



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE MOA
“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

*Trabajo de Diploma en opción
al
Título de Ingeniera Geóloga.*

**Evaluación de la calidad del agua de abastecimiento
en los asentamientos rurales Cañete y Cupey
mediante el Índice de Calidad de Agua CCME_WQI.**

Autora: Yarisleydis Rodríguez Hechavarría.

Tutora: MSc. Moraima Fernández Rodríguez

Curso 2018-2019

Declaración de autoridad

En decisión conjunta, la autora Yarisleydis Rodríguez Hechavarría y la tutora MSc. Moraima Fernández Rodríguez, certificamos nuestra propiedad intelectual en este Trabajo de Diploma, el cual se titula **“Evaluación de la calidad del agua de abastecimiento en los asentamientos rurales Cañete y Cupey mediante el Índice de Calidad de agua CCME_WQI”**. La Universidad de Moa, podrá hacer uso del trabajo para sus fines educativos y docentes a partir del 2020.

Autora

Yarisleydis Rodríguez Hechavarría

Tutora

MSc. Moraima Fernández Rodríguez

Pensamientos



"Los hombres pasan, los pueblos quedan; los hombres pasan, las ideas quedan".

Fidel Castro Ruz
20 julio 1996

"los científicos leen en la naturaleza, incluso leen cosas que están escritas con letras muy pequeñas, pero los ingenieros; los ingenieros escriben en la naturaleza."

Carlos Fernández Casado

DEDICATORIA

A mis padres Gisela Hechavarría Pérez y Presciliano Rodríguez Vázquez, a mis hermanos, a mis familiares, amigos y profesores.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y la Revolución Cubana por darme esta oportunidad ya que gracias a ella he podido convertirme en una profesional. A mis padres porque gracias a ellos he llegado hasta aquí, sin su apoyo, confianza, cariño y dedicación no sería lo que soy hoy. A mis hermanos los cuales me han dado su apoyo y han estado conmigo en todo momento de la vida, en especial a mi tata porque ha sido mucho más que un hermano apoyándome en todo momento y a su esposa Grisel Martínez. A mis dos viejitos Eliecer Rodríguez y Ana Pérez por ser como otros padres para mí dándome su apoyo y amor incondicional. A mi novio por estar siempre a mi lado dándome el amor necesario para poder seguir adelante cada día y poder llegar hasta el final. A mi tutora MSc. Moraima Fernández Rodríguez por ayudarme en toda la investigación y brindándome todos sus conocimientos que sin los cuales no hubiera podido lograrlo. A todos los profesores por su ayuda incondicional en los cinco años. A mi familia que de una forma u otra me apoyaron y confiaron en mí para logra mis objetivos. A todos mis compañeros de aula por su confianza en todo el tiempo que hemos estado juntos y en especial a mis compañeras de cuarto y los que no son de mi aula también. A Idania Romero representante del CITMA en Moa por su apoyo en esta investigación. Al MSc. Pedro Rafael Basas por su apoyo y facilitar que este trabajo se realizara. A todos aquellos que de una forma u otra me han ayudado desinteresadamente aun sin conocerme.

A todos:

Muchas gracias.

RESUMEN

El agua es vital para el ser humano y el desarrollo de la vida en el planeta; en los últimos años se ha visto afectada debido a diferentes causas naturales y antrópicas y se ha hecho necesaria su cuantificación y evaluación, por tal motivo surge la presente investigación cuyo objetivo es evaluar la calidad de las aguas de abastecimiento en los asentamientos rurales Cañete y Cupey mediante el Índice de calidad CCME_WQI, para conocer su estado actual y proponer medidas de control y mitigación. Se determinaron las principales fuentes de contaminación que afectan las aguas de Cañete y Cupey, las características físico-químicas de estas y se clasificaron según los diferentes autores, las normas cubanas NC: 827: 2012, NC: 1021: 2014 y la norma de la OMS, 2006. Las principales fuentes de contaminación se encuentran asociadas a la actividad antrópica. La gran mayoría de las muestras analizadas se clasifican en cloruradas – magnésica – sódica. En correspondencia con el índice de calidad de agua CCME_WQI las aguas se clasifican en aguas buenas y aguas favorables. Se confeccionó un plan de medidas de prevención y mitigación de las aguas de abasto de los asentamientos rurales Cañete y Cupey.

ABSTRACT

Water is vital for the human being and the development of life on the planet; in recent years it has been affected due to different natural and anthropic causes and it has become necessary to quantify and evaluate it, for this reason the present investigation arises whose objective is to evaluate the quality of the water supply in the rural settlements Cañete and Cupey through the CCME_WQI Quality Index, to know its current status and propose control and mitigation measures. The main sources of contamination affecting the waters of Cañete and Cupey were determined, the physico-chemical characteristics of these and classified according to the different authors, the Cuban norms NC: 827: 2012, NC: 1021: 2014 and the norm of the WHO, 2006. The main sources of contamination are associated with anthropogenic activity. The vast majority of the samples analyzed are classified as chlorides - magnesium - sodium. In correspondence with the water quality index CCME_WQI the waters are classified into good and favorable waters. A plan of measures for the prevention and mitigation of the supply waters of the Cañete and Cupey rural settlements was drawn up.

ÍNDICE:

INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	4
CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	21
1.1 Introducción	21
1.2. Ubicación geográfica del área de estudio	21
1.3 Características socioeconómicas de la región.	22
1.4 Geomorfología regional.....	22
1.5 Características geológicas	24
1.6 Hidrografía	27
1.7 Clima.....	29
1.8 Precipitaciones.....	30
1.9 Vegetación	31
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS REALIZADOS	32
2.1 Introducción	32
2.2 Etapa I: Recopilación de la información y revisión bibliográfica.....	33
2.3 Etapa II: Trabajo de campo, muestreo y laboratorio	33
2.3.1 Levantamiento hidrogeológico a escala 1: 50 000	33
2.3.2 Muestreo hidroquímico.	33
2.4 Técnica empleada para las tomas de muestras de agua en los puntos muestreados.	34
2.5 Procesamiento y análisis de la información.	37
2.6 Evaluación de la calidad de las aguas por su composición física-química. .	37
2.6.1 Clasificación de las aguas por su composición química.	38
2.6.2 Clasificación de las aguas según su mineralización	38
2.6.3 Clasificación de las aguas por el pH.....	39
2.6.4 Clasificación de las aguas por su dureza.....	39
2.6.5 Clasificación de las aguas por su grado de contaminación salina y el índice de salinidad marina.	40
2.7 Índice de calidad de agua CCME_WQI.....	41
2.7.1 Metodología del Índice de Calidad de Agua CCME_WQI.....	42

2.8 Etapa III: Trabajo de gabinete.....	44
CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE ABASTECIMIENTO DE CAÑETE Y CUPEY.....	45
3.1 Introducción.....	45
3.2 Descripción de los puntos de muestreo.	45
3.3 Principales fuentes de contaminación de las aguas de Cañete y Cupey.	54
3.4 Caracterización física - química de las aguas.....	57
3.4.1 Clasificación de las aguas por su composición química según Aliokin..	61
3.4.2 Clasificación de las aguas por su mineralización según Aliokin	62
3.4.3 Clasificación de las aguas por el pH según E.B Pasoxov	63
3.4.4 Clasificación de las aguas por su dureza total según Aliokin.....	63
3.4.5 Clasificación de las aguas por su grado de contaminación salina y el índice de salinidad marina.	64
3.4.6 Salinidad (%)	66
3.4.7 Turbidez (NTU)	67
3.4.8 Sólidos Totales Disueltos (STD) y Conductividad (CE)	68
3.4.9 Hierro (Fe^{2+})	68
3.4.10 Calcio (Ca^{2+})	69
3.4.11 Magnesio (Mg^{2+})	70
3.4.12 Sodio (Na^{2+})	70
3.4.13 Potasio (K^{+}).....	71
3.4.14 Cloruros (Cl^{-}).....	72
3.5 Evaluación de la calidad de las aguas a través del Índices de calidad del Agua (CCME_WQI).....	73
3.6 Influencia del cambio climático en la calidad de las aguas de Cañete y Cupey.....	75
3.7 Plan de medidas para prevenir la contaminación de las aguas en los asentamientos rurales Cañete y Cupey.	76
3.8 Valoración económica de los trabajos realizados.	78
Conclusiones.....	80
Recomendaciones.....	81
Bibliografía	82

INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para mantener la vida y el equilibrio ecológico de nuestro planeta; es indispensable en el mantenimiento de las funciones de los organismos y de los ecosistemas, se utiliza en la producción de alimentos, para cubrir las necesidades de agua potable de las poblaciones humanas, en la higiene personal y la producción industrial y pesquera.

