicios a la Unión del Níquel. Se realizó la revisión ambiental inicial de la región en estudio así como sus características geológicas, hidrogeológicas y la ubicación geográfica, en la evaluación y control de la implementación del Sistema de Gestión Ambiental según la metodología del CITMA y realizar un plan de acciones medioambientales preventivas adaptado a las necesidades de la empresa en todas las etapas para la eliminación de las no conformidades existentes en la unidad diagnosticada.

(Rubio Caballero, 2017) realizó un estudio en el poblado de la Melba. Se realizaron estudios físicos químicos de las aguas y bacteriológicos, además de la aplicación del índice de calidad de las aguas de Montoya, 1997. Según los estudios de la calidad del agua estas se clasifican como aguas dulces según su mineralización, por su pH como aguas neutras y ligeramente básicas, por su dureza son aguas blandas y por el índice de calidad del agua según los

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

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.

Teniendo en cuenta las experiencias nacionales e internacionales en la aplicación de los ICA, es criterio de la autora aplicar para la presente investigación el índice de calidad de Montoya, 1997 para evaluar la calidad actual de las aguas de abastecimiento en el poblado Yamanigüey, por considerarse como unos de los más completos e integradores, y por ser uno de los pocos con connotaciones legales para las aguas de consumo en Centro América.

2.3. Etapa de campo, muestreo y laboratorio

Esta etapa se estableció con el objetivo de cumplir las diferentes tareas propuestas, partiendo desde el levantamiento hidrogeológico a escala 1:50 000 y prosiguiendo con la toma de muestra de las aguas de consumo humano en el sector de estudio, para la posterior determinación de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de las mismas en el laboratorio.

2.3.1. Levantamiento hidrogeológico a escala 1: 50 000

El mismo fue realizado sobre el mapa geológico del área, según (Crespo Lambert & Dunán Ávila, 2017), los cuales exponen que la geología del área está representada por las siguientes litologías: los conglomerados brechosos de los depósitos del cuaternario de Río Macío, ubicados en la parte noroeste de la franja costera, los cuales están compuestos por fragmentos de rocas serpentinizadas. Se determinó una zona de sedimentos aluviales, aportados por el río Yamanigüey, compuesta por sedimentos polimícticos de cromititas, peridotitas serpentinizadas, gabros y gabros pegmatitas. Se documentaron diferentes sectores pertenecientes a los mantos de cabalgamientos del complejo ofiolítico, donde predominaban las harzburgitas serpentinizadas, muy alteradas por los procesos meteorizantes y

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

tectonizantes. Además en el área se evidencia un alto grado de alteración y erosión intensa a que están sometidos ciertos sectores del área de estudio, se hace una descripción de la vegetación presente en dicho área, se destaca la acción geológica de las precipitaciones, que arrastran materiales que son incorporados al propio río Yamanigüey y luego son depositados en la bahía presente en el área. De acuerdo a las características antes expuestas se puede decir que en el área el principal acuífero presente es de tipo libre o freático como también es nombrado.

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 asentamiento rural de Yamanigüey la fuente de abasto de agua es el río Yamanigüey, este a su vez abastece por medio de un sistema de acueducto con un tanque ubicado en la zona de cota más elevada del poblado, a tales efectos fijamos para esta zona la toma de 10 muestras, una de ellas en el río, otra a la salida del sistema de dosificación de cloro y la otra en el tanque de agua que abastece al poblado, las restantes muestras se ubicaron en pozos criollos que fueron utilizados por los pobladores para consumo, antes de que se implementara el sistema de acueducto y que actualmente en caso de déficit en la red pueden ser utilizados para su consumo.

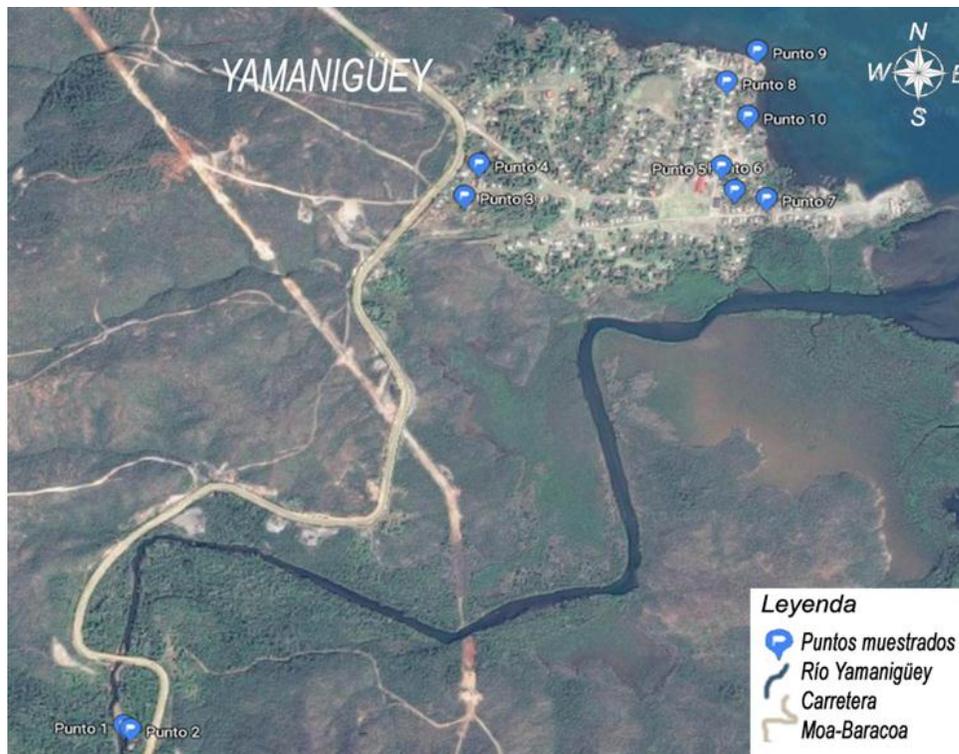


Figura 8. Imagen satelital de ubicación de los puntos muestreados.

2.3.2.1.1. Descripción de los puntos de muestreo.

Como se señala anteriormente para la valoración de la calidad de los recursos hídricos en el sector, se realizó un muestreo hidroquímico en las aguas de consumo del poblado. A continuación se realiza una descripción de los 10 puntos de muestreo.

Punto 1: Río Yamanigüey

Coordenadas: **X:** 717458.7162, **Y:** 214041.8395 Hora de muestreo: 10:34 am

Breve descripción: la fuente de abasto de agua en el asentamiento rural es el río Yamanigüey, fijamos para esta zona la toma de tres muestras de agua. El muestreo se realizó con una Temperatura de 24 °C. El punto de muestreo se encuentra ubicado en el cauce del río Yamanigüey, específicamente en la zona de captación de agua de la estación de bombeo (ver Figura 9 B). El río corre sobre

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

rocas ultrabásicas serpentinizadas, las cuales presentan un alto grado de alteración, predominando fundamentalmente la erosión lateral, pudiéndose observar acumulación de sedimentos en el margen derecho del cauce del río. La vegetación en la zona es abundante, la cual es típica del complejo ofiolítico, esta aporta gran cantidad de material orgánico al agua, lo cual puede representar una causa directa para la afectación parcial de estas aguas.



Figura 9. **A:** vista lateral de la estación de bombeo de Yamanigüey, **B:** obtención de la muestra en el lugar, **C:** captación de agua de la estación de bombeo.

Punto 2: Estación de bombeo Yamanigüey.

Coordenadas: **X:** 717458.7162, **Y:** 214041.8395 Hora de muestreo: 10:40 am

Breve descripción: el punto de muestreo se encuentra ubicado en la estación de bombeo de Yamanigüey, la misma se encuentra situada en las riberas del río Yamanigüey, el cual causa por sus características hidrogeológicas una fuerte erosión en los laterales de la base de la estación de bombeo, lo que implica un riesgo ante una crecida del río. Esta estación es la encargada de bombear el agua para su posterior distribución hasta el poblado de Yamanigüey, el tiempo de bombeo es de 7:00am hasta 7:00 pm. El agua bombeada se extrae directamente

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

del río y antes de distribuirla recibe un proceso de clorado, para su purificación (ver Figura 10 D). Las muestras fueron tomadas a la salida del sistema de dosificación de cloro, la temperatura de muestreo posee valores de 24 °C (ver Figura 10 E).



Figura 10. **A:** estación de bombeo de Yamanigüey, **B:** tubo de extracción del agua para bombeo, **C:** turbina utilizada para el bombeo, **D:** proceso de clorado de las aguas de distribución, **E:** obtención de la muestra en el lugar.

Punto 3: Tanque de distribución de agua en el poblado

Coordenadas: **X:** 719863.8842, **Y:** 215268.6528 Hora de muestreo: 11:25 am

Breve descripción: este punto de muestreo se encuentra ubicado en el poblado de Yamanigüey, el mismo constituye el tanque de distribución general del sector el cual es llenado por el agua bombeada desde la estación de bombeo. El tanque posee una longitud aproximada de 10 metros de largo y 4 metros de ancho, con una altura de 2 metros aproximadamente. El mismo está fabricado de cemento, y a pesar que posee tapa, este tanque permanece destapado, por lo que se expone a mayores riesgos de contaminación. Estos pudieran estar ocasionados por el arrojado de basura, y otros desechos sólidos. Tampoco posee un personal encargado de su supervisión, para velar que no se realicen acciones que

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

perjudiquen la potabilidad de esa agua almacenada. Por parte de los pobladores conocimos que encima del tanque los niños jugaban y empujan papalotes periódicamente, pero que ellos no los dejan bañarse dentro, siempre y cuando ellos puedan vigilar. En el fondo del tanque se observaron pedazos de plásticos, de madera y sedimentos arenosos (ver Figura 11C, D). Estos últimos pueden explicarse por la presión del chorro de agua de la tubería para el llenado del tanque que corroe el material del fondo del mismo y por eso existen sedimentos de arena en el fondo. Aunque no se descarta que esta arena provenga de la fuente de bombeo.

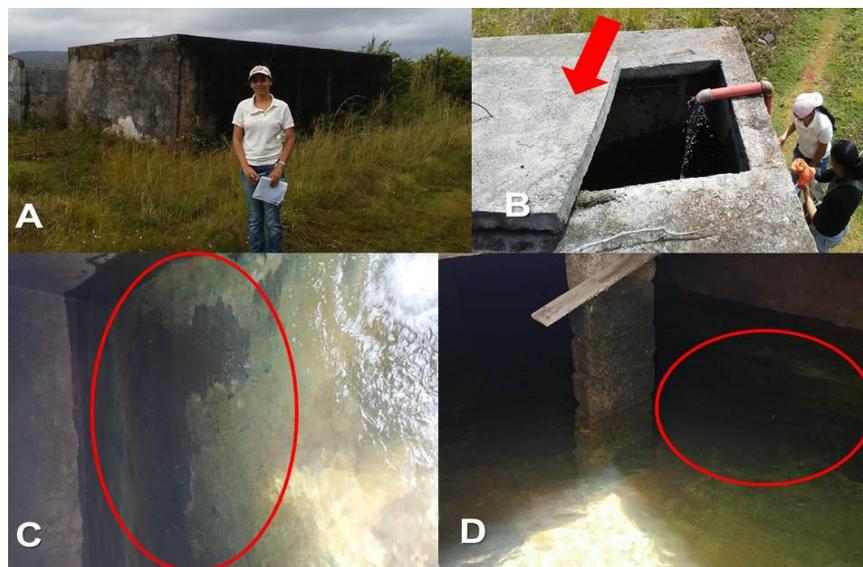


Figura 11. **A:** tanque de distribución de agua del poblado Yamanigüey, **B:** vista superior del tanque destapado, **C:** presencia de sedimentos arenosos en el tanque, **D:** presencia de sedimentos en el fondo del tanque.

Punto 4: Pozo criollo.

Coordenadas: **X:** 718147.4610, **Y:** 215322.0415 Hora de muestreo: 12:00 pm

Breve descripción: el punto de muestreo es un pozo, que se encuentra ubicado en una casa a 100 metros del tanque de distribución general en dirección norte, el mismo posee una profundidad de 7 metros. Está construido sobre rocas serpentínicas (ver Figura 12), no posee ninguna protección de sus paredes

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

laterales. Según los dueños de la casa el mismo permanece tapado y no beben agua del pozo, mientras que la de distribución esté funcionando, pero en caso de rotura y antes de que se distribuyera por el sistema de tuberías, si consumían agua de ese pozo. Como irregularidades en el lugar se observaron la presencia de charcos de aguas acumuladas a menos de 1 metro del pozo, aguas procedentes de la actividad doméstica. En la Figura 12 D, se señala el baño de la casa, que se encuentra ubicado a 3 metros del pozo. Estas irregularidades observadas influyen negativamente en la calidad del agua presente en el pozo, ya que por procesos de infiltración son arrastradas hacia el mismo alterando así las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas. En una de las paredes del pozo se encuentran depositados limos de color carmelita, lo que influye en la turbidez de dicha agua. Además se observaron renacuajos y peces de pequeño tamaños.



Figura 12. **A:** presencia de sedimentos en los alrededores del pozo, **B:** ubicación del baño cerca del pozo, **C:** charco de agua utilizadas en las labores domésticas cerca del pozo.

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

Punto 5: tanque de almacenamiento del Policlínico Rolando Monterrey Caballero.

Coordenadas: **X:** 718640.2063, **Y:** 215314.5761 Hora de muestreo: 12:30 pm

Breve descripción: este punto corresponde al tanque de almacenamiento del Policlínico Rolando Monterrey Caballero (ver Figura 13). Este tanque también permanece destapado y a diferencia del punto 3, este recipiente es metálico y posee algunas de sus partes oxidadas, producto a la propia acción oxidante del agua y al hecho de estar expuesto a la intemperie (ver Figura 13 C, D). El agua muestreada tenía una temperatura de 30 °C.



Figura 13. **A:** Policlínico Rolando Monterrey Caballero, **B:** tanque metálico de almacenamiento de agua del policlínico, **C:** sector oxidado del tanque en la parte inferior, **D:** tanque sin tapa y sectores oxidados.

Punto 6: Pozo criollo

Coordenadas: **X:** 718652.4104, **Y:** 215266.7599 Hora de muestreo: 12:45 pm

Breve descripción: este punto muestreado es un pozo ubicado hacia la parte oeste de la desembocadura del río Yamanigüey. Es uno de los pozos que le asignaron materiales para la protección de las paredes y la construcción de un brocal en la

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

parte superior, tras el paso del huracán Matthew por el territorio. Se encuentra en buen estado físico y permanece tapado, posee una profundidad de 6 metros (ver Figura 14). La temperatura que presentaba el agua era de 28 °C. A solo tres metros del pozo vierte una zanja para el escurrimiento de las precipitaciones en la zona (ver Figura 14 B).



Figura 14. **A:** ubicación del pozo tapado y presencia de una zanja enfrente, **B:** pozo con las paredes reforzadas de cemento.

Punto 7: Pozo criollo.

Coordenadas: **X:** 718734.1782, **Y:** 215259.5157 Hora de muestreo: 12:55 pm

Breve descripción: este pozo es uno de los que se le asignaron materiales para su protección, el mismo posee una profundidad de 7 metros. Se encuentra ubicado hacia la zona oeste de la desembocadura del río Yamanigüey a una distancia aproximada de 20 metros. La temperatura del agua muestreada es de 27 °C. Este pozo permanece tapado (ver Figura 15).

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados



Figura 15. **A:** pozo muestreado tapado, **B:** pozo con las paredes reforzadas de cemento.

Punto 8: Pozo criollo

Coordenadas: **X:** 718660.6606, **Y:** 215524.2674 Hora de muestreo: 1:10 pm

Breve descripción: este pozo se ubica a pocos metros del mar, posee una profundidad de 8 metros, presentan sus paredes y boca del pozo protegidas con un brocal de cemento. Permanece tapado y el agua del mismo es extraída por una turbina para su utilización en la casa para beber y para las labores domésticas. Aproximadamente a 10 metros del pozo se encuentra una letrina, considerada como un factor contaminante, ya que aporta bacterias como Coliformes fecales, consideradas como perjudiciales para la salud (ver Figura16 C).



Figura 16. **A:** pozo con tapa cercano a la costa, **B:** pozo con las paredes reforzadas de cemento, **C:** ubicación de una letrina cerca del pozo.

Punto 9: Pozo criollo.

Coordenadas: **X:** 666170.6702, **Y:** 257422.7896 Hora de muestreo: 1:25 pm

Breve descripción: el pozo muestreado se encuentra construido sobre los depósitos del cuaternario Río Macío, este pozo no posee protección de sus paredes con cemento y la parte superior se encuentra tapada con tablas. Permanece totalmente destapado (ver Figura 17 A, B). De todos los puntos muestreados este, es el que se encuentra más cercano a la costa.

En el punto se observaron varias irregularidades como la ubicación de una letrina en la costa, depositando todos los desechos fecales directamente en el agua. Contribuyendo así a la contaminación del medio marino, el cual es utilizado por los propios pobladores, para la pesca y para la recreación (ver Figura 17 D). Además se observaron corrales de cerdo, donde también son arrojados los desechos hacia el mar (ver Figura 17 C).

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados



Figura 17. **A:** pozo cercano a la costa, **B:** pozo destapado y sin reforzar sus paredes, **C:** presencia de contaminantes biológicos (Letrina y corral de cerdo), **D:** ubicación de la letrina en la línea de costa.

Punto 10: Pozo criollo.

Coordenadas: **X:** 718687.7705, **Y:** 215421.2892 Hora de muestreo: 1:42 pm

Breve descripción: este pozo se encuentra ubicado a 30 metros aproximadamente del mar, permanece totalmente tapado. Las muestras tomadas en este punto se tomaron a través del chorro de la turbina ya que no fue posible tomar la muestra directamente del pozo (ver Figura 18 A). Al igual que en el punto anterior en esta zona se encontraron una serie de irregularidades, como presencia de una zanja por donde vierten todas las aguas albañales procedentes de las labores domésticas y los corrales de cerdo. Pero lo más preocupante ante todo lo antes señalado es, el descargue directo a través de una tubería desde un baño sanitario de la vivienda hacia el mar (ver Figura 18 C). En la Figura 18 D, se señala en un círculo rojo, los desechos flotantes antes mencionados en el mar, por lo que se puede afirmar que la costa de Yamanigüey está sufriendo serios problemas de contaminación antrópica.



Figura 18. **A:** pozo tapado cercano a la costa, **B:** zanja con aguas residuales procedentes del corral del cerdo, **C:** corral de cerdo, tubería de descarga en la bahía del baño sanitario, **D:** aguas residuales depositadas en la bahía.

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 diez 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 rellenado hasta la boca para evitar la concentración de oxígeno.

En cada uno de los puntos se tomaron un total de tres muestras, una para los análisis bacteriológicos en un bolso preparado para la conservación de las muestras, una botella de plástico de 500 ml para los análisis químicos y una botella de plástico de 1L para los análisis físicos, en total se tomaron 30 muestras (ver Figura 19).

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

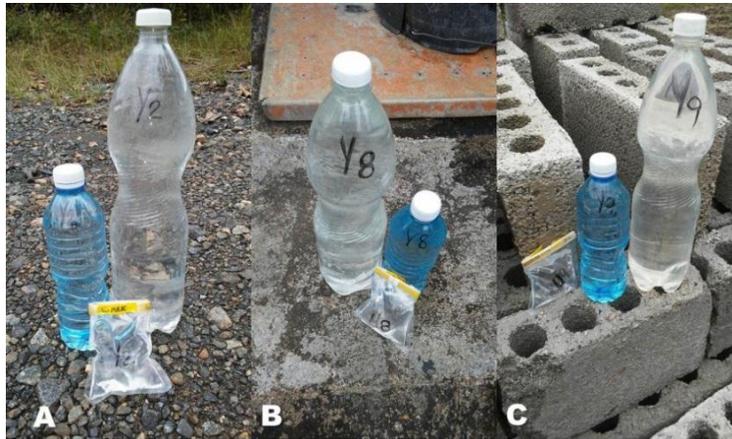


Figura 19. **A:** muestras tomadas en el punto 2, **B:** muestras tomadas en el punto 8, **C:** muestras tomadas en el punto 9.

Etiquetas: para prevenir confusiones en la identificación de las muestras, en el momento del trabajo de campo, se escribió con tinta a prueba de agua, en cada uno de los recipientes utilizados, la identificación Y-1, Y-2, Y-3 hasta Y-10 que representa el lugar y el número del punto analizado.

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 Químico UBSPRS perteneciente a la Empresa Ernesto Che Guevara y en el Centro de Investigaciones del Níquel, Capitán Alberto Fernández Montes de Oca (CEDINIQ).

Propiedades físicas y químicas determinadas: pH, Sólidos Totales Disueltos, Sólidos suspendidos, Dureza Total, Color, Turbidez, Alcalinidad, Conductividad, Salinidad, Calcio, Magnesio, Cloruro, Sulfato, Hidrocarbonato, Sodio, Carbonato y Potasio.

Métodos analíticos empleados:

- Determinación de pH según el método NEIB 64-01-35:2015.
- UPL-PT-A-11: determinación de los elementos Ni, Co, Fe, Cu, Zn, Mn, Mg^{2+} , Al^{3+} , Cr^{6+} , Si, V, Pb. Método de Espectroscopía de Absorción Atómica.
- 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.
- UPL-PT-V-11: determinación de Alcalinidad en aguas y aguas residuales por volumetría.
- UPL-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.

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

- Determinación de Conductividad NE 64-01-37:2017.
- Determinación de Alcalinidad 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 ($\mu\text{s}/\text{cm}$), Salinidad en por ciento (%), 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.

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

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 1021: 2014: 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 en el año 2006.

Además para la determinación de la calidad de estas aguas se empleó la metodología del Índice de Calidad de Agua de Montoya. Se emplearon las clasificaciones de varios autores atendiendo a la composición química de las aguas y propiedades físicas de las mismas, recogidas en (De Miguel Fernández, 2012).

2.7. Metodología para la evaluación de la calidad de las aguas por su composición química

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 $\text{HCO}_3^- \rangle (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$. 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:

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

se caracteriza por la relación $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ 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 nos basamos en la clasificación de Aliokin (ver Tabla 1), utilizando la fórmula que relaciona mediante una fracción la sumatoria de los aniones y los cationes, expresado en gramos por litros (g/L).

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

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 (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 nos hemos basado en la clasificación de E. B. Pasovox (ver Tabla 2).

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

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

Valor del pH	Denominación de las aguas
< 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 (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 subterráneas, expresadas en miligramos equivalentes (mg-equiv/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-equiv/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 (De Miguel Fernández, 2012)

Clasificación de las aguas por su grado de contaminación salina

Las aguas subterráneas y superficiales pueden presentar contaminación salina producto a su relación con mares, contenido de sales en las rocas, etc. Para la determinación del grado de contaminación salina generalmente se utiliza la relación iónica de Simpson y su clasificación (ver Tabla 4), determinada a través de la fórmula:

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

$$C.S. = \frac{Cl}{CO_3 + CO_3H}, m.eq/lL$$

Tabla 4. Clasificación de las aguas por su grado de contaminación salina según Simpson.

Resultados relación C.S.	Denominación del agua
< 0,5	Agua normal
0,5 – 1,8	Agua ligeramente contaminada
1,8 – 2,8	Agua moderadamente contaminada
2,8 – 6,6	Agua bastante contaminada
6,6 – 15,5	Agua altamente contaminada
> 15,5	Agua de mar

Tomado de (De Miguel Fernández, 2012)

Por correlación de iones en por ciento equivalentes (% eq) se logró la siguiente expresión para el coeficiente Índice de Salinidad Marina (ISM).

$$ISM = \frac{\%Cl + \%Na}{\%HCO_3 + \%Ca}$$

Donde: % Cl⁻, % Na⁺, % HCO₃⁻, % Ca²⁺ representan el por ciento equivalente de la suma total o parcial de aniones y cationes.

La Tabla 5 muestra la clasificación de las aguas de acuerdo al ISM.

Tabla 5. Clasificación de las aguas por el Índice de Salinidad Marina (ISM).

Valor ISM	Mineralización-gr./l.	Clasificación por ISM
< 1	Predomina < 0,8	Aguas o acuífero no salinizado
1 – 1,9	0,9 – 1,6	Aguas o acuífero débilmente salinizado
2 – 6,9	1,7 – 5,8	Aguas o acuífero salinizado
1– 21	5,9 – 17,7	Aguas o acuífero muy salinizado
> 21	> 17.8	Aguas o acuífero hipersalinizado

Tomado de (De Miguel Fernández, 2012)

2.8. Metodología para la determinación del Índice de Calidad de Agua.

La implementación de nuevas metodologías que involucren más de dos parámetros para la valoración de la calidad del agua toma cada vez más importancia, los Índices de calidad del agua engloban varios parámetros en su mayoría fisicoquímicos y en algunos casos microbiológicos que permiten reducir la información a una expresión sencilla, conocida como: Índices de calidad del agua (ICA). (Samboni Ruiz et al., 2007)

Como se ha expresado anteriormente en este trabajo, se decidió utilizar el ICA de Montoya, 1997 por considerarse como uno de los más completos e integradores, y por ser uno de los pocos con connotaciones legales para las aguas de consumo en Centro América.

2.8.1 Índice de Calidad de Agua de Montoya, 1997.

Este índice fue utilizado como una herramienta de indicación en el estudio sobre las aguas superficiales del Estado de Jalisco, que planteó establecer una caracterización y un diagnóstico general sobre la situación ecológica y ambiental que guardan los diversos Sistemas Acuáticos Epicontinentales del Estado de Jalisco.