La conservación de los recursos hídricos constituye una de las actividades prioritarias de la comunidad científica de nuestro país e internacionalmente, por ello el estudio de la problemática ambiental, la contaminación y calidad de las aguas subterráneas y superficiales es de vital importancia. En la calidad del agua para el consumo humano son factores claves la composición química, las propiedades físicas y bacteriológicas de las mismas, por lo que se hace necesario su evaluación, esto es posible y más sencillo a través de la aplicación de los índices de calidad de las aguas (ICA), los cuales mediante un número simple se expresa la calidad del agua, se facilita una mejor interpretación, manejo y presentación de la información.

Como consecuencia del aumento demográfico, el acelerado desarrollo industrial y el cambio climático en los últimos años en el planeta; la calidad del agua se ha visto afectada directamente, tanto de las aguas superficiales como subterráneas, esto es una importante preocupación a escala internacional y nacional por lo que se implementan medidas para su protección y conservación. En el país se toman acciones respecto al tema, una de ellas lo constituye la Tarea Vida como Plan del Estado en el enfrentamiento al cambio climático que ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de las aguas, y así detectar variaciones y dar la alerta anticipada de cambios en su calidad.

Los asentamientos rurales de Cañete y Cupey poseen fuente de abasto de agua similar, predominan los pozos criollos utilizados para el abasto de agua. En Cañete actualmente una parte de la población se abastece por medio del sistema de acueducto implementado en un pozo y la otra parte, que es la mayor, lo hace

mediante pozos criollos. En Cupey a la población se le suministra el agua por medio de carros pipas y en caso de ocurrir deficiencias utilizan el agua de pozos criollos al igual que en Cañete. La gran mayoría de estos pozos no presentan las condiciones higiénicas sanitarias necesarias para emplear el agua extraída de ellos en el consumo humano. A esto se le suma el poco conocimiento que presentan los pobladores del área acerca de la calidad que debe poseer el agua de consumo y las enfermedades asociadas que trae consigo ingerir aguas no aptas para este fin.

Por tal motivo surge la siguiente investigación titulada: “**Evaluación de la calidad del agua de abastecimiento en los asentamientos rurales Cañete y Cupey mediante el Índice de Calidad de agua CCME_WQI**”. Esta a su vez presenta como **problema científico** la necesidad de evaluar la calidad de las fuentes de abastecimiento de agua en los asentamientos rurales Cañete y Cupey, para conocer su estado actual y proponer medidas de control y mitigación.

Objeto de estudio: aguas que abastecen los asentamientos rurales Cañete y Cupey.

Campo de acción: propiedades físico-químicas de las aguas de abastecimiento en los asentamientos rurales Cañete y Cupey.

Objetivo general: evaluar la calidad de las aguas de abastecimiento en los asentamientos rurales Cañete y Cupey, para conocer su estado actual y proponer medidas de control y mitigación.

Hipótesis: si se evalúa la calidad de las fuentes de abastecimiento de agua en los asentamientos rurales Cañete y Cupey, se puede conocer su estado físico – químico y proponer medidas de control y mitigación, se garantiza así un suministro de agua confiable a la población.

Objetivos específicos:

1. Analizar las propiedades físico-químicas de las aguas de Cañete y Cupey según las NC: 827:2012, NC: 1021:2014 y Norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006).
2. Identificar las principales fuentes de contaminación de las aguas de Cañete y Cupey.
3. Evaluar la calidad de las aguas de abastecimiento en los asentamientos rurales Cañete y Cupey mediante el Índice de calidad CCME_WQI
4. Proponer medidas de prevención y mitigación a la contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua de Cañete y Cupey.

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Introducción

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

Las aguas subterráneas ocupan el 31% del volumen total que se consume anualmente para satisfacer necesidades de la actividad económica y social en Cuba según informe del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (CITMA, 2001).

Para lograr una investigación exitosa y conocer los trabajos realizados en el mundo y en Cuba sobre esta temática es necesario 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 contaminación de las aguas subterráneas y superficiales. Para ello es preciso establecer una serie de definiciones indispensables para realizar estudios sobre calidad y contaminación de las aguas, que permite establecer el marco teórico-conceptual.

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). Agua que por cumplir con los requisitos físicos, químicos y microbiológicos establecidos en la NC 827:2012, puede ser utilizada para la bebida y en la elaboración de alimentos. (NC 1021: 2014 Higiene comunal)

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. (NC 1021: 2014 Higiene comunal)

Fuentes de abastecimiento superficiales

Aguas provenientes de ríos, arroyos, lagos y embalses, y en general, las aguas situadas sobre la corteza terrestre, en contacto con la atmósfera. (NC 1021: 2014 Higiene comunal).

Fuentes de abastecimiento subterráneas.

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

Límite máximo admisible (LMA)

Mayor valor admisible de una característica química, física o microbiológica para el cual no existen evidencias de que signifique un riesgo para la salud humana. (NC 827: 2012 Agua Potable).

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).

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, 2008).

Los índices de calidad de agua (ICA), constituyen herramientas matemáticas que integran información de varios parámetros, permite transformar grandes cantidades de datos en una escala única de medición de calidad del agua. En ese sentido, los ICAs constituyen un instrumento fundamental en la gestión de la calidad de los recursos hídricos debido a que permite transmitir información de manera sencilla sobre la calidad del recurso hídrico a las autoridades competentes y al público en general; e identifica y compara las condiciones de calidad del agua y sus posibles tendencias en el espacio y el tiempo. Diversos índices han sido desarrollados y empleados en diferentes investigaciones para clasificar la aptitud de las aguas para disímiles usos, cada uno de ellos tiene sus características propias y generalmente se alcanzan buenos resultados en las zonas en que se obtuvieron (Perú, 2017).

Las variables más utilizadas para la determinación de los Índices de Calidad del Agua son: oxígeno disuelto, coliformes totales, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), 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 eléctrica (C.E.): capacidad del agua para conducir la electricidad, depende del grado de mineralización de las aguas; con el aumento de la mineralización aumenta también la conductividad eléctrica. (De Miguel Fernández, 2012).

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

pH: se debe a la composición de los terrenos atravesados por el agua, de tal forma, si tenemos valores del pH alcalino, indica que las rocas son carbonatadas, y un pH ácido, que las rocas son silíceas. (De Miguel Fernández, 2012).

Sulfatos: el ion sulfato (SO_4^{2-}) se forma principalmente mediante la oxidación del sulfuro de hidrógeno en condiciones aerobias. Es uno de los iones que contribuye a la salinidad de las aguas y se encuentra presente en la mayoría de las aguas naturales. (De Miguel Fernández, 2012).

Nitritos: el ion nitrito (NO_2^-) pueden estar en el agua bien por la oxidación del amoníaco o por la reducción de los nitratos. En el primer caso, es casi seguro que su presencia se deba a una contaminación reciente, aunque haya desaparecido el amoníaco. En las aguas subterráneas, sobre todo las de origen profundo, se pueden encontrar nitritos como consecuencia de un medio reductor. Igualmente, cuando el agua que contiene nitratos está en contacto con metales fácilmente atacables, ya sea a pH ácido o alcalino, se pueden presentar nitritos. (De Miguel Fernández, 2012).

Cloruros: los contenidos de cloruro en las aguas subterráneas son extremadamente variables y se deben principalmente, a la naturaleza de las rocas por donde circula el agua y existencia o no de mezcla con aguas marinas. El gran inconveniente de los cloruros en las aguas es el sabor desagradable que los mismos le aportan. (De Miguel Fernández, 2012).

Dureza total: está representada por el contenido de sales de calcio o magnesio y se determina por la suma de estos iones expresados en miligramos equivalentes. (De Miguel Fernández, 2012).

Sólidos totales disueltos (STD): los sólidos disueltos totales (STD) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica (MO) que están disueltas en el agua. Los STD presentes en el agua de consumo humano provienen de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales. Las sales empleadas en algunos países para eliminar el hielo de las carreteras también contribuyen a aumentar el contenido de STD en el agua de consumo humano. Debido a las diferentes solubilidades de

diferentes minerales, las concentraciones de STD en el agua varían considerablemente de unas zonas geológicas a otras (OMS, 2006)

Trabajos realizados en el Mundo y Cuba sobre el análisis de calidad de las aguas

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

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

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

Quinapanta, Elexandra, & Donoso Cruz, 2013 realizaron una investigación en la cual caracterizaron la calidad del agua de la microcuenca del río Pachanlica de la provincia de Tungurahua en Ecuador, tomaron como base la metodología ICAsp de Montoya el cual contempla el análisis de 18 parámetros entre físico-químico y bacteriológicos. La cual tuvo como resultado que el río muestra contaminación con un valor promedio de ICA 40,71 %.

Fernández Parada & Solano Ortega, 2013 presentan un trabajo que resulta de gran interés, constituye un resumen de los principales índices de calidad y contaminación, usados a nivel mundial.

Almanza Tovar, 2015 evalúan el índice de calidad del agua y vulnerabilidad acuífera de un sistema hidrogeológico: caso valle de San Luis Potosí, en este se consideraron aspectos de la NOM-127- SSA1-1994 e índices de calidad del agua aplicables a cada actividad (Consumo humano, uso agrícola e industrial). Para el análisis de vulnerabilidad del sistema acuífero, se aplicó la metodología "DRASTIC". Los resultados obtenidos denotan una menor calidad para el acuífero colgado en comparación al acuífero medio y profundo. En el acuífero somero, el uso del agua para actividades agrícolas va de buena a condicionada, en contraste al uso del agua para consumo humano e industrial donde mostró una mala calidad en la mayor parte del VSLP.

Salcedo et al., 2015 evalúan la calidad del agua subterránea mediante la utilización del índice CCME-WQI, en el acuífero del valle de Puebla, México. La evaluación del índice demostró que a lo largo del tiempo ha existido un cambio paulatino en la calidad del agua de la zona urbana, en algunos pozos del sistema de abastecimiento se manifiesta el cambio de calidad. Debido al aumento de las concentraciones de sólidos disueltos totales, sulfatos, calcio y magnesio disminuyen los pozos con calidad excelente y aumentan los que tienen menor calidad.

Al-Janabi, Al-Obaidy, & Al-Kubaisi, 2015 utilizaron el modelo de CCME_WQI para determinar la calidad del agua en el río Tigris dentro de la ciudad de Bagdad, se monitorearon doce parámetros: plomo, hierro, zinc, manganeso, turbidez, pH, oxígeno disuelto, temperatura del agua, fosfato, amoníaco, nitrato y nitrito. Los resultados revelaron que la estación 3, que estaba ubicada al sur de Bagdad, estaba más contaminada que las otras estaciones. El ranking de WQI fue entre marginal en las estaciones 1 y 2 a pobre en la estación 3. La mayor desviación se produjo en plomo, hierro y turbidez, este parámetro hizo una gran contribución en la disminución del valor de WQI.

Miravet Sánchez, García Rivero, López Del Castillo, Alayón García, & Salinas Chávez, 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, se caracterizan 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.

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

Damo & Icka, 2017 el objetivo de este estudio fue determinar la calidad del agua potable en la ciudad de Pogradec, Albania. Se analizaron los parámetros: sabor, olor, temperatura, pH, conductividad, turbidez, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , cloruro y carga microbiana. En la evaluación de la calidad del agua se utilizó el índice de calidad del agua CCME el cual arrojó un valor de 87.81 lo que indica que la calidad del agua potable en la ciudad de Pogradec es "buena" y la turbidez es el principal problema de calidad, supera los estándares de la norma. Para modificar este parámetro y aumentar la calidad del agua, durante el proceso de tratamiento se debe implementar el proceso de filtración.

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

Zhang et al., 2017 como consecuencia de la intensa explotación de aguas subterráneas en la zona costera de la Bahía de Lanzhou, el acuífero se ve afectado por procesos de salinización, se altera la calidad del agua. Se realizaron estudios isotópicos e hidrogeoquímicos basados en muestras de agua de 102 pozos de observación y la evaluación de componentes químicos como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , F^- y TDS. El estudio confirmó una sobreexplotación del agua subterránea y de acuerdo con el estándar de calidad del agua de China, los resultados revelan altos riesgos de contaminación por nitratos y fluoruros. Por lo tanto, se recomienda el tratamiento del agua antes de beber, esto es necesario para reducir el riesgo de exposición de la salud.

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

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

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

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

Cabana & Reyna, 2018 en el estudio se empleó el índice de calidad de agua del consejo canadiense CCME_WQI y el ICA_PE en la evaluación de la calidad de agua del río Coata en la desembocadura del río Torococha, Perú. Se monitorearon los parámetros de: pH, conductividad, DBO₅, oxígeno disuelto, coliformes termotolerantes, aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobre, manganeso, mercurio, plomo y zinc; durante los meses de setiembre, octubre y noviembre del 2018. Se concluyó que el río Torococha influye negativamente en la calidad del río Coata.

Torres, Cruz, & Patiño, 2018 esta investigación tuvo como fin generar una herramienta de gestión ambiental para el río Machángara, dentro del Distrito Metropolitano de Quito, desarrollar una metodología para el cálculo de un índice de calidad de agua, aplicar estadísticas descriptivas, correlaciones y análisis multivariante. Escogieron el índice CCME como modelo para la evaluación de la calidad del agua, seleccionaron las siguientes variables para la conformación del índice: T, NO₃⁻, NH₃, OD, DBO, TDS y DET. Este índice tiene una deficiencia no contiene parámetros bacteriológicos, estos ocupan un papel fundamental en la determinación de la calidad del agua.

Herrera Apablaza et al., 2018 con el objeto de establecer una red de monitoreo y entregar recomendaciones a los regantes, se caracterizaron las propiedades fisicoquímicas de las aguas de las localidades del Oasis de Pica, precordillera del norte de Chile, su comportamiento temporal anual y se determinó su calidad para riego, además de interpretar factores que inciden en su composición. Se gestionaron para la red 29 pozos a tres profundidades (acuífero profundo, intermedio y superficial) y se registró la temperatura, CE y pH en cuatro campañas entre 2016 y 2017. Se observan diferencias espaciales, pero no temporales de la calidad de las aguas subterráneas termales, neutras a levemente alcalinas. La gran mayoría son aguas adecuadas para el riego de acuerdo a CE, RAS y CSR, y no existe riesgo por metales y metaloides; excepto por % Na⁺, PSS, SP, boro y litio (cítricos) de origen natural.

Jiménez Parodi Tatiana & Edgar, 2018 realizaron la investigación Análisis del uso y manejo del agua subterránea en la región caribe colombiana, para conocer el

estado actual de su aprovechamiento y las buenas prácticas que se le da al recurso en esta región, así como mostrar el camino que se debe tomar para implementar acciones referentes, que contribuyan al buen manejo del recurso hídrico.

Asghari, Mohammadi, Dehghani, & Yousefi, 2018 el objetivo de este estudio fue monitorear las características físicas y químicas de las aguas subterráneas, incluyendo Ca^{2+} , Mg^{2+} , EC, pH, TDS, TH, HCO_3^- , Na^+ , K^+ , Cl^- , SAR, % Na^+ y SO_4^{2-} en la ciudad de Zanjan, Irán. Para evaluar los parámetros físico-químicos de 15 pozos, se recogieron y examinaron muestras de agua 4 veces en diferentes momentos. Los datos fueron analizados y modelados con el software Arc GIS. Los resultados muestran que el agua en el área de estudio basado en los estándares de la OMS, es adecuada para beber.

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

Mosquera, Antonio, & others, 2019 aquí se propone un índice de calidad del agua (ICA), como herramienta para el desarrollo sustentable en cuerpos de aguas superficiales de la ciudad de Bogotá, índice de Calidad de Agua Universidad Distrital Francisco José de Caldas (ICA-UDFJC), mediante la agregación de parámetros fisicoquímicos: oxígeno disuelto, pH, fósforo total, nitratos, sólidos suspendidos totales, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total y grasas y aceites, a una fórmula matemática.

Es un índice que puede ser usado para evaluar cualquier tipo de agua, siempre y cuando se tengan los valores de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y se haga una asignación adecuada de los pesos relativos a cada parámetro fisicoquímico según su relevancia o contribución a la contaminación de las fuentes hídricas. En este índice no se incorporó los coliformes como uno de sus parámetros, el cual juega un papel decisivo en la calidad del agua.