2.8.1.2. Metodología del Índice de Calidad de Agua de Montoya, 1997.

El grado de contaminación del agua es medido en términos del índice, definido como el grado de contaminación existente en el agua de la muestra, expresado como un porcentaje de agua pura. Así, para el agua totalmente contaminada tendrá un índice de calidad cercano o igual a 0 y para aguas de excelentes condiciones de 100. Por lo tanto, el índice es un porcentaje promedio del efecto que causan los diferentes niveles de cada uno de los variables medidos en un cuerpo de agua. Este índice de Calidad del Agua es el único que tiene connotaciones legales, ya que se emplea para establecer normas de descargas, está constituido por 18 variables clasificados dentro de cuatro categorías:

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

Cantidad de materia orgánica: determinadas por el porcentaje de saturación del Oxígeno Disuelto (OD) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (BDO₅).

Materia Bacteriológica presente: determinada por Coliformes totales (CT) y Coliformes fecales (CF).

Características físicas: determinadas por el color y la Turbidez (TUR). La materia orgánica es determinada por alcalinidad (ALC), dureza (DT), Cloruros (Cl⁻), conductividad específica (CON), concentración de iones Hidrogeno (pH), grasas y aceites (G y A), sólidos suspendidos (SS), sólidos disueltos (STD), nutrientes: nitratos (NO₃⁻), nitrógeno amoniacal (NH₃⁺), fosfatos (PO₄⁼) y detergentes (SAAM).

Debido a que ciertas pruebas son más representativas de la calidad de agua que otras, se asignan ciertos pesos específicos a los 18 diferentes variables designados, representados por *W*, estos pesos específicos están de acuerdo con a la naturaleza del cuerpo de agua en estudio, de tal manera que la fórmula que proporciona el índice de calidad de agua es:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i * W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Donde: **ICA** = índice de Calidad del Agua, 0 = < I = < 100, **I_i** = Función subíndice del parámetro *i*, 0 = < I = < 100, **W_i** = Peso de importancia del parámetro (Factor de Ponderación)*i*, 0 = < W_i =< 5, **n** = Número de variables empleados.

Las ecuaciones funcionales subíndices (ver Tabla 6) para cada uno de las 18 variables empleados en el cálculo del índice, se muestran a continuación:

Capítulo II: Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

Tabla 6. Funciones de los subíndices del ICA de Montoya, 1997.

Parámetro	Ecuación	Ponderación
1. Oxígeno disuelto	$I = (100)(7.86) / 14.492 - 0.384 T + 0.064 T^2$	5.0
2. DBO	$I = 120 (2.39)^{0.673}$	5.0
3. Coliformes totales	$I = 97.5 (1,800)^{0.270}$	3.0
4. Coliformes fecales	$I = 97.5 (5*1118)^{0.270}$	4.0
5. Conductividad	$I = 540 (571.6)^{-0.379}$	1.0
6. Cloruros	$I = 121^{0.223}$	0.5
7. Dureza total	$I = 10^{1.974 - [0.00174*238]}$	1.0
8. Alcalinidad	$I = 105 (176.3)^{-0.185}$	0.5
pH < 7	$I = 10^{0.2336 + 0.440}$	1.0
9. pH = 7	$I = 100$	1.0
pH > 7	$I = 10^{[4.22 - 0.293(8.2)]}$	1.0
10. Grasas y aceites	$I = 87.25 (17.1)^{0.298}$	2.0
11. Sólidos suspendidos	$I = 266.5 (446.3)^{-0.37}$	1.0
12. Sólidos disueltos	$I = 109.1 - 0.0175 (79.6)$	0.5
13. Detergentes	$I = 100 - 16.68 (0.2) + 0.161 (0.2)^2$	3.0
14. Fosfatos	$I = 34.215 (0.2)^{-0.460}$	2.0
15. Nitrógeno en nitratos	$I = 62.2 (0.2)^{-0.343}$	2.0
16. Nitrógeno amoniacal	$I = 45.8 (1.28)^{0.343}$	2.0
17. Color Pt-co	$I = 123 (25)^{-0.295}$	1.0
18. Turbiedad	$I = 108 (7.23)^{-0.178}$	0.5

Tomado de (Fernández Parada & Solano Ortega, 2013)

Después de calcular los valores del ICA de Montoya y en dependencia de los mismos, se puede definir si la muestra se encuentra: no contaminada, aceptable para el consumo, poco contaminada o altamente contaminada, (ver Tabla 7).

Tabla 7. Criterio general de las aguas según el valor del Índice de Calidad del Agua de Montoya, 1997.

ICA	CRITERIO GENERAL
85 –100	No Contaminado
70 - 84	Aceptable
50 – 69	Poco Contaminado
30 - 49	Contaminado
0 - 29	Altamente Contaminado

CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE ABASTECIMIENTO DEL POBLADO YAMANIGÜEY

3.1. Aspectos generales

El conocimiento de la calidad y conservación de las fuentes de agua destinadas al consumo humano, es de gran interés, aspecto que está relacionado con un gran número de factores geológicos, hidrodinámicos, físicos, químicos, biológicos y antropológicos, asociados a las incertidumbres que son propias, no solo de la variable y compleja naturaleza, sino también de las actividades humanas.

Tanto en aguas subterráneas como superficiales, el parámetro referente a la calidad de las mismas, es un tema obligado en los conocimientos del hidrogeólogo. Esto trasciende fundamentalmente en la problemática dirigida al control de la contaminación y deterioro del agua que es empleada para el abastecimiento a los asentamientos poblacionales. Para dictaminar acerca de la potabilidad del agua, la posibilidad de aplicar metodologías precisas, se convierte en algo más que la mera determinación química y pasa a ser una herramienta hidrogeológica básica capaz de aportar valiosa información sobre el origen y distribución de las aguas superficiales y subterráneas y los procesos físicos, químicos que las afectan.

La definición básica de evaluación de la calidad del agua se describe como una variante al monitoreo para establecer la naturaleza y el grado de contaminación del agua. Esta evaluación es un proceso de disímiles enfoques, el cual tiene como objetivo determinar y evaluar la naturaleza física, química y biológica del agua con relación a la calidad natural, efectos humanos y otros usos. EL objetivo de la investigación está encaminado a definir las condiciones del ambiente actual de la fuente de abasto y pozos criollos que en un momento determinado pueden ser utilizados en la zona y por entidades para satisfacer algunas necesidades de los pobladores, así como los principales focos contaminantes que afectan la conservación y calidad de las mismas, además de realizar una valoración de los

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

principales aspectos físico, químicos y bacteriológicos en cada uno de los puntos, aspectos que son determinantes para dar criterios específicos acerca del grado de potabilidad de estas aguas. Con relación al fondo hidroquímico natural de las aguas superficiales y subterráneas, es de destacar que las mismas yacen y circulan por medio de rocas pertenecientes al complejo acuífero de las ofiolitas, específicamente serpentinitas alteradas, y en la zona norte del sector prevalecen los conglomerados pertenecientes a los depósitos cuaternarios Río Macío.

Analizando los resultados obtenidos como consecuencia de los estudios de laboratorio, se hace evidente la influencia que ejerce el medio natural circundante sobre este preciado recurso. Posteriormente se dan a conocer la evaluación de los recursos hídricos en los puntos de monitoreos seleccionados e incluidas en esta investigación con su correspondiente interpretación según clasificaciones por diferentes autores, propiedades físicas y geoquímicas y mediante el uso de diagramas y gráficos representativos del fondo hidroquímico más próximo a la realidad de las mismas, además del uso de las diferentes normas cubanas e internacional para la evaluación de las aguas de abasto poblacional.

3.2. Influencia del terreno geológico en la composición química de las aguas

Debido a la necesidad de valorar cómo influye el medio geológico en la composición química de las aguas objeto de estudio, establecemos a continuación como se manifiesta la relación roca - composición química de las aguas en el área de estudio.

El asentamiento Yamanigüey está asociado al complejo acuífero de las ofiolitas, este se constituye litológicamente de serpentinitas alteradas, agrietadas y serpentinizadas. El tipo de litología señalada anteriormente es característica de zonas de alteración de los silicatos ferro - magnesianos, siendo las aguas que circulan a través de ellas enriquecidas en sílice, ya sea coloidal o no, hierro y magnesio fundamentalmente. Por regla general, las aguas características de estas

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

regiones presentan un residuo seco influenciado en algunos puntos por la salinización y tienden a presentar pH neutro y débilmente básico.

En esta zona se evidencia cierta interacción con el agua de mar, por consiguiente, el lavado de los materiales rocosos mencionados con anterioridad proporciona con frecuencia aguas relativamente salinas, siendo en ocasiones saladas, aunque según los resultados determinados del grado de contaminación salina según Simpson y el Índice de Salinidad Marina, arrojaron que no se encontraban salinizadas. Pero si presentan contenidos notables de K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} . Además se producen notables fenómenos de intercambio iónico, el contenido en cloruros es generalmente elevado, lo mismo que en el sulfato, sodio, calcio y magnesio.

Las aguas del río Yamanigüey para el período evaluado presentan como macro elementos predominantes el bicarbonato, el cloruro, sulfato, existe presencia de sodio y potasio, aunque en pequeñas cantidades el calcio supera los valores del resto de las fuentes estudiadas. Se destaca que son aguas de los tipos neutras por su pH y blandas, es apreciable un incremento para el período de lluvia de la turbidez y el color provocado por el arrastre de todo tipo de materia en suspensión proveniente de diferentes fuentes naturales y artificiales. Se considera que en época de seca se aprecie un incremento de la conductividad y los sólidos totales disueltos lo que se explica por la afectación de los bañistas, incorrectas prácticas de lavado de carros aguas arriba al proceso en de captación de agua para el bombeo y una mayor concentración de las sales existentes y de los sólidos provenientes del arrastre.

Hay que destacar que las aguas del río Yamanigüey discurren por encima de cuerpos cromíferos. En los estudios de laboratorio no se detectaron concentraciones de cromo perjudiciales sin embargo este es un factor a tener en cuenta para el desarrollo de estudios posteriores.

3.3. Estado higiénico sanitario de las fuentes de abastecimiento de agua

Seguidamente se describe el estado higiénico sanitario de las fuentes de abasto de las diferentes etapas, así como el estado técnico de las instalaciones que han sido objeto de investigación y análisis durante el transcurso y desarrollo de este trabajo, dando a conocer, además, su correspondiente caracterización físico – química, así como las principales características hidrogeológicas que se ponen de manifiesto.

En el asentamiento rural de Yamanigüey la fuente de abasto de agua principal es el río Yamanigüey. Este a su vez abastece, por medio de un sistema de acueducto a un tanque de distribución central que está ubicado en la zona más elevada del poblado. El río corre sobre rocas ultrabásicas serpentinizadas, las cuales presentan un alto grado de alteración, predominando fundamentalmente la erosión lateral, pudiéndose observar acumulación de sedimentos en el margen derecho del cauce del río.

La vegetación en la zona es abundante, esta aporta gran cantidad de material orgánico al agua, lo cual puede representar una causa directa para la afectación parcial de estas aguas, ya que la actividad antropogénica en esta zona es prácticamente nula. La captación de agua de la fuente superficial debe estar protegida contra cuerpos flotantes y materias gruesas en suspensión mediante rejas, para así impedir el paso de este, a través de la tubería de toma de agua. En cuanto al perímetro de restricción en la fuente de captación se puede decir que el río es utilizado por bañistas, por lo que debe ser de estricto cumplimiento el proceso de cloración de estas aguas, tarea que no se cumple a cabalidad, dado los bajos valores de cloro encontrados en los análisis de laboratorio.

Por su parte, el tanque de distribución ubicado en la parte alta del poblado no tiene perímetro de régimen estricto (cercado o de acceso limitado) y existe vertimiento de residuales como desechos sólidos en el lateral del tanque (ver Figura 20). Existe acceso de animales, niños y otras personas a la zona. No se encuentra

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

correctamente tapado, y las condiciones higiénicas sanitarias no son las más favorables, debido a la presencia en el tanque de, material limoso en sus paredes interiores. Con la agravante de que estas aguas no están sometidas a tratamiento de desinfección permanente, por lo que se exponen a una contaminación bacteriológica.



Figura 20. Vertimiento de desechos sólidos cerca del tanque de distribución en el poblado Yamanigüey.

Los pozos criollos de los pobladores no cumplen los requisitos sanitarios. En el punto 9 se presenció la ubicación de una letrina en la costa, depositando todos los desechos fecales directamente en el agua, contribuyendo así a la contaminación del medio marino, el cual es utilizado por los propios pobladores para la pesca y para la recreación, además se observaron corrales de cerdo, donde los desechos del animal y las aguas utilizadas para el lavado del corral son arrojados hacia el mar, siendo estos excrementos altamente contaminantes. El pozo está ubicado en la formación Río Macío que a su vez es ligeramente permeable por lo que las colonias de bacterias producidas a partir de los desechos sólidos pueden llegar hasta las aguas de consumo.

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

En el punto 10 existe una zanja por donde vierten todas las aguas albañales procedentes de las labores domésticas y los corrales de cerdo, pero lo más preocupante es el descargue directo a través de una tubería desde el baño sanitario de la vivienda hacia el mar (ver Figura 21).