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

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

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

El ICAsub se corresponde con la línea de investigación ya utilizada en años anteriores por los autores cubanos, la que ha demostrado su efectividad para

explicar el impacto de la actividad económica y social sobre la calidad de las aguas subterráneas.

Valcarcel Rojas, Alberro Macias, & Frias Fonseca, 2010 presentan las posibilidades que ofrece el empleo de un Índice de Calidad de Agua (ICA) en la gestión de los recursos hídricos. Un ICA brinda una manera conveniente de resumir la gran cantidad de datos generados en los monitoreos y facilita la comunicación de estos resultados a una audiencia no especializada. Se presenta dos índices a modo de comparación, el índice CCME Water Quality Index (CCME WQI) de Canadá y el índice de Calidad de Agua desarrollado por “The National Sanitation Foundation (NSF)”, mostrándose el método de cálculo y la forma de presentar sus resultados. Se exponen ciertos aspectos a tener en cuenta al aplicar el índice de manera que se obtengan resultados confiables. Se pudo constatar como el índice CCME_WQI tiene como ventaja que no requiere de realizar transformaciones a los parámetros que participan de la evaluación y evita la subjetividad de asignar diferente importancia o peso de los mismos dentro del cálculo del índice.

Larrea et al., 2009 realiza la evaluación de la calidad microbiológica de las aguas del Complejo Turístico “Las Terrazas”, Pinar del Río (Cuba), se obtiene como resultado que los ecosistemas acuáticos del Complejo Turístico “Las Terrazas” no presentan un alto grado de contaminación, encontrándose los valores de E. coli dentro de los límites máximos permisibles por las normas cubanas para aguas de uso recreativo e irrigación, sin embargo los valores de coliformes fecales fueron ligeramente superiores a lo establecido por las normas.

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.

Chibinda, Arada-Pérez, & Pérez-Pompa, 2017 en este trabajo se evalúan las aguas de dos pozos ubicados en “La Calera”, Reparto Veguita de Galo de la Provincia de Santiago de Cuba. Los resultados reflejaron que estas aguas no son aptas para ser utilizada como agua potable ni para abasto, debido a que existen parámetros cuyos valores son superiores a los establecidos según las Normas Cubanas, NC 827: 2012 “Agua Potable” y la NC 1021: 2014 “Higiene Comunal Fuentes de abastecimiento de agua “; tales como nitrato, nitrito, amonio entre otros; además de la presencia de bacterias coliformes totales y fecales.

Gutiérrez, Garcia, & Beato, 1979 presentan un nuevo índice para evaluar la calidad de las aguas subterráneas en Cuba (ICAsub), para su formulación emplearon el modelo aditivo de Brown y col, (1970). Seleccionaron como indicadores de calidad de las aguas los siguientes: conductividad eléctrica (CE), demanda química de oxígeno (DQO), nitratos (NO_3^-), y coliformes termotolerantes (CTT), los cuales se relacionan con los principales impactos a la calidad de las aguas subterráneas. Comprobaron la validez del ICAsub para evaluar la calidad de las aguas subterráneas y explicar el impacto negativo proveniente de la actividad económica y social, utilizándolo en áreas experimentales.

Dentro de los principales trabajos realizados en la región de Moa se encuentran los siguientes:

Serret Hernández & Suárez Cala, 2000 realizaron un trabajo titulado: Evaluación de la calidad natural de las fuentes de abasto de agua a los asentamientos rurales

del municipio Moa. Para esto se basaron en la evaluación y caracterización físico – química 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, determinándose las concentraciones de los macro y micro elementos más comunes, lo que le permitió clasificar las aguas de acuerdo a las metodologías y normas vigentes en nuestro país, en el resto del mundo y valorar sus posibles usos.

Rodríguez Pacheco, 2002, realizaron un trabajo sobre la contaminación de las aguas subterráneas en el territorio de Moa, donde se expone que en el acuífero aluvial del río Moa, se ha detectado la presencia de concentraciones elevadas de sulfatos, níquel, cromo, manganeso e hierro, como consecuencias de la recarga inducida de las aguas que lixivian los residuos mineros depositados en una presa de almacenamiento de estériles sobre las terrazas del río al crecimiento continuo de los volúmenes de residuos vertidos y la influencia de las condiciones climáticas del territorio.

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

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 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 tienen lugar en el área. Posteriormente se interpretaron los resultados con la ayuda de diferentes clasificaciones y normas empleadas para el agua potable. En el trabajo no se

realizó evaluación de impacto ambiental ni propuestas de medidas de mitigación y control.

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

Pérez Jara, 2018 llevo a cabo una investigación titulada “Calidad de las aguas subterráneas Sector Hidrogeológico La Melba”, Moa para evaluar su empleo como agua mineral natural envasada. En esta se caracterizó las aguas por sus principales características físico-químicas y microbiológicas, además se pudo determinar los principales focos contaminantes que pueden poner en riesgo la sostenibilidad del uso de las aguas a mediano y largo plazo. Por lo que se pudo establecer las áreas más perspectivas para envasar. Las aguas por su composición físico química y microbiológica son bicarbonatadas cálcicas y magnésicas. Con este trabajo se le puede dar respuesta a la creciente demanda que tiene este producto y se proporciona una vía para un ahorro económico por ser necesario traerlo de otras partes del país.

Fernández-Rodríguez, Nfundiko Christian, Guardado-Lacaba, & Almaguer Carmenate, 2018 se presenta los resultados de una investigación en la cuenca hidrográfica del río Cayo Guam, para evaluar desde el punto de vista hidroquímico la calidad de sus aguas. A todo lo largo del cauce del río, en puntos anteriores a las fuentes contaminantes y posteriores a estas, se tomaron trece muestras en total. Los valores de las determinaciones químicas, físicas y bacteriológicas de las muestras se contrastaron con las normas cubanas vigentes para el control de las aguas terrestres. Se pudo establecer que la principal fuente de contaminación de

las aguas es la exploración y explotación de distintos yacimientos (lateríticos, de cromitas, de áridos) en el cauce del río y aunque los valores de contaminación no son alarmantes, algunos elementos están por encima de las normas.

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

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

1.1 Introducción

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

1.2. Ubicación geográfica del área de estudio

Esta investigación se enmarca en la provincia Holguín, en el territorio del municipio Moa, específicamente en las comunidades rurales de Cañete y Cupey. Se encuentran situadas en la zona este del municipio Moa, a 20 Km de la cabecera municipal, limita al este con el consejo popular de Yamanigüey, al norte con el Océano Atlántico, al sur con la comunidad de Cayo Grande y al oeste con el consejo popular Punta Gorda (Figura 1).

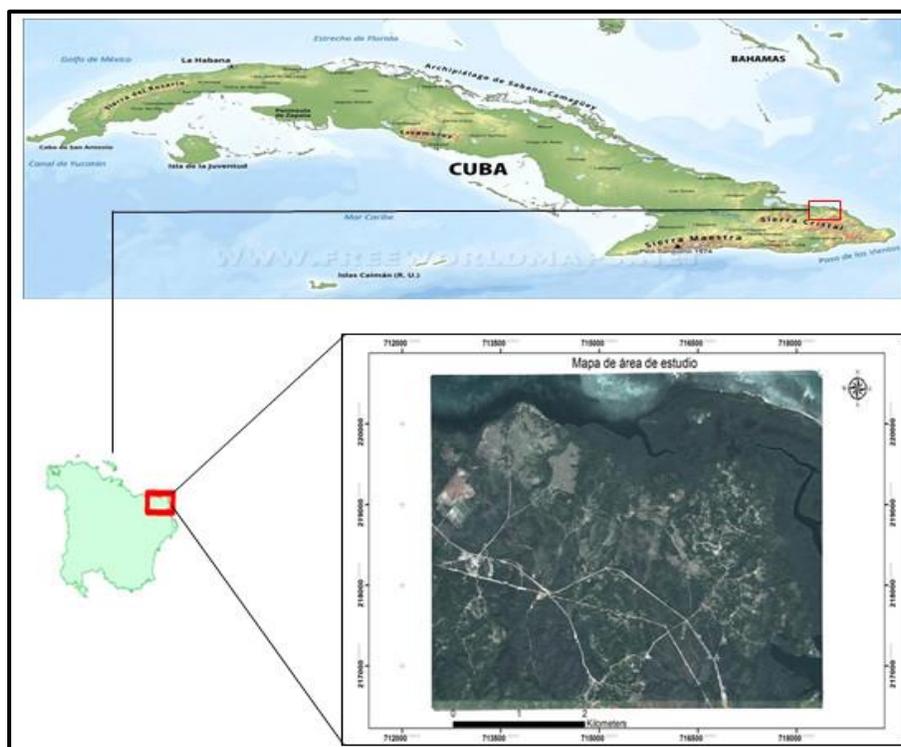


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

1.3 Características socioeconómicas de la región.

La base económica fundamental del municipio Moa es la actividad minera debido a la presencia de extensas cortezas de meteorización, esto ha favorecido el desarrollo de la minería y metalurgia en la región. 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 territorio. 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.