Figura 21. **A:** Presencia de contaminantes biológicos (Letrina y corral de cerdo), **B:** Ubicación de la letrina en la línea de costa, **C:** Zanja con aguas residuales procedentes del corral del cerdo, **D:** Corral de cerdo, tubería de descargue en la bahía del baño sanitario.

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

Seguidamente se evalúan las aguas de abastecimiento de Yamanigüey atendiendo a las clasificaciones propuestas por varios autores recogidas en (De Miguel Fernández, 2012), las Normas Cubanas del 2012 y 2014, de ahora en adelante: NC - 827: 2012 Agua potable- Requisitos sanitarios y la Norma Cubana NC 1021: 2014: Higiene comunal. Fuentes de abastecimiento de agua - Calidad y protección sanitaria y la Norma de la Organización Mundial de la Salud: (OMS, 2006), tomando en cuenta además la composición química, propiedades físicas y bacteriológicas de las mismas.

En las Tablas 8 y 9, se muestran los resultados obtenidos en los laboratorios en cuanto a la composición química, propiedades físicas y bacteriológicas de las muestras analizadas.

En la Tabla 10 se muestran los valores de los análisis estadísticos realizados a los resultados físicos y químicos obtenidos en el laboratorio.

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

Tabla 8. Resultados de los análisis químicos de las muestras analizadas.

No Muestra	Lugar	X	Y	Salinidad %	Alcalinidad CaCO_3^- mg/L	Cl^- mg/L	Ca^{2+} mg/L	Mg^{2+} mg/L	Dureza Total CaCO_3^- mg/L	SO_4^{2-} mg/L	HCO_3^- mg/L	Na^+ mg/L	K^+ mg/L
Y-1	Río Yamanigüey	717459	214042	0	62	16.99	8.8	12.48	74	0	62.04	8.13	0.80
Y-2	Estación de Bombeo	717459	214042	0	61	15.99	7.2	14.4	78	0	62.04	8.20	0.62
Y-3	Tanque de distribución	719864	215269	0	65	17.99	7.2	15.36	82	8.51	63.92	8.54	0.67
Y-4	Pozo	718147	215322	0	154	32.98	8.8	35.52	170	8.23	148.52	19.90	2.25
Y-5	Tanque del Policlínico	718640	215315	0	66	17.99	8.8	13.89	80	0	63.92	9.06	0.68
Y-6	Pozo	718652	215267	0.1	178	68.96	8.8	84	370	15.9	323.36	32.85	1.06
Y-7	Pozo	718734	215260	0	254	32.98	12.8	54.72	260	3,018	236.88	18.90	1.26
Y-8	Pozo	718661	215524	0.1	276	64.96	10.4	65.28	298	34.84	266.96	40.10	5.34
Y-9	Pozo	666171	257423	0.1	151	104.94	37.6	31.68	226	11.8	139.12	44.35	8.83
Y-10	Pozo	718688	215421	0.1	294	82.95	14.4	67.68	318	30.73	266.96	41.85	5.85

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

Tabla 9. Resultados de los análisis físicos de las muestras analizadas.

No Muestra	Lugar	X	Y	T Muestreo °C	T Laboratorio °C	pH	Conductividad µs/cm	STD mg/L	SS mg/L	Color Pt/Co	Turbidez NTU
Y-1	Río Yamanigüey	717459	214042	24	19	7.62	151	69	2	8	3
Y-2	Estación de Bombeo	717459	214042	24	19	7.72	151	69	2	7	3
Y-3	Tanque de distribución	719864	215269	26	19	7.79	152	70	0	9	3
Y-4	Pozo	718147	215322	26	19	7.31	385	177	0	7	3
Y-5	Tanque del Policlínico	718640	215315	30	19	7.69	158	73	0	7	2
Y-6	Pozo	718652	215267	28	19	7.21	766	352	0	7	2
Y-7	Pozo	718734	215260	27	19	7.62	535	246	0	1	2
Y-8	Pozo	718661	215524	28	20	7.14	641	318	0	14	3
Y-9	Pozo	666171	257423	25	20	7.87	629	289	0	8	3
Y-10	Pozo	718688	215421	27	19	7.25	764	351	4	13	4

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

Tabla 10. Análisis estadísticos de los resultados físicos y químicos de las muestras analizadas.

	Sal %	ALC mg/ L	Cl ⁻ mg/ L	Ca ²⁺ mg/ L	Mg ²⁺ mg/ L	DT mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Na ⁺ mg/ L	K ⁺ mg/L	pH	CON μs/cm	STD mg/L	SS mg/ L	Color pt/Co	TUR NTU
Cantidad Muestra	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Mínimo	0	61	16	7	12	74	0	62	8	1	7.14	151	69	0	1	2
Máximo	0	294	105	38	84	370	35	323	44	9	7.87	766	352	4	14	4
Media	0	156	46	12	40	196	11	163	23	3	7.52	433	201	1	8	3
Varianza	0	8645	1042	83	705	12944	158	10399	230	8	0.07	69830	15303	2	13	0
Desviac. Estándar	0	93	32	9	27	114	13	102	15	3	0.27	264	124	1	4	1
Mediana	0	153	33	9	34	198	8	144	19	1	7.62	460	212	0	8	3

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

De acuerdo a la composición (ver Tabla 11) 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 diez 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).

En dependencia a la concentración de los iones HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- estas aguas son clasificadas como hidrocarbonatadas-clóricas-magnésicas-sódicas.

Tabla 11. 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	$\text{Ca}^{2+} +$ Mg^{2+} mg-eq /L	$\text{HCO}_3^- +$ SO_4^{2-} mg-eq /L	Tipo	Clasificación
Y-1	0.4	1.0	0.0	1.0	1.5	1.0	3	FM
Y-2	0.4	1.2	0.0	1.0	1.5	1.0	3	FM
Y-3	0.4	1.3	0.2	1.0	1.6	1.2	3	FM
Y-4	0.4	2.9	0.2	2.4	3.4	2.6	3	FM
Y-5	0.4	1.1	0.0	1.0	1.6	1.0	3	FM
Y-6	0.4	6.9	0.3	5.3	7.3	5.6	3	FM
Y-7	0.6	4.5	0.1	3.9	5.1	3.9	3	FM
Y-8	0.5	5.4	0.7	4.4	5.9	5.1	3	FM
Y-9	1.9	2.6	0.2	2.3	4.5	2.5	3	FM
Y-10	0.7	5.6	0.6	4.4	6.3	5.0	3	FM

3.4.2. Clasificación de las aguas por su mineralización según Aliokin

De acuerdo a los valores calculados (ver Tabla 12) 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.

Las mayores mineralizaciones las presentan las muestras (Y-6, Y-8, Y-9, Y-10) representativas de los cuatro pozos que se encuentran ubicados más cercanos a la costa, los cuales de las diez muestras analizadas, presentan los mayores contenidos de salinidad (0.1mg/L), lo que significa elevados contenidos de los cationes Na^+ y K^+ y los aniones HCO_3^- , los cuales incrementan la mineralización de las mismas.

Tabla 12. Valores empleados en la determinación de la mineralización en g/L.

No Muestra	Mineralización (M)									Denominación
	Aniones				Cationes				M	
	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	
Y-1	62.0	17.0	0.0	0.0	8.8	12.5	8.1	0.8	0.1	Aguas dulces
Y-2	62.0	16.0	0.0	0.0	7.2	14.4	8.2	0.6	0.1	Aguas dulces
Y-3	63.9	18.0	8.5	0.0	7.2	15.4	8.5	0.7	0.1	Aguas dulces
Y-4	148.5	33.0	8.2	0.0	8.8	35.5	19.9	2.3	0.3	Aguas dulces
Y-5	63.9	18.0	0.0	0.0	8.8	13.9	9.1	0.7	0.1	Aguas dulces
Y-6	323.4	69.0	15.9	0.0	8.8	84.0	32.9	1.1	0.5	Aguas dulces
Y-7	236.9	33.0	3.0	0.0	12.8	54.7	18.9	1.3	0.4	Aguas dulces
Y-8	267.0	65.0	34.8	0.0	10.4	65.3	40.1	5.3	0.5	Aguas dulces
Y-9	139.1	104.9	11.8	7.5	37.6	31.7	44.4	8.8	0.4	Aguas dulces
Y-10	267.0	83.0	30.7	15.0	14.4	67.7	41.9	5.9	0.5	Aguas dulces

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

Según los resultados obtenidos en el laboratorio los valores de pH varían desde 7.14 y 7.87, representando un mínimo y un máximo respectivamente, según el análisis estadístico (ver Tabla 10), la media de los valores es 7.52. De ellas cuatro se clasifican como aguas neutras (Y-4, Y-6, Y-8, Y-10) por presentar valores entre 6.5 y 7.5, mientras las seis restantes se clasifican como aguas débilmente básicas con valores entre 7.5 y 8.5. Estos valores de pH se deben a la composición de los terrenos atravesados por las aguas.

De acuerdo a la NC 827: 2012, los valores de pH que presentan las diez 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. La (OMS, 2006) plantea que la desinfección con cloro es eficaz, cuando el pH es menor que 8; no obstante, el agua con un pH más bajo será probablemente corrosiva. El pH del agua que entra en el sistema de distribución debe controlarse para reducir al mínimo la corrosión del sistema de conducción en las instalaciones domésticas, el pH en las aguas analizadas mantiene valores por debajo de 8, por lo que no se consideran aguas corrosivas.

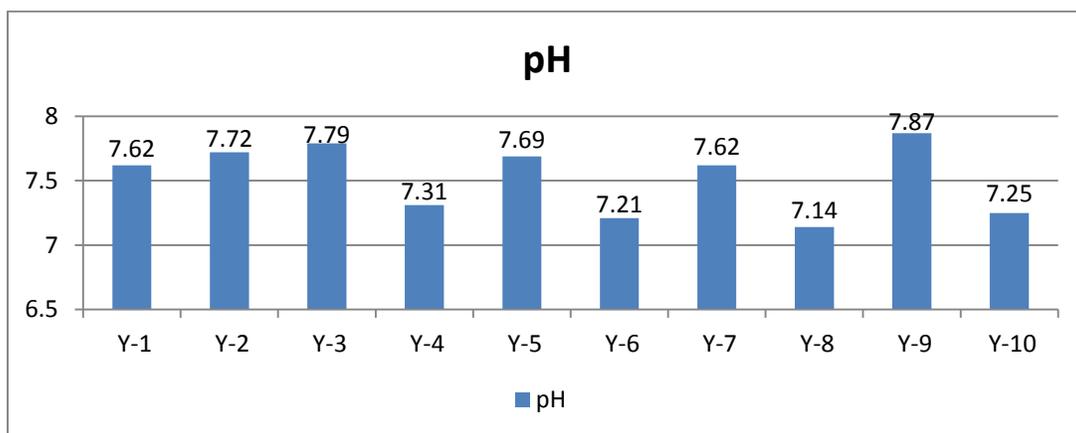


Figura 22. Comportamiento de los contenidos de pH en las muestras analizadas.

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 clasifican en muy blandas, blandas, algo duras y duras. De ellas se clasifica como muy blandas la muestra Y-1, como blandas (Y-2, Y-3, Y-5) por presentar valores entre 1.5 y 3.0 mg·eq/L, algo duras (Y-4, Y-7, Y-8, Y-9) con valores entre 3.0 y 6.0 mg·eq/L y duras (Y-6, Y-10) con valores entre 6.0 y 9.0 mg·eq/L, como se puede observar en la Figura 23.

En el caso de la muestra Y-1, perteneciente al río Yamanigüey, se clasifica como agua muy blanda, debido particularmente al medio geológico que el río atraviesa, fundamentalmente rocas ultrabásicas serpentinizadas, incorporando así bajos contenidos de Ca^{2+} y Mg^{2+} . Las muestras de aguas algo duras, también se ven influenciada por el medio geológico en que se desarrollan y por su ubicación cerca del mar, lo cual enriquece el agua en estos elementos antes mencionados y su dureza aumenta. Mientras que las muestras Y-6 y Y-10 están influenciadas por su cercanía al mar presentando las mayores durezas.

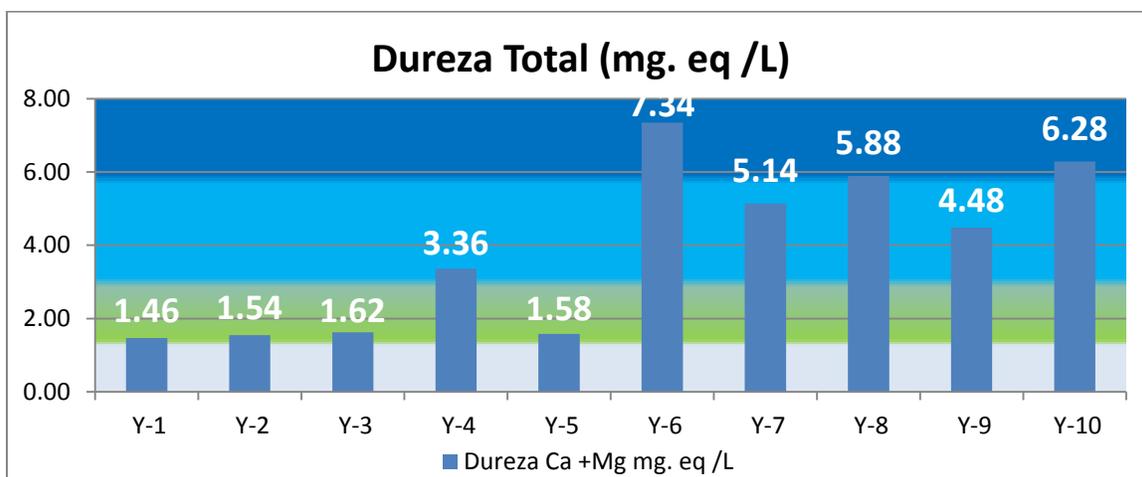


Figura 23. Comportamiento de los contenidos de dureza obtenidos de la suma de los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} expresada en mg· eq/L.