Históricamente en los poblados de Cañete y Cupey, la agricultura fue uno de sus principales sustentos y fuente de riquezas, hoy junto a la pesca se emplean como medio de subsistema. Varios campesinos se han asociado en una cooperativa de créditos y servicios para la recolección de frutales pero la mayor parte de la población labora en las empresas del níquel.

1.4 Geomorfología regional

La región está caracterizada por su complejidad y diversidad, existen pantanos litorales y llanuras, pero con un predominio de un relieve de pre-montañas perteneciente a las cuchillas Sagua –Moa –Baracoa (Figura 2). Genéticamente el relieve de la región está clasificado dentro del tipo de Horst y bloques que corresponden a los cuerpos de rocas ultrabásicas elevadas en la etapa neotectónica a lo largo de dislocaciones antiguas y rupturas nuevas, poco o ligeramente diseccionados (Polanco Almaguer, 2012)

Rodríguez Infante, 1998, en su estudio morfo-tectónico de la región clasificó el territorio en dos zonas geomorfológicas fundamentales: la zona de relieve de llanura y la zona de relieve de montañas

El área de estudio se enmarca en las zonas geomorfológicas de llanuras fluviales erosivas acumulativas, estas se localizan en los valles de los ríos Cananova,

Cabaña y Centeno, así como en la zona comprendida entre Quesigua y Cupey. En estas zonas la superficie topográfica pierde su regularidad al aparecer sectores de hasta 9° de pendiente, se condiciona la existencia de procesos erosivos, (Rodríguez-Infante, 2005).

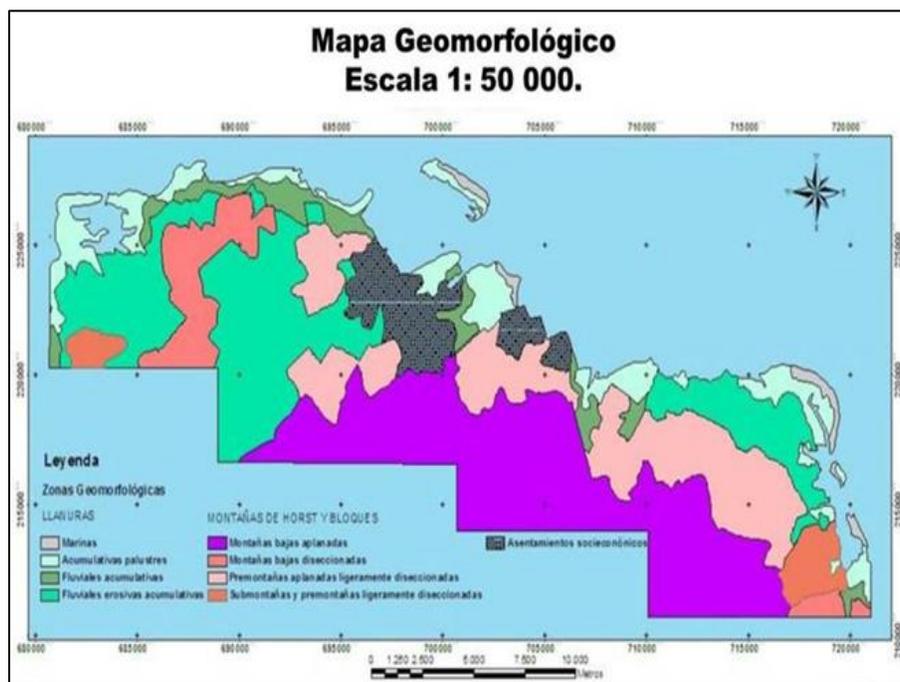


Figura 2. Mapa geomorfológico de Moa .Tomado de (Polanco Almaguer, 2012)

La región de estudio se localiza en el Bloque Cupey, el mismo se ubica en el extremo oriental de Moa, desde la falla Quesigua. 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, 2005). Este bloque presenta alta intensidad relativa de levantamiento según el mapa de bloques morfotectónicos del municipio Moa. (Figura 3)

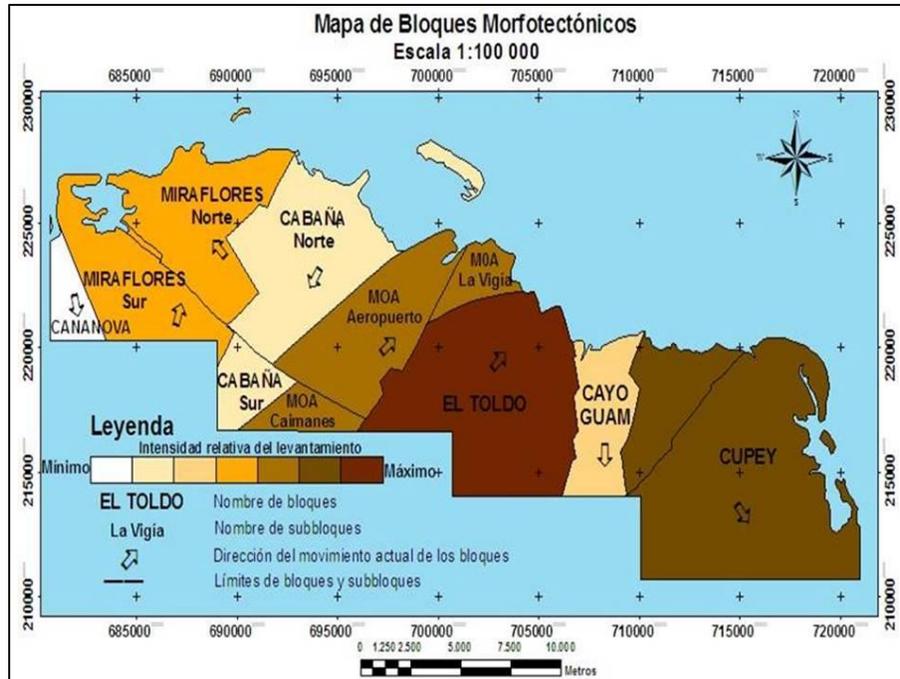


Figura 3. Mapa de bloques morfotectónicos del municipio Moa. Tomado de (Polanco Almaguer, 2012)

1.5 Características geológicas

La geología de la región se caracteriza por una gran complejidad condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el tiempo geológico. (Rodríguez-Infante, 2005).

El área está constituida, en su mayor parte, por rocas ofiolíticas pertenecientes al macizo Moa-Baracoa. Estas rocas afloran como una serie de cuerpos alargados en la mitad septentrional de la isla de Cuba, entre Cajálbana al oeste y Baracoa al este. Ellas tienen distintas maneras de presentarse en superficie: como fajas estrechas muy deformadas asociadas a zonas de fallas, o bien como mantos tectónicos de diversa potencia.

La zona de estudio se ubica en los asentamientos rurales Cañete y Cupey perteneciente al sector este del municipio Moa. La geología de esta área se describe según la información del esquema geológico, escala original 1:100000, tomado del Instituto de Geología y Paleontología (IGP) 2001 y modificado por Vitres Milán (Figura 4).