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

Los valores obtenidos de la dureza total como carbonato de calcio en las diez muestras analizadas, están expresados en miligramos por litros (mg/L). Los mismos se encuentran en correspondencia a la NC 827: 2012, 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 24).

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. Pero estos no se reportan en el área de estudio pues, las muestras pertenecientes al sistema de distribución, desde su captación (Y-1) hasta el tanque de distribución (Y-3), presentan valores de dureza por debajo de 200 mg/L (ver Figura 24).

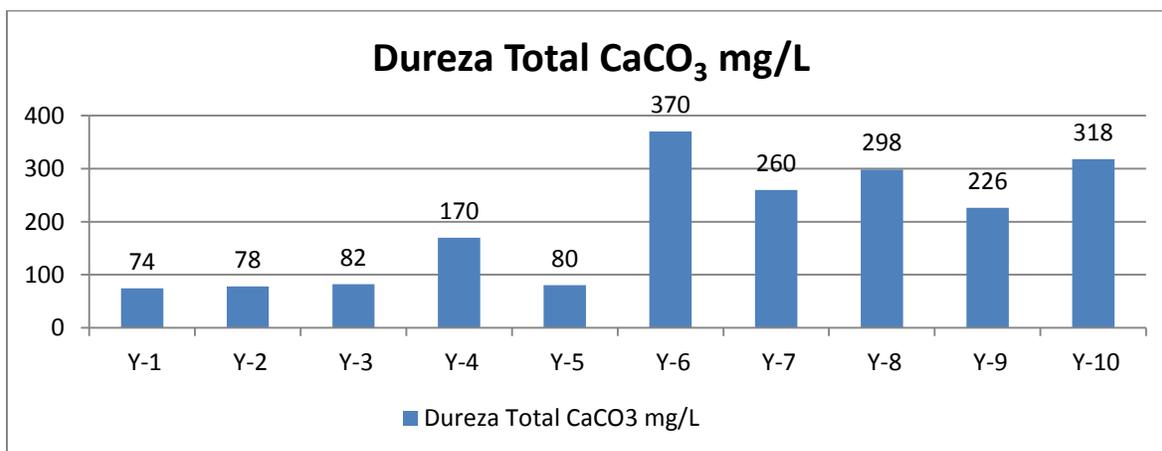


Figura 24. Comportamiento de los contenidos de Dureza Total en mg/L en las muestras analizadas.

3.4.6. Salinidad (%)

La salinidad del agua está dada por la concentración de sales disueltas en la misma. Los valores de salinidad en las muestras analizadas se mantienen bajos (ver Figura 25), sobresaliendo como contenido más alto 0.1%, según los datos del análisis estadístico (ver Tabla 10), presente en las muestras Y-6, Y-8, Y-9, Y-10, causado por la propia ubicación de los puntos de muestreo a pocos metros del mar, produciendo así contenidos considerables de cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y nitratos de sodio, potasio, calcio y magnesio en las aguas. Estos valores obtenidos no se consideran como negativos para la calidad de las aguas en cuestión.

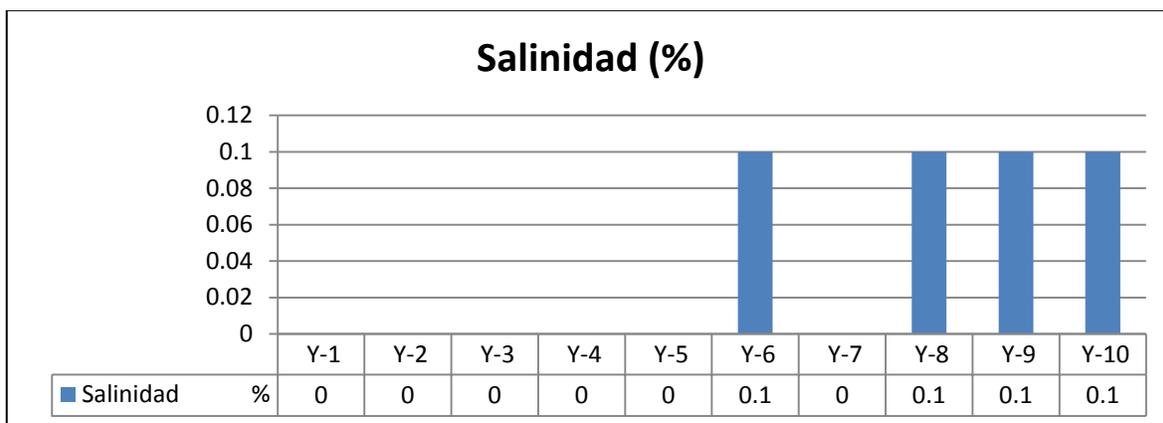


Figura 25. Comportamiento de los contenidos de Salinidad (%) determinados en el laboratorio.

3.4.7. Clasificación de las aguas por su grado de contaminación salina según Simpson

Los valores calculados del grado de contaminación salina a partir de los contenidos de Cl^- , CO_3^- , HCO_3^- , expresados mg-eq /L, arrojaron valores menores de 0.5 mg-eq/L, nueve de las diez muestras analizadas, por lo que son clasificadas como aguas normales.

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

La muestra Y-9 se comportó diferente, con un valor del grado de contaminación salina de 1.2 mg-eq/L (ver Figura 26), clasificada entonces como agua ligeramente contaminada por salinización, este valor está causado por la ubicación del punto del muestreo, ya que el mismo es un pozo y es el que precisamente se encuentra más cercano al mar, produciéndose un mayor intercambio iónico entre el agua del mismo y la del mar.

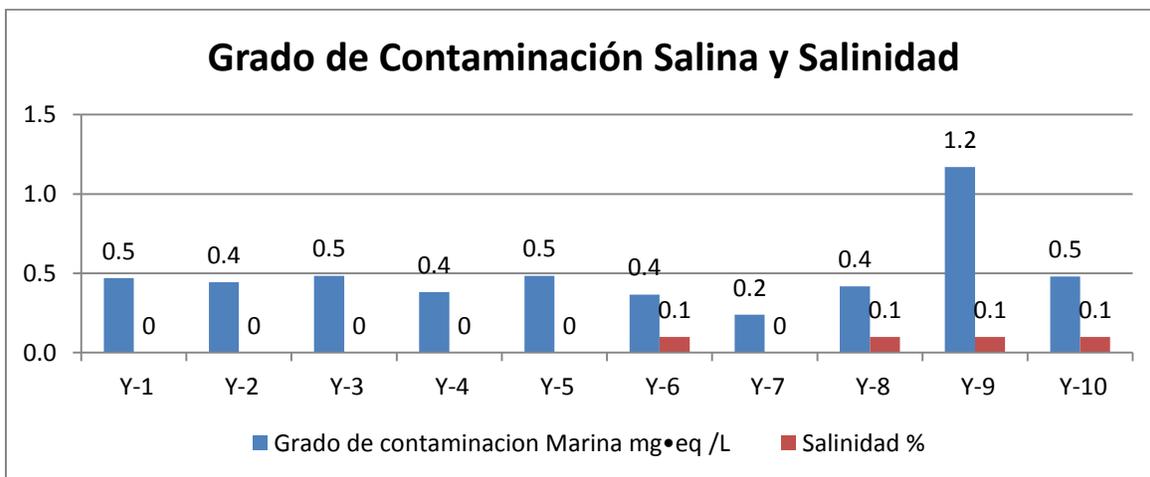


Figura 26. Contenidos del Grado de Contaminación Salina (mg•eq/L) y la Salinidad (%).

3.4.8. Clasificación de las aguas por el Índice de Salinidad Marina (ISM)

Los valores de salinidad, el grado de contaminación salina y el ISM se pueden afirmar que estos son relativamente correlacionables, ya que para sus respectivas determinaciones son utilizados los contenidos cloro, calcio, hidrogenocarbonato, carbonato, sodio, potasio y otros. De acuerdo a los valores determinados del Índice de salinidad marina las muestras se clasifican como no salinizadas, ya que los valores del ISM de cada muestra, son valores menores a 1. El análisis estadístico indica que el mayor valor del ISM es 1,2 por lo que la muestra Y-9, se considera como agua débilmente salinizada, esto se debe principalmente porque el pozo que representa esta muestra se encuentra a unos pocos metros del mar.

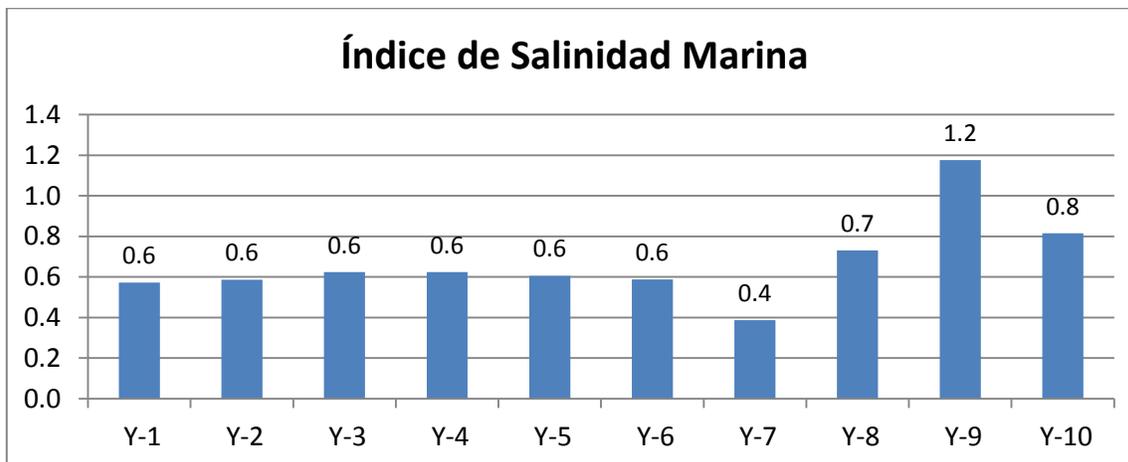


Figura 27. Comportamiento del índice de Salinidad Marina.

3.4.9. Temperatura (°C)

Los valores de temperaturas fueron medidos en el terreno, los valores oscilan entre 24 °C y 30 °C, según el análisis estadístico (ver Tabla 10). La temperatura más elevada corresponde a la muestra Y-5 (ver Figura 28), muestra tomada en el tanque de almacenamiento del policlínico, esta temperatura puede estar influenciada por la hora en se realizó el muestreo y las condiciones físicas del tanque, que al ser de metal, favorece el calentamiento.

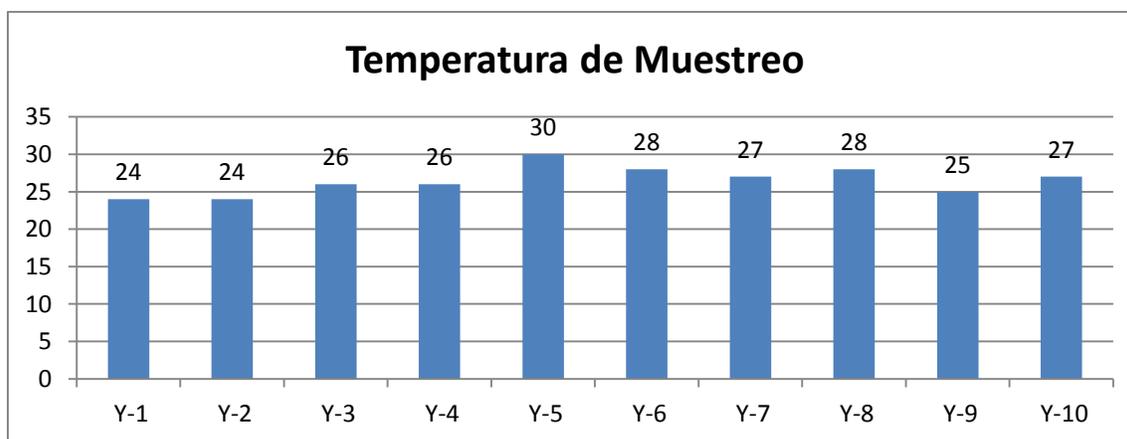


Figura 28. Temperaturas de muestreo in situ.