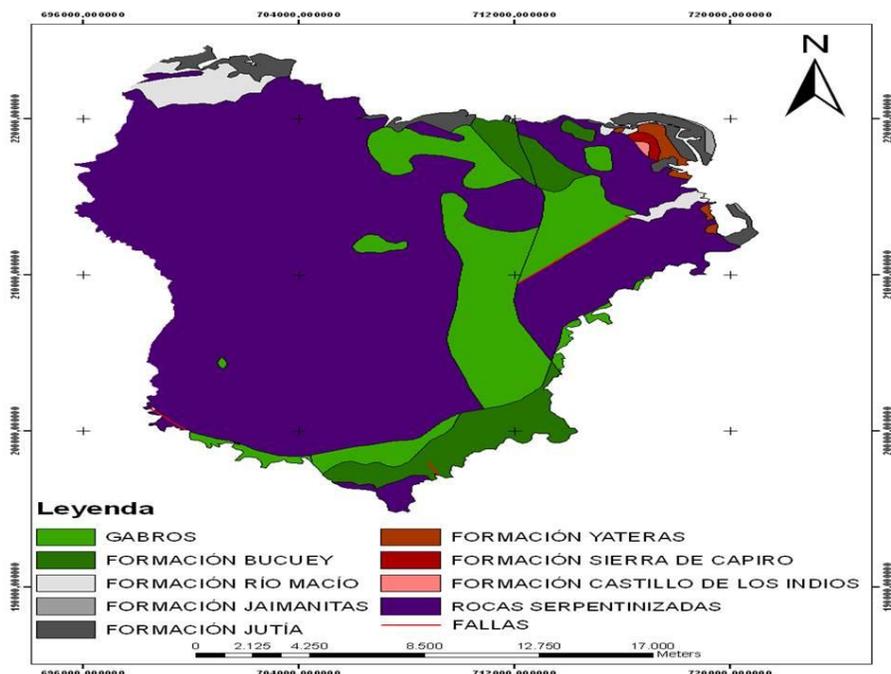


Figura 4. Esquema geológico del sector este de Moa. Escala Original 1:100 000. Tomado de (Viltres Milán, 2011).

Formación 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. En la parte superior del perfil aparecen materiales orgánicos.

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

Formación Jaimanitas (Pleistoceno Superior): constituida por calizas biotriticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas contiene principalmente conchas bien preservadas y corales de especies actuales y ocasionalmente biohermos. Las bolsas cársicas se encuentran rellenas por una 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*. Coloración por lo general blanca, crema o rosácea, y con menos frecuencia carmelitas.

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.

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.

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.

1.6 Hidrografía

El municipio Moa presenta una amplia red hidrográfica, caracterizada como de tipo detrítica, la cual se encuentra favorecida por el relieve, las abundantes precipitaciones y el clima del territorio. La principal dirección de las aguas es de sur a norte, representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se destacan: Moa, Cabañas, Yamanigüey, Quesigua, Cayo Guam, El Medio, Semillero, Punta Gorda, Yagrumaje, y Aserrío (Figura 5) los cuales son de carácter permanente, drenan en el mismo sentido que presenta la red. Estos ríos desembocan en la Bahía de Moa, forman deltas cubiertos de manglares, su principal fuente de alimentación son las precipitaciones atmosféricas las que tienen como origen las montañas del grupo Sagua-Baracoa. El nivel de los ríos varía en relación a las precipitaciones, los niveles más bajos se presentan en el periodo de seca lo que corresponde a los meses de julio a septiembre y los más altos en la época de lluvia, comprendida entre los meses de octubre a enero.

Por el tipo de rocas presentes en la región y su capacidad de almacenar las aguas subterráneas en mayor o menor grado se determinó de forma general para la región de estudio la presencia de cinco Complejos Acuíferos (Viltres Milán, 2011, Crespo Lambert, 2018), 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 se encuentra poco estudiada; su profundidad de yacencia es de 1.3 - 12 m. El coeficiente de filtración (K) está comprendido entre valores de 1 - 14.7 m/día, el gasto de aforo (Q) entre 1.2 - 4 l/ s. Según las clasificaciones de Kurlov y Aliokin las aguas son del tipo hidrocarbonatadas - magnésicas.).

Complejo acuífero de los sedimentos costeros: se extiende por casi todo el norte del área, forman una franja estrecha de 1 - 2 Km de ancho. El relieve es costero con cotas de 0 - 2 m sobre el nivel del mar. Su edad se corresponde al Cuaternario. Litológicamente está constituido por depósitos arcillosos con fragmentos angulosos de composición variada. Las rocas acuíferas son calizas organógenas, en menor grado sedimentos no consolidados y depósitos arcillo - arenosos con fragmentos en forma de ángulos de composición múltiple.

La profundidad de yacencia del nivel freático varía en un rango de 1-5 m. Su coeficiente de filtración (K) puede alcanzar valores aproximados de hasta 64.4 m/días, el gasto de aforo (Q) es de aproximadamente 14 L/s. Los tipos de agua predominantes son de grietas y cársicas y en algunos casos intersticiales. En su mayoría tienen interrelación hidráulica con las aguas de mar, según Kurlov por su composición química son cloruradas - hidrogenocarbonatadas - sódicas - cálcicas y según Aliokin son cloruradas sódicas). (Viltres Milán, 2011).

Complejo acuífero de los sedimentos aluviales: se extiende en dirección norte - sur, forma una franja ancha en su parte inferior y estrecha en la parte superior, ocupa la mayoría de las terrazas de ríos más importantes, así como los valles de los afluentes. Se compone de gravas, arenas, cantos rodados y arenas arcillosas con una potencia de 15 m aproximadamente. Estos sedimentos son de edad cuaternaria y presentan alta capacidad para almacenar agua. El coeficiente de filtración (K) varía de 14 - 287 m/días, el gasto de aforo (Q) alcanza valores comprendidos en un rango de 2 - 56 L/s. La profundidad de yacencia de estas aguas es de 1-5 m y se clasifican según las clasificaciones de Kurlov y Aliokin como hidrogenocarbonatadas - magnésicas.

Complejo acuífero de las lateritas: se extiende por casi toda la zona de Moa y ocupa gran parte del área. Litológicamente está constituido por potentes cortezas de intemperismo, representa 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. La fuente de alimentación principal

de estas aguas son las precipitaciones atmosféricas. Por su composición química son aguas hidrocarbonatadas - magnésicas y sódicas de baja mineralización).

Complejo acuífero de los sedimentos terrígenos carbonatados: este complejo solo aparece en una pequeña porción al norte del poblado de Cañete. Está formado por margas estratificadas, calizas compactas, depósitos brechosos, de carácter tanto tectónico como sedimentario, aleurolitas y conglomerados. Las rocas acuíferas están constituidas por conglomerados brechosos y las calizas en menor proporción las margas estratificadas).

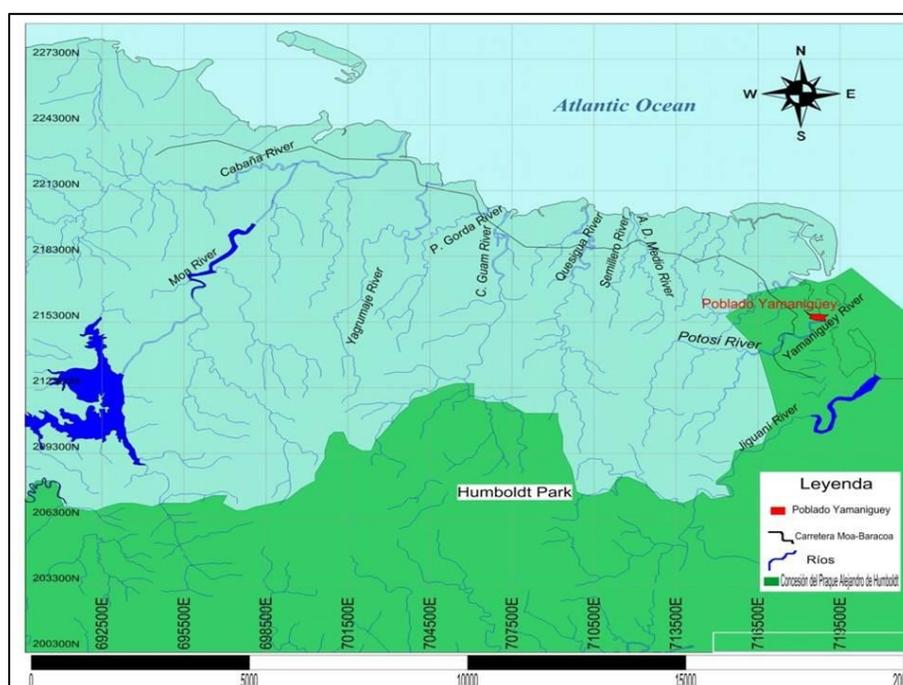


Figura 5. Mapa de red fluvial. (Tomado de Crespo Lambert, 2018).