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

Las muestras de aguas subterráneas, es decir los pozos muestreados (Y-4, Y-6, Y-7, Y-8, Y-9, Y-10) son consideradas como aguas tibias por presentar valores entre 20 y 37 °C, según la clasificación establecida en (De Miguel Fernández, 2012). La temperatura alta del agua potencia la proliferación de microorganismos y puede aumentar los problemas de sabor, olor, color y corrosión.

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

La conductividad es la capacidad del agua para conducir la electricidad, depende del grado de mineralización de las aguas, con el aumento de la mineralización también aumenta la conductividad eléctrica, tal y como se comportan en las diez muestras analizadas, donde los mayores valores de conductividad están asociados a las muestras más mineralizadas, como se observa en la Figura 29.

Según el análisis estadístico (ver Tabla 10) los valores de conductividad se encuentran en el rango de 151 y 766 $\mu\text{s/cm}$, mientras que la mineralización varía entre 0.1 y 0.5 g/L.

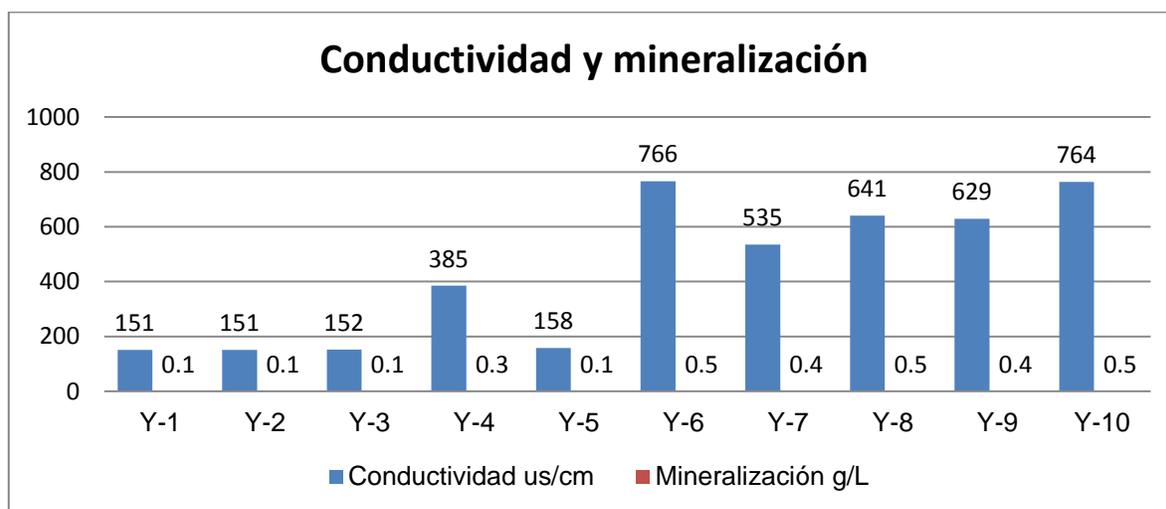


Figura 29. Comportamiento de los contenidos de conductividad y mineralización.

3.4.11. Alcalinidad (mg/L)

Las determinaciones de alcalinidad pueden dar estimaciones exactas de las concentraciones de los iones de bicarbonato y de carbonato. La alcalinidad es la medida de la capacidad del agua para mantener su pH estable frente a la adición de un ácido o una base. Los mayores contenidos de alcalinidad lo presentan las muestras Y-7, Y-8, Y-10 (ver Figura 30).

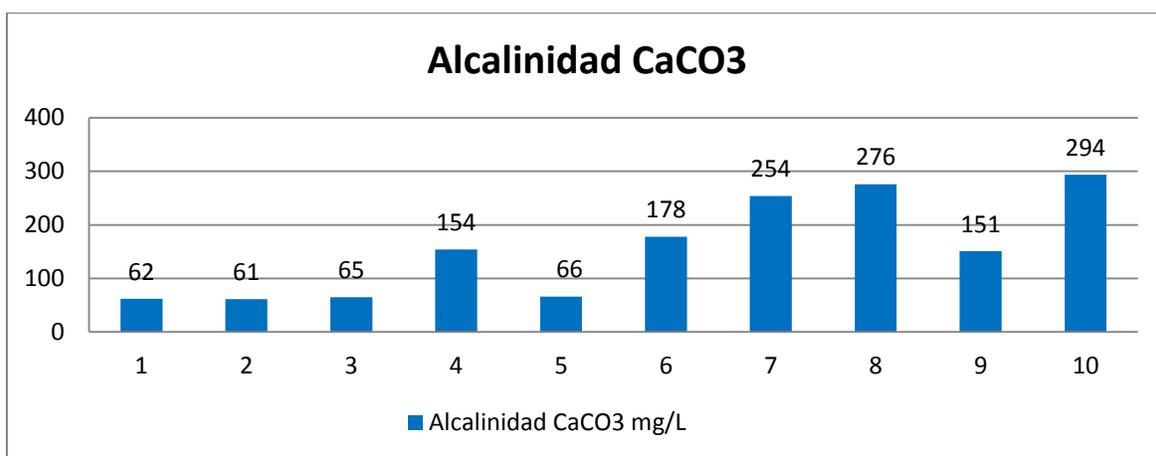


Figura 30. Contenidos de Alcalinidad.

3.4.12. Color (Pt/Co), Turbidez (NTU) y Sólidos en Suspensión (mg/L)

El agua subterránea normal es incolora, puede presentar cierta tonalidad de colores motivadas por turbidez de las mismas, existencia de sólidos en suspensión o por algún grado de contaminación, por lo que existe correspondencia entre el color, turbidez y sólidos en suspensión. Los valores del color son expresados en Unidades de Color escala Platino –cobalto (Pt/Co), la turbidez en Unidades Nefelométricas (NTU) y los Sólidos Suspendedos en miligramos por litro (mg/L).

Los valores de color y turbidez de las diez muestras, en correspondencia a la NC 827: 2012 y a la (OMS, 2006), son menores que el límite máximo admisible propuestos en dichas normas, siendo valores menores de 15 UC unidades de

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

color y 5 NTU la turbidez. La muestra Y-10 es la que presenta mayor turbidez debido a la presencia de partículas de materia inorgánica en el agua.

Los consumidores suelen considerar aceptable niveles de color menores que 15 UC, pero la aceptabilidad puede variar. Un nivel de color alto también puede indicar una gran propensión a la generación de subproductos en los procesos de desinfección. La turbidez también es un parámetro operativo importante en el control de los procesos de tratamiento, y puede indicar la existencia de problemas, sobre todo en la coagulación, sedimentación y en la filtración.

Los sólidos en suspensión reducen la penetración de la luz en el agua e impiden el proceso de la fotosíntesis, provocando que los microorganismos reduzcan su capacidad para sintetizar nutrientes.

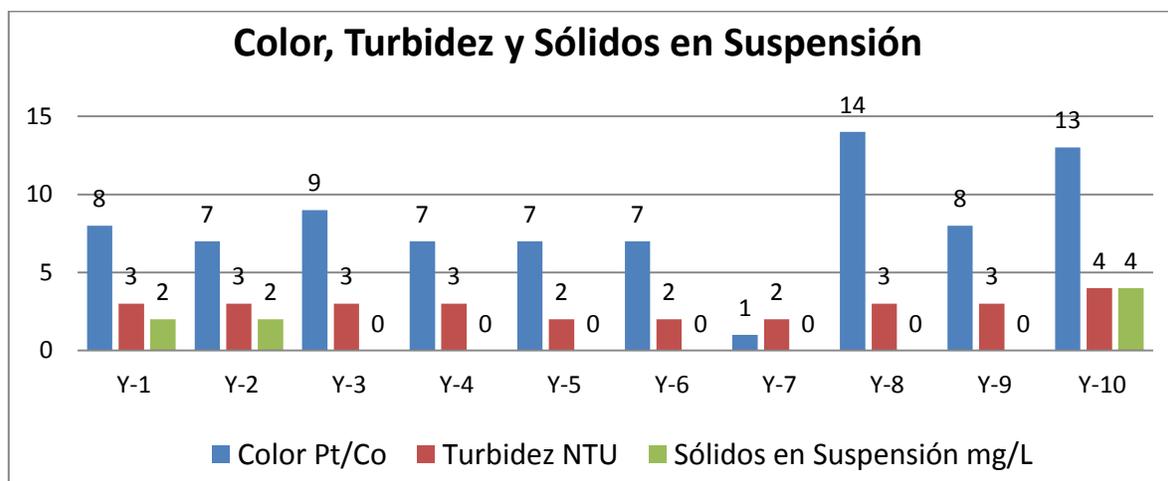


Figura 31. Comportamiento de los contenidos de Color, Turbidez y Sólidos en Suspensión.

3.4.13. Sólidos Totales Disueltos (STD, mg/L)

Los sólidos disueltos pueden ser de origen orgánico e inorgánico, incluyendo minerales, metales y gases. Generalmente son resultado de la acción solvente del agua sobre los sólidos, líquidos y gases. Los valores de los STD según el análisis estadístico varía entre 69 y 352 mg/L.

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

Los mayores valores observados en las muestras Y-6, Y-8 y Y-10 se deben al mal estado higiénico sanitario de los pozos, pero aun así de acuerdo a la NC 827: 2012 los contenidos de STD se encuentran por debajo del límite admisible (1000 mg/L), por lo que el agua se considera potable.

La potabilidad del agua según la (OMS, 2006) con una concentración de SDT menor que 600 mg/l suele considerarse buena, pero con concentraciones mayores que 1000 mg/l la potabilidad del agua de consumo disminuye significativa y progresivamente.

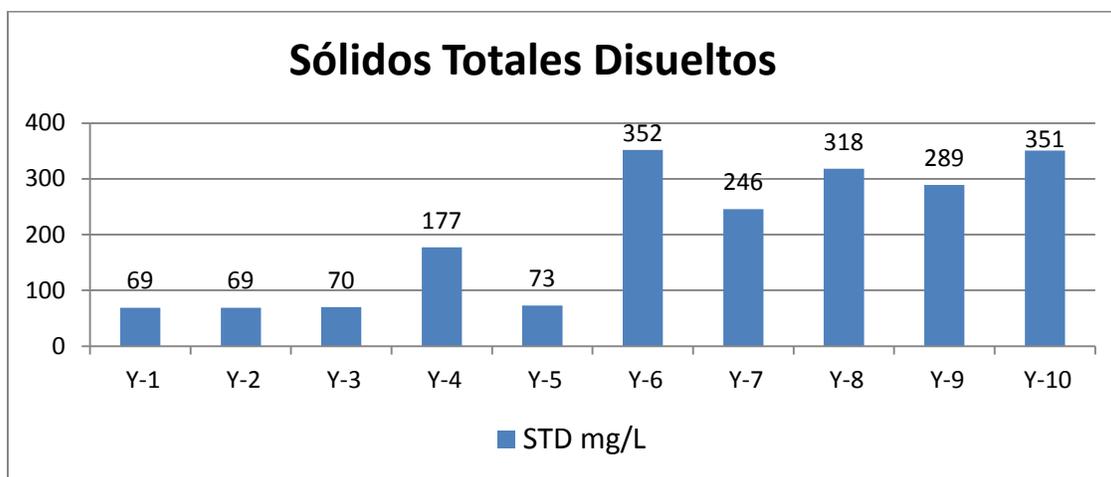


Figura 32. Contenidos en mg/L de los Sólidos Totales Disueltos.

3.5. 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 subterránea. Sin embargo, los pozos que no están bien contruidos, que están

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

agrietados o que no están bien sellados pueden proveer una puerta para que las bacterias coliformes entren al agua subterránea y las contamine. Lo antes expresado explica las mayores concentraciones de estos microbios en la primera y últimas muestras (16 NMP/100 mL), pertenecientes al río y a los pozos criollos respectivamente (ver Tabla 13).

Los contenidos de Coliformes Totales (9.2 NMP/100 mL) en las muestras tomadas posterior al proceso de purificación, son menores que los del agua del río, lo que justifica que el agua si está purificándose, a través del proceso de clorado. Pero aun así no cumple con la calidad bacteriológica necesaria para considerarse agua potable, ya que los Coliformes Totales, se encuentran por encima de los límites máximos admisibles (2 NMP/100 mL), propuestos en la norma NC 1021: 2014, para el agua una vez aplicada la desinfección. La relevancia de su presencia en el agua de consumo inmediatamente después de la desinfección, indica que el tratamiento es inadecuado. Estos valores después del proceso de purificación, se pueden explicar porque justo cuando se estaba tomando la muestra en la estación de bombeo, no se estaba realizando el proceso de purificación y debido al cloro residual presente en las tuberías por las posteriores horas de bombeo. Estos contenidos influyen y hacen que los contenidos de esos microbios disminuyan. Sin embargo el tanque de distribución general presenta los valores de coliformes totales en norma, por lo que el agua que es distribuida desde ese tanque se encuentra aceptable para el consumo según sus propiedades bacteriológicas. La presencia de coliformes totales en sistemas de distribución y reservas de agua almacenada puede revelar una reproblicación y posible formación de biopelículas, o bien contaminación por la entrada de materias extrañas, como tierra o plantas.

Los altos contenidos de Coliformes Fecales están condicionados por la presencia en áreas cercanas a los puntos de muestreo, letrinas, corrales de cerdo y zanjas para verter aguas residuales, todos estos focos aportan esos contenidos cuando son arrastrados por las lluvias.

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

Tabla 13. Resultados de los análisis bacteriológicos.

No. Muestra	Coliformes NMP	Totales	Coliformes NMP	Fecales
Y-1	> 16		> 10.0	
Y-2	> 9.2		> 2.2	
Y-3	<2.2		> 2.2	
Y-4	> 16		> 90.0	
Y-5	> 16		> 31.0	
Y-6	> 16		> 16.0	
Y-7	> 16		> 29.0	
Y-8	> 16		> 37.0	
Y-9	> 16		> 39.0	

3.6. Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento a través del Índices de Calidad del Agua (ICA)

A continuación se procede a realizar una evaluación de las aguas de abastecimiento de Yamanigüey a través del empleo del ICA propuesto por Montoya, escogido por sus diversos empleos en otras investigaciones y facilidad de trabajar con ellos a pesar de que no se tengan todos los parámetros para su cálculo. Además por considerarse como unos de los más completos e integradores, y por ser de los pocos con connotaciones legales para las aguas de consumo en Centro América.

A partir de los resultados obtenidos por la metodología de Montoya, empleando los contenidos de Conductividad, pH, Cloruro, Dureza Total como carbonato de calcio, Sólidos Totales Disueltos, Color, Turbidez, Coliformes totales, Sólidos en Suspensión, Alcalinidad y Coliformes Fecales, con pesos de importancia de 5, 1, 0.5, 1, 0.5, 1, 0.5, 3, 1, 0.5 y 4 respectivamente, las muestras analizadas se clasifican como aguas aceptables (9 muestras) y la restante como agua poco contaminada (ver Figura 33).

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

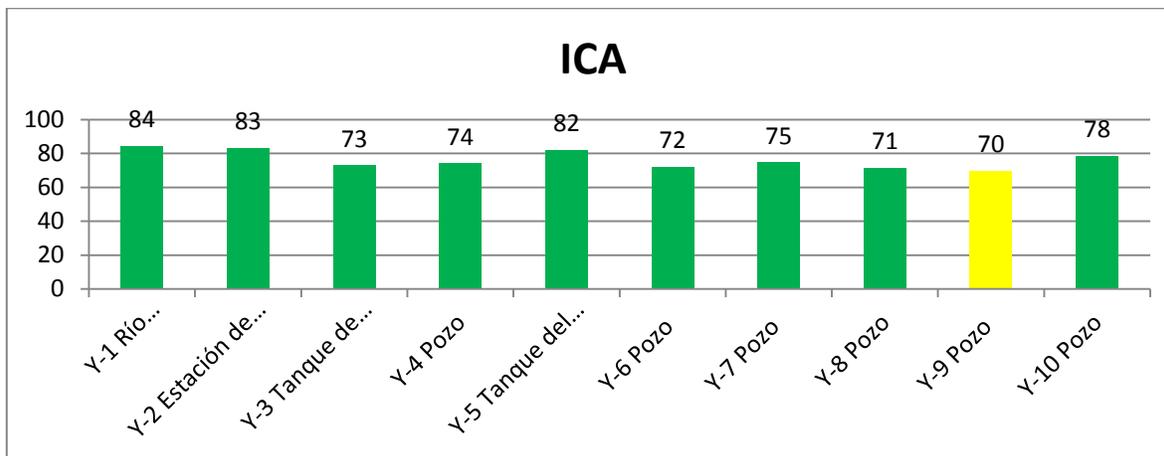


Figura 33. Resultados del Índice de Calidad de Montoya.

Las muestras clasificadas como aceptables son: las tomadas en el río Yamanigüey, las de la salida del proceso de tratamiento en la estación de bombeo, las tomadas en el tanque del policlínico y las muestras Y-4, Y-6, Y-7, Y-8, Y-10 correspondientes a 4 de los pozos muestreados. Estos resultados obtenidos están en correspondencia a los obtenidos por las Normas Cubanas NC 827:2012 y NC 1021:2014, en cuanto a sus propiedades físicas, químicas y bacteriológicas. De las ocho muestras clasificadas como aceptables los mayores valores lo obtuvieron Y-1 y Y-2, con valores de ICA igual a 84 y 83 respectivamente, (ver Figura 33). Esta categoría de aceptable significa que el agua presenta buena calidad, pero no se considera de excelente calidad, provocado por las alteraciones de las propiedades físicas - químicas y bacteriológicas, además del desfavorable estado higiénico sanitario, que incidieron de forma negativa en su calidad. Es importante concluir que estas aguas también son consideradas como agua potable, pero necesitan un proceso de purificación más fuerte.

La muestra de agua clasificada como poco contaminada son las aguas del pozo muestreado como Y-9, con un valor del ICA de 70. Esta calificación está condicionada por el mal estado higiénico sanitario del mismo además de sus elevados contenidos de Conductividad, Alcalinidad, Sólidos totales disueltos y Coliformes.

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

En el caso de las muestras Y- 3, Y- 4, Y-6 y Y-8 los valores del ICA son muy cercanos a la clasificación de poco contaminada, por lo que se requiere de una vigilancia y monitoreo de estas fuentes para controlar esta contaminación, principalmente la muestra Y-3 que es el tanque de distribución general del poblado (ver Figura 34).

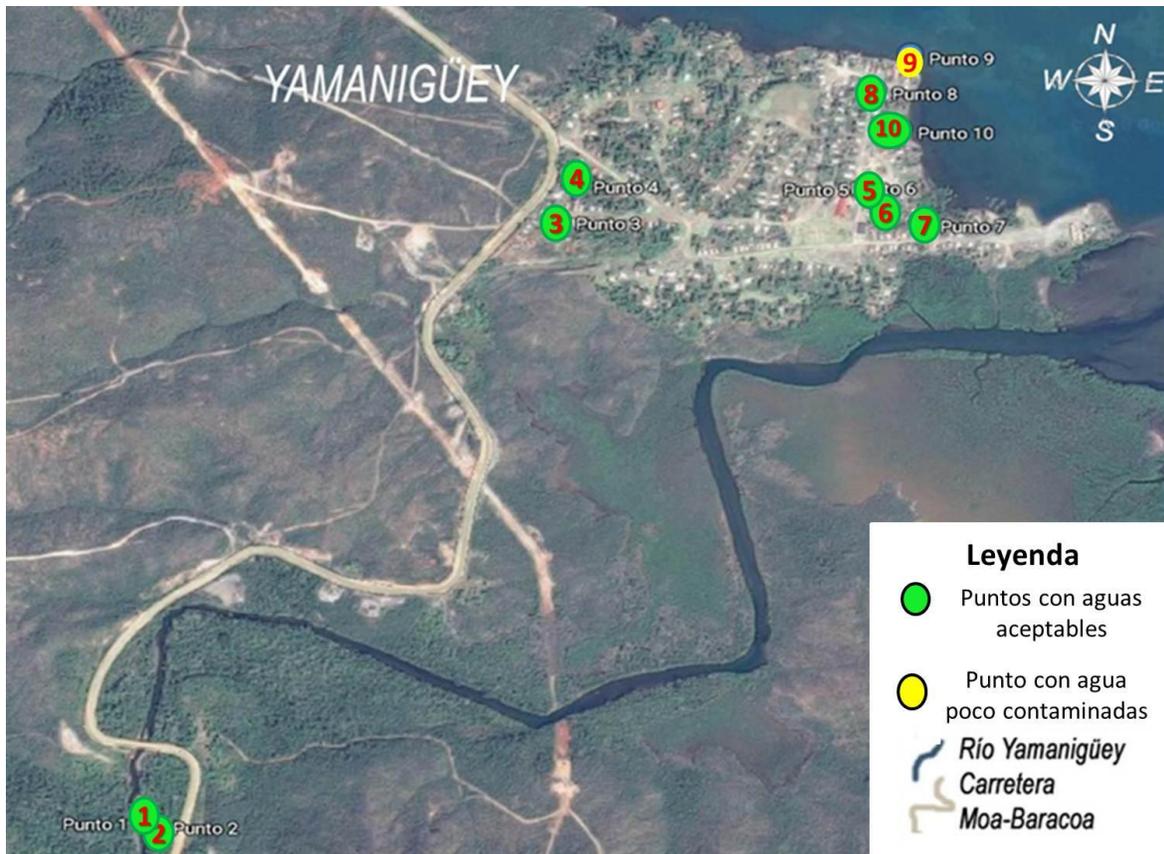


Figura 34. Imagen satelital de las clasificaciones de las aguas según los valores del ICA de Montoya.

A continuación en la Tabla 14, se exponen los resultados obtenidos de los ICA de cada parámetro y el ICA general.

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

Tabla 14. Resultados del Índice de Calidad de las Aguas (ICA) obtenidos por la metodología de Montoya.

Wi=	5		1		0.5		1		0.5		1		0.5		3		1		0.5		4.0		13.0
Mues tra	CON	ICA CON	pH	ICA pH	Cl ⁻	ICA Cl ⁻	DT	ICA DT	STD	ICA STD	Color	ICA color	TUR	ICA TUR	CT	ICA CT	SS	ICA SS	ALC	ICA ALC	CF	ICA CF	ICA
Y-1	151	81	7.6	97	17	2	74	70	69	108	8	67	3	89	16	206	2	206	62	49	10	34	84
Y-2	151	81	7.7	91	16	2	78	69	69	108	7	69	3	89	9	178	2	206	61	49	2	51	83
Y-3	152	80	7.8	87	18	2	82	68	70	108	9	64	3	89	2	121	0	0	65	49	2	51	73
Y-4	385	57	7.3	120	33	2	170	48	177	106	7	69	3	89	16	206	0	0	154	41	90	19	74
Y-5	158	79	7.7	93	18	2	80	68	73	108	7	69	2	95	16	206	0	0	66	48	31	25	82
Y-6	766	44	7.2	128	69	3	370	21	352	103	7	69	2	95	16	206	0	0	178	40	16	30	72
Y-7	535	50	7.6	97	33	2	260	33	246	105	1	123	2	95	16	206	0	0	254	38	29	25	75
Y-8	641	47	7.1	134	65	3	298	29	318	104	14	56	3	89	16	206	0	0	276	37	37	24	71
Y-9	629	47	7.9	82	105	3	226	38	289	104	8	67	3	89	16	206	0	0	151	42	39	23	70
Y-10	764	44	7.3	125	83	3	318	26	351	103	13	58	4	84	16	206	4	160	294	37	47	22	78

3.7. Plan de medidas para el control y mitigación de contaminación de las aguas en el poblado Yamanigüey.

La forma más eficaz de garantizar sistemáticamente la seguridad de un sistema de abastecimiento de agua de consumo es aplicando un planteamiento integral de evaluación de los riesgos y gestión de los riesgos que abarque todas las etapas del sistema de abastecimiento, desde la cuenca de captación hasta su distribución al consumidor.

A continuación en la tabla 15, se describen las principales fuentes contaminantes que se detectaron en los puntos muestreo, así como las principales medidas que se deben tener en cuenta para prevenirlas, controlarlas y erradicarlas, también se presentan las principales entidades responsables de orientar y velar por que se ejecuten las mismas.

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

Tabla 15. Plan de medidas para el control y mitigación de contaminación de las aguas en el poblado Yamanigüey.