1.7 Clima

El clima se caracteriza como tropical húmedo, se encuentra influenciado por la orografía, donde la barrera montañosa del grupo Sagua-Baracoa sirven de pantalla a los vientos alisios del noreste los que descargan abundantes lluvias en la parte norte, esto es distintivo de Moa por ser una de las zonas más húmedas del país. Los meses más cálidos son julio-septiembre y los más fríos enero y febrero. Desde el punto de vista meteorológico se sitúa en una zona costera con predominio de las condiciones tropicales marítimas- costeras.

La temperatura del aire media anual es aproximadamente de 27° C, en el verano se alcanzan valores de 30° C y en el invierno de 22° C a 26° C. (Viltres Milán, 2011)

1.8 Precipitaciones

El municipio de Moa se caracteriza por poseer abundantes precipitaciones se encuentra dentro de una de las zonas de mayor pluviometría del país. Se identifican dos períodos de lluvia (mayo) y (octubre-febrero) y dos de sequías (marzo-abril) y (junio-septiembre). En el periodo evaluado (2014 - 2018) las precipitaciones presentan un valor anual que oscila entre 261,70 - 1962,30 mm (milímetros). Los mayores valores de precipitaciones corresponden con el mes noviembre del año 2017 (1962,30 mm) y los valores más bajos de precipitaciones lo encontramos en el mes de junio del año 2015 (261,70 mm).

El pluviómetro utilizado para analizar el comportamiento de las precipitaciones en el periodo investigado está ubicado en la localidad de Cañete en las coordenadas X: 716,700 Y: 213,400 a una altura de 200 m (metros) sobre el nivel de mar. En la Figura 6 se muestra el promedio de las precipitaciones anuales de la serie temporal 2014 - 2018. Tomado de (INRH de Moa, 2014 - 2018)

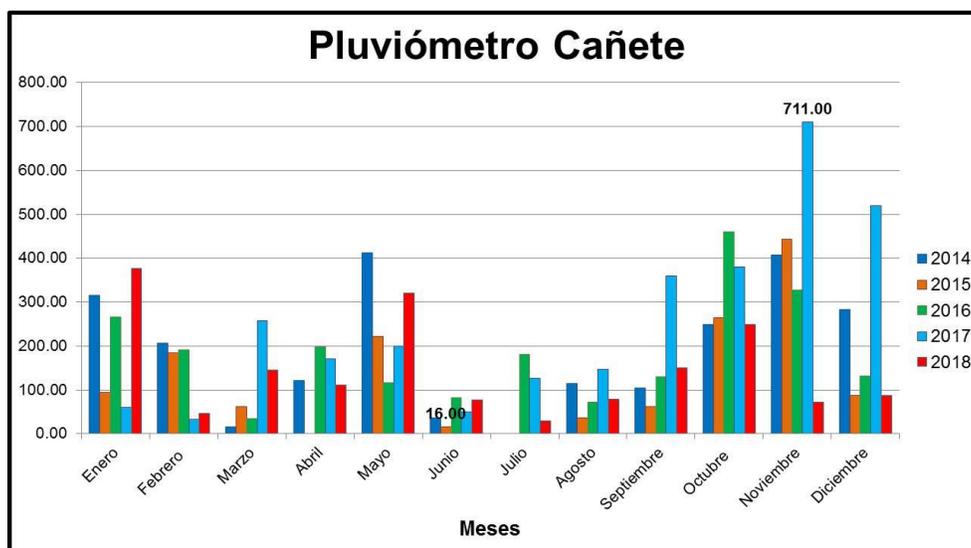


Figura 6. Precipitaciones mensuales desde el 2014 hasta 2018. Valores tomados del registro de precipitaciones del pluviómetro ubicado en Cañete.

1.9 Vegetación

La región presenta una gran variedad en su ecosistema, uno de los mayores del territorio nacional. Constituida por bosques húmedos, pinares y carrascales, ubica su zona más exuberante hacia la franja montañosa de 363 Km², buena parte del Parque Nacional Alejandro de Humboldt, Área Protegida y Patrimonio de la Humanidad.

El área cuenta con una flora muy típica que comprende el 33% de todos los endemismos cubanos dentro de los que se puede encontrar pinares, pluvisilvas charrasco y bosques de galerías. Entre los principales exponentes presentes en la región, se incluyen los siguientes: *Pinus Cubensis*, Jacarandá Arbóreo (Abey, Framboyán Azul), *Clusia Rosea* (Copey), *Cacaloba Shafan* (Uvilla), *Euphorbia Helenae* (Jazmín del Pinar), *Bactris Cubensis* (Pajua) y *Arthrostylidium* ssp (Tibisí), Ocuje, Júcaro Amarillo, Yagruma, Palma Maracaná predominan el *Pinus Cubensis* y plantas latifodias, endémicas de la región.

En el área de estudio gran parte de la vegetación es de carácter antrópico, como la presencia de cocoteros, mangos, palmas reales, marañones, café, aguacate, guapeen, plátano, piña entre otros, pero también existe presencia de vegetación autóctona como hicacos, ocuje, yagruma, entre otros.



Figura 7. Vegetación típica desarrollada en el área de estudio.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

2.1 Introducción

En este capítulo se recoge la metodología empleada para realizar el estudio hidrogeológico del área de trabajo, así dar cumplimiento a los objetivos propuestos y lograr la calidad requerida en la evaluación de la calidad de las aguas en los poblados de Cupey y Cañete, para esto se dividió el trabajo en tres etapas fundamentales (Figura 8):

- **Etapa I. Revisión bibliográfica.**
- **Etapa II. Trabajo de campo y de laboratorio.**
- **Etapa III. Trabajo de gabinete.**

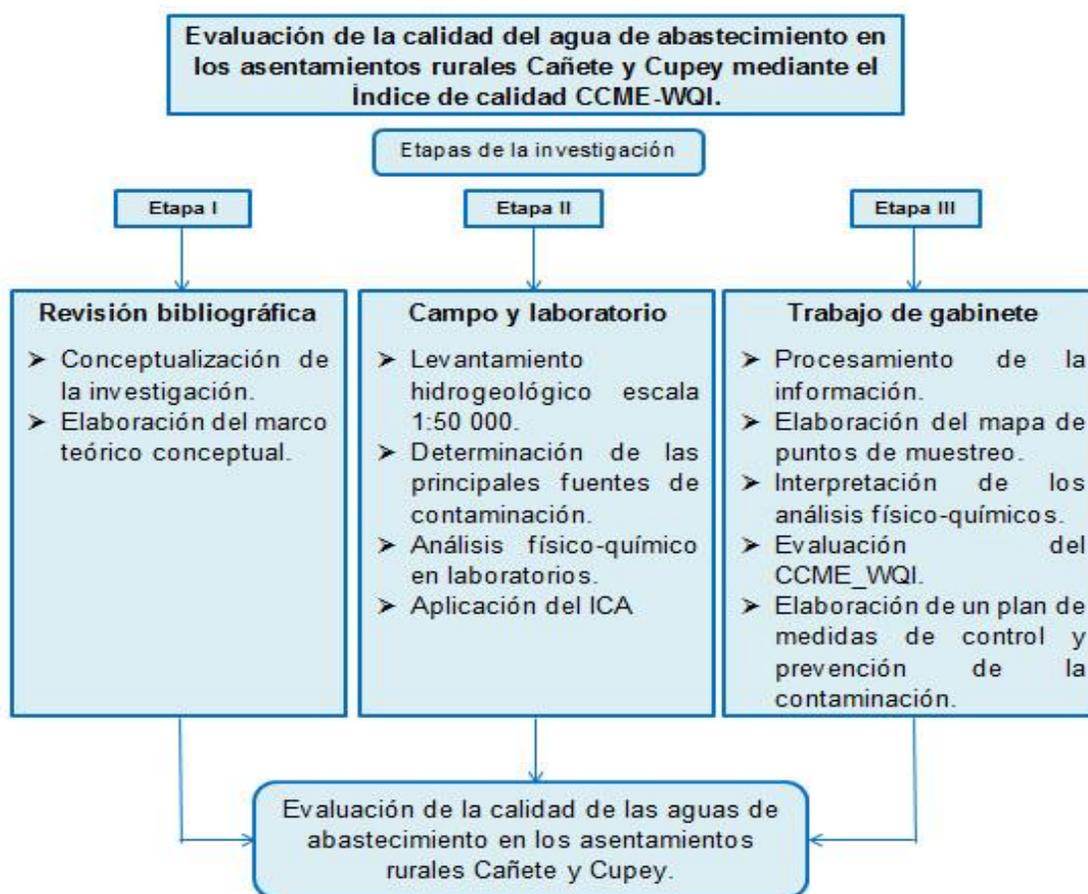


Figura 8. Flujograma de la investigación.