FUENTES CONTAMINANTES	ACCIONES	RESPONSABLES	EJECUTA
Sedimentos y materiales suspendidos en el tanque de distribución.	<ul style="list-style-type: none"> - Limpieza y remoción de desechos sólidos remanentes en el fondo de los tanques, a través de trabajos voluntarios propuestos en la comunidad. - Mantener el tanque tapado para evitar el arrojado de materiales adentro del mismo. - Implementar un límite de seguridad para impedir el paso de personal no autorizado al tanque. - Contratar un agente de seguridad para velar por la seguridad y preservación del tanque de distribución general del poblado. 	Gobierno municipal, Presidente del CDR	Población
Contaminación de aguas subterráneas por efluentes domésticos.	<ul style="list-style-type: none"> - Usar detergentes biodegradables. - Depositar estas aguas residuales en fosas alejadas de los pozos de agua potable. - No verter los efluentes domésticos en ríos, playas y pozos. 	Población	Población
Deposición de los desechos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> - Ubicación de un micro-vertedero sanitario según normas establecidas. - Implementación de una política para reciclar desechos sólidos. 	Gobierno municipal, Comunales, CITMA	Gobierno municipal y el CITMA

Capítulo III: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey

<p>Deposición de desechos sólidos y fecales en la bahía.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar e implementar la política relativa a la educación ambiental de la comunidad. - Crear una conciencia ciudadana sobre el cuidado y protección del Medio Ambiente. - Disponer controles más estrictos para prohibir y velar la disposición de desechos en la bahía. - Realizar campañas educativas para lograr actitudes positivas hacia la conservación del agua. - Prohibir el uso de tuberías que descarguen en el mar. - Prohibir la construcción de letrinas, corrales de animales cerca o en la línea de costa 	<p>Gobierno municipal, CITMA, ISMMM</p>	<p>CITMA, Gobierno municipal, ISMMM</p>
<p>Utilización de la zona de captación de agua para el bombeo como área recreativa fundamentalmente en verano.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Prohibir el uso de esta zona y aguas arribas de la misma, como área recreativa. - Mantener mayor control sobre la calidad del proceso de purificación. - Capacitar al personal encargado de la vigilancia del proceso de distribución de estas aguas. 	<p>CITMA, Gobierno municipal, personal de las operaciones en la estación de bombeo, Recursos hidráulicos.</p>	<p>Personal de las operaciones en la estación de bombeo, Recursos Hidráulicos</p>

CONCLUSIONES

- El estado higiénico sanitario de las fuentes de abastecimiento de agua del poblado Yamanigüey se encuentra afectado por las actividades antrópicas en la zona de estudio: deficiencia en el proceso de cloración, falta de limpieza en el tanque de almacenamiento, ausencia de barreos de contención, mala ubicación de los pozos criollos, presencia de letrinas sanitarias cercanos a los pozos y vertederos de desechos sólidos próximos a las fuentes de agua.
- Las propiedades físicas - químicas y bacteriológicas de las aguas analizadas, según las Normas Cubanas y la Norma de la Organización Mundial de la Salud, presentan valores menores del límite máximo admisible, por lo que son consideradas como aguas potables. Clasificándose las fuentes según Aliokin como aguas hidrocarbonatadas –Clóricas –Magnésicas-Sódicas, según su dureza como aguas blandas, algo duras y duras y por su pH neutras y débilmente básicas y por su mineralización como aguas dulces.
- De acuerdo a los resultados obtenidos por la metodología del Índice de Calidad de las aguas de Montoya, 1997, las muestras analizadas se clasifican en aguas aceptables y poco contaminadas. Las muestras clasificadas como aceptables son: las tomadas en el río Yamanigüey, las de la salida del proceso de tratamiento en la estación de bombeo, las tomadas en el tanque del policlínico y las muestras Y-4, Y-6, Y-7, Y-8 y Y-10 correspondientes a cuatro de los pozos muestreados. La muestra de agua clasificada como poco contaminada son las aguas del pozo muestreado como Y-9.
- Se realizó un plan de acción de medidas de control y de mitigación de la contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua y los pozos criollos de posible utilización cuando existe déficit en la red de distribución, el cual fue analizado con los especialistas del CITMA municipal, especialista de salud pública, el representante del Parque Nacional Alejandro de Humboldt en el poblado de Yamanigüey.

RECOMENDACIONES

- Realizar monitoreos sobre la calidad de agua, mediante la evaluación de las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas periódicamente, y así dar alertas tempranas sobre su variabilidad del comportamiento de calidad de las fuentes, fundamentalmente la muestra Y-3, por ser el tanque de distribución general del poblado y presentar valores del ICA cercanos a la clasificación de aguas poco contaminadas.
- Desarrollar e implementar campañas y programas de divulgación ambiental según las necesidades de la comunidad para crear una conciencia ambiental sobre la protección y conservación de las aguas.
- Conducir los procesos de adaptación y mitigación al cambio climático difundiendo sus consecuencias, mediante la capacitación de los diversos actores sociales para organizarse y difundirlos en la comunidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldana Aguilar, M. L., & Zacarias Laynes, Edison, E. (2013). Determinación de los índices de calidad de agua del río Cucabaj y la influencia en los costos de tratamientos de potabilización, 5. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/218515499/Articulo-Agua-Río-Cucabaj-2013-11>
- Atkins, D., Calderon, C., Montoya, E., & Morales, E. (n.d.). *Evaluación de la Calidad del Agua en Cajamarca, Perú: Informe Anual de Monitoreo , 2004-2005*. Perú.
- Balmaseda Espinosa, C., & García Hidalgo, Y. (2014). Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3), 6. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000300002&lng=pt&nrm=iso&tlng=es
- Calvo Brenes, G. (2012). Nueva metodología para valorar la calidad de las aguas superficiales para su uso como clase 2 en Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 26, 9–19.
- Cardona, A. J. (2003). *Calidad y riesgo de contaminación de las aguas superficiales en la micocuenca del Río La Soledad , Valle de Ángeles, Honduras*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Escuela de Posgrado Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas.
- Carrillo Castro, A. G., & Villalobos Alcázar, R. (2010). *Análisis comparativo de los Índices de Calidad del Agua (ICA) de los Ríos Tecolutla y Cazonas en el período marzo-diciembre 2010*. Universidad Veracruzana.
- Cesar Tello, C. (2013). *Diagnóstico Ambiental de las UEB Fábrica de productos Alimenticios y Mantenimiento*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- Chiliquinga Quinapanta, C. A., & Donoso Cruz, H. E. (2012). *Caracterización de la calidad de agua de la micocuenca del río Pachanlica de la provincia de Tungurahua tomando como base la metodología ICA de Montoya*. Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo.

Climate Data. (2018). Climate Data. Retrieved March 31, 2018, from <https://es.climate-data.org/location/337337/>

Crespo Lambert, M., & Dunán Ávila, P. L. (2017). *Cartografía geológica, escala 1:50 000 del sector Yamanigüey, municipio Moa*. Moa.

De los Angeles Megía, P. J. (2010). Calidad del agua de riego, 1–10.

De Miguel Fernández, C. (2012). *Hidrogeología aplicada con aspectos ambientales*. (Editorial Digital UniversitariaMoa, Ed.) (Unica). Moa.

Deloya Martínez, A. (2006). Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales. *Technología En Marcha*, 19(2), 31–40.

Dignorach Suárez Malcolm, E., & Lima Pimienta, A. B. (2015). Investigación Hidrogeológica para la captación de agua para el riego del campo de golf los Flamencos, Cayo Coco. *XI Congreso Cubano de Geología. Taller Sobre Aguas Subterráneas Y Contaminación.*, 1–5.

Duran Morales, A. (2005). *Estudio de la calidad de las aguas de la dársena del Puerto de Moa*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. (2017). *Informe anual de precipitaciones de Moa*. Moa.

Fernández-Miguel, C., & Vázquez-Taset, Y. (2006). Origen de los nitratos y nitritos, su influencia en la potabilidad de aguas subterráneas. *Minería Y Geología*, 22(3), 1–9.

Fernández Fis, Y. Y. (2007). *Riesgos ambientales por contaminación en las aguas superficiales del río Moa*. Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa.

Fernández Parada, N. J., & Solano Ortega, F. (2013). Índices de calidad (ICAS) y de contaminación (ICOS) del agua de importancia mundial. *Conferencia Internacional Usos Múltiples Del Agua: Para La Vida Y El Desarrollo Sostenible*, (III), 116.

- Fernández Rodríguez, M. (2003). *Evaluación de la calidad de las aguas de consumo humano en la zona urbana de la ciudad de Moa*. Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa.
- Fernández Rodríguez, M. (2007). Evaluación de la calidad físico- química y bacteriológica del agua subterránea en pozos criollos del municipio de Moa. *Water*, 23(4), 11.
- García Hidalgo, Y., & Balmaseda Espinosa, C. E. (2013). Índice simplificado de gestión de la cuenca del río Naranjo , municipio Majibacoa , provincia Las Tunas Watershed management simplified index of Naranjo river , majibacoa municipality , Las Tunas province. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 34(1), 5.
- González Cabrera, N. A., Peláez García, R., & Sobrino Hernández, E. (2013). Características geológicas, hidrogeológicas y ambientales del sistema acuífero carbonatado sur en el Occidente de Cuba: sector los Palacios- Candelaria. *X Congreso Cubano de Geología (GEOLOGIA 2013) Hidrogeología E Ingeniería Geológica*, 17.
- Guzman, V., & Narvaez, R. (2010). *Linea base para el monitoreo de la Calidad De Agua de riego en la demarcación hidrográfica del Guayas*. Ecuador.
- Laurencio Ricardo, N. (2005). *Eficacia del proceso de potabilización de las aguas superficiales en la Planta de Tratamiento de la Empresa Ernesto Che Guevara*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- Lobaina Infante, D. (2009). *Evaluación de la contaminación microbiológica y calidad física -química de las aguas de abasto de Centros Educativos en el municipio Moa*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- Miravet Sánchez, B. L., García Rivero, A. E., López Del Castillo, P., Alayón García, G., & Salinas Chávez, E. (2016). Calidad de las aguas del río Ariguanabo según índices físico-químicos y bioindicadores. *Ingeniería Hidráulica Y Ambiental*, 37(2), 108–122. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=zbh&AN=116563270&lang=es&site=eds-live>

Tesis presentada en opción al Título de Ingeniera Geóloga

- Nava Ramírez, C. (2008). Estadísticas del agua en México 2008, 29.
- Norma Cubana. (1985). Proyecto Norma. Sistemas de abastecimiento público de agua. Requisitos sanitarios y muestreo., 15.
- Norma Cubana. (2012). NC 827: 2012 Agua potable — requisitos sanitarios, (261), 830–835.
- Norma Cubana. (2014). Nc 1021: 2014 Higiene comunal — fuentes de abastecimiento de agua — calidad y protección sanitaria, (261), 830–835.
- OMS. (2006). Guías para la calidad del agua potable. *Atención Primaria*, 1, 7. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00006-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00006-6)
- Pérez Castillo, A. G., & Rodríguez, A. (2008a). Índice físico químico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología Tropical*. <https://doi.org/ISSN-0034-7744>
- Pérez Castillo, A. G., & Rodríguez, A. (2008b). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista Biología Tropical*, 56(December), 1905–1918.
- Pérez Osorio, G., Arriola Morales, J., García Lucero, T., Saldaña Balanco, M. L., & Mendoza Hernández, J. C. (2016). Evaluación de la calidad del agua de Cuatro Jagüeyes del Parque Estatal “Flor del bosque”, Puebla, México. *Ra Ximhai*, 12(1665–441), 17.
- Polanco Almaguer, P. (2012). *Influencia de los procesos geológicos en la morfología costera del municipio Moa*. ISMMM.
- Puebla Tamayo, Y. (2009). *Evaluación de la Materia Orgánica ,el Cloro Residual en las aguas de consumo humano de la ciudad de Moa en el Periodo febrero -Abril de 2009*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- Rodríguez Infante, A. (2005). Estudio Morfotectónico De Moa Y Áreas. *Minería Y Geología*, v.21, n.3,(0258 5979), 39.

Tesis presentada en opción al Título de Ingeniera Geóloga

- Rodríguez Infante, A. (2007). Morfoalineamientos en la zona costera entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa. *Minería Y Geología*, v.23 n.3(1993 8012), 17.
- Rubio Arias, H. O., Ortiz Delgado, R. C., Quintana Martínez, R. M., Saucedo Terán, R. A., Ochoa Rivero, J. M., & Rey Burciaga, N. I. (2014). Índice De Calidad De Agua (Ica) En La Presa La Boquilla En Chihuahua, México. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, 1, 12. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282014000200005%0Ahttp://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282014000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=en%0Ahttp://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S20
- Rubio Caballero, D. de la C. (2017). *Evaluación de la calidad de las aguas en el poblado La Melba*. Instituto Superior Minero Metalúrgica de Moa.
- Ruiz, F., Pérez, M., Beltrán, J., Mnceba, H., Regadera, R., Martín, A., ... Solar, F. (2008). Estado Actual De La Calidad Ambiental De La Bahía de Matanzas y su evolución en el tiempo. *Rev. Invest. Mar.*, 29(1), 13–22.
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería E Investigación*, 27(3), 172–181.
- Soto, J. C. (2012). *DNCA-DHN-12-01 "Análisis de la calidad del agua en la subcuenca del Río Coca."* Ecuador. Retrieved from <http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/InformeCocaFinal1.pdf>
- Sucoshañay Villalba, D. J., Gutiérrez Hernández, J. E., García Rivero, A. E., Ledesma Acosta, R., & Mira Vásquez, J. M. (2015). Evaluación de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca del río Puyo de la amazonia ecuatoriana a partir de un índice integrador (ICA_sp). *Ciencias de La Tierra Y El Espacio*, 16(1729–3790), 225–236.
- T. Brady, M. (2009). Consumo de agua de pozos particulares y riesgos para los niños.

Revista de Pediatría, 67(6), 7.

Torres, P., Hernán Cruz, C., & Janeth Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79–94. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.IYU18-2.ifcd>

Torres Vega, F. J. (2009). *Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico*. Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez.

Truque B, P. A. (2003). Armonización de los estándares de agua potable en las Americas. *Organization of American States. Departament of Sustaninable Development*.

Valcárcel Rojas, L., Portela Borroto, J., Alberro Macías, N., Griffith Martínez, J., Derivet Zarzabal, M., Flores Juan, P., ... Domínguez Catusus, J. (2010). Modelación de la calidad del agua en el segmento medio del río Luyanó. *Ciencias Nucleares*.

Viltres Milán, Y. (2011). *Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector este del municipio Moa*. Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa.

Yamanigüey - EcuRed. (2018).