2.2 Etapa I: Revisión bibliográfica.

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

2.3 Etapa II: Trabajo de campo y laboratorio

Con el objetivo de cumplir las diferentes tareas propuestas se estableció la presente etapa, la misma parte del levantamiento hidrogeológico a escala 1:50 000, continúa con la toma de muestras de las aguas en el área de estudio y posteriormente la determinación de los parámetros físicos-químicos de las mismas en el laboratorio.

2.3.1 Levantamiento hidrogeológico a escala 1: 50 000

Durante esta etapa de trabajo se previó realizar una marcha ruta en los que se tomaron los 10 puntos que se consideraron más importantes y significativos para el área de estudio, se toma una muestra por cada uno para un total de 10 muestras. En el trabajo de campo ejecutado fue posible describir la geología de la zona, la vegetación presente y las condiciones higiénico - sanitarias de las mismas, se identifican los posibles focos de contaminación que pudieran alterar las características físico - químicas y bacteriológicas de las aguas de Cañete y Cupey.

2.3.2 Muestreo hidroquímico.

Al realizar una investigación hidrogeológica el muestreo hidroquímico ocupa un lugar de suma importancia, esto influye en la confiabilidad de los resultados de la misma. Al obtener una muestra de agua hay que tener en cuenta algunos requerimientos como son la limpieza de los recipientes para evitar una

contaminación de la misma, el volumen debe de ser suficiente para realizar los análisis de las mismas, entre otros parámetros.

2.3.2.1 Puntos de muestreo

Los asentamientos rurales de Cañete y Cupey poseen fuente de abasto de agua similar, predominan los pozos criollos. En Cañete actualmente una parte de la población se abastece por medio del sistema de acueducto implementado en un pozo y la otra parte, que es la mayor, lo hace mediante pozos criollos. En Cupey a la población se le suministra el agua por medio de carros pipas y en caso de ocurrir deficiencias consumen de pozos criollos al igual que en Cañete. Para el estudio en el área se fijó un total de 10 muestras, 4 en el poblado de Cañete y 6 en el poblado de Cupey (Figura 9).

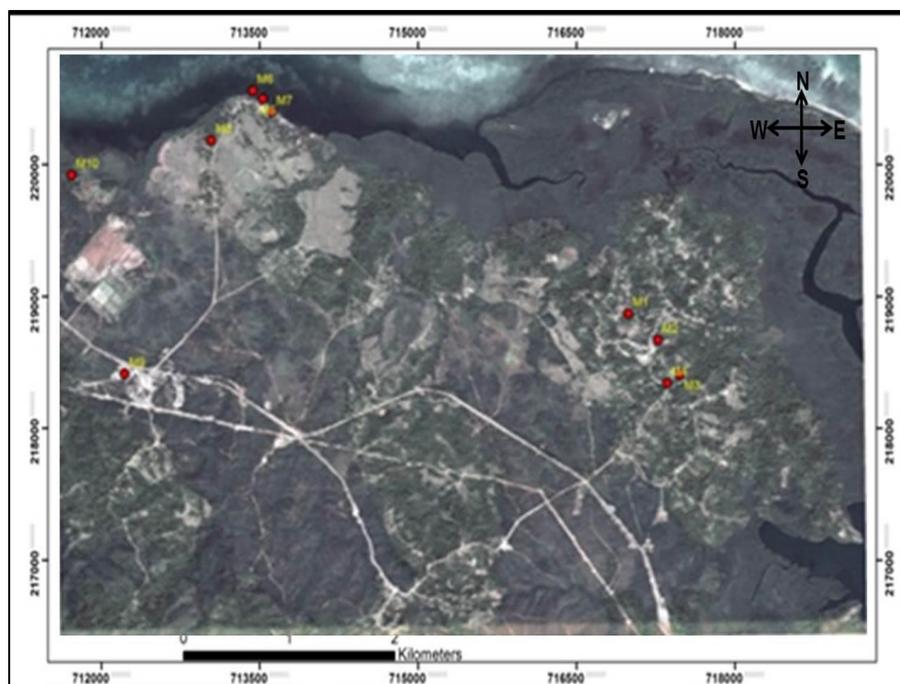


Figura 9. Imagen satelital de ubicación de los puntos de muestreo.

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

Dentro de los principales requisitos en la realización de un muestreo hidrogeológico es la correcta manipulación de las muestras la cual debe de estar ausente de procesos de deterioro o de contaminación antes de iniciar los análisis

en el laboratorio. Para la toma de muestra en los diez puntos, primeramente, se procedió al endulce del recipiente, que no es más que el enjuague dos y tres veces del mismo con la propia agua que se muestrea. Este procedimiento es necesario para evitar la alteración de las propiedades del agua muestreada. El recipiente fue rellenado hasta la boca para evitar la concentración de oxígeno y serrado herméticamente.

En cada uno de los puntos se tomaron un total de dos muestras, una botella de plástico de 500 ml para los análisis químicos y una botella de plástico de 1500 ml para los análisis físicos, en total se tomaron 20 muestras (Figura 10).



Figura 10. **A:** muestras tomadas en el punto 1, **B:** muestras tomadas en el punto 5, **C:** muestras tomadas en el punto 10.

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 M1, M2, M3 hasta M10 que representa el lugar y el número del punto analizado.

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

Muestreo: es importante tener en cuenta que el resultado de un análisis depende de la forma y el lugar de donde se toma la muestra, por lo que, para garantizar la

confiabilidad e imparcialidad de los mismos, es necesario e importante observar las condiciones de limpieza química de los recipientes.

Entrega de la muestra en el laboratorio: las muestras se entregaron después del muestreo en el tiempo establecido, en los dos laboratorios pertinentes.

La 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 (STD), Dureza Total, Turbidez, Conductividad, Salinidad, Materia Orgánica, Hierro, Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Silicio, Nitrato, Cloruro, Sulfato, Hidrocarbonato y Carbonato.

Tabla 1. Métodos analíticos empleados para la realización de los análisis.

Parámetros	Unidad	Método utilizado
pH y % salinidad	Unidades de pH	Potenciómetro WTW UNICAM
Conductividad eléctrica	$\mu\text{s}/\text{cm}$	Conductimétrico
Turbidez	NTU	Colorimétrico
Sólidos totales	mg/L	Gravímetro.
Cl^{-}	mg/L	Valoración con AgNO_3
NO_2^{-}	mg/L	Diazotización con reactivo NED
Fe^{2+} Total y SiO_2	mg/L	Espectrofotometría de Absorción Atómica.
SO_4^{2-} y Dureza total.	mg/l	Valoración volumétrica
(HCO_3^{-}) y CO_3^{2-}	mg/L	Determinación de la alcalinidad por valoración.
Na^{+} y K^{+}	mg/L	Espectrofotometría de Adsorción Atómica.
Ca^{2+} y Mg^{2+}	mg/L	Valoración volumétrica
Materia Orgánica	mg/L	Método del permanganato de potasio

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 (%), la turbidez en Unidades Nefelométricas (NTU).

2.5 Procesamiento y análisis de la información.

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

La interpretación de los análisis físico-químicos se expresaron mediante tablas, gráficos, diagramas y las diferentes clasificaciones, para simplificar los datos y facilitar su mejor comprensión principalmente cuando se realizan comparaciones entre varias muestras y se analiza el comportamiento de los elementos químicos el área de estudio.

2.6 Evaluación de la calidad de las aguas por su composición física-química.

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

2.6.1 Clasificación de las aguas por su composición química.

Clasificación según O. A. Aliokin. Esta clasificación está basada en el principio de división por los iones predominantes y relación entre ellos. El contenido en las aguas de sus iones principales está representado en miligramos – equivalentes.

Todas las aguas se dividen por el anión predominante en tres clases: Hidrocarbonatadas y carbonatadas ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^-$), sulfatadas (SO_4^{2-}), y clóricas (Cl^-). Estas a su vez se dividen en tres grupos por uno de los cationes predominantes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) y cada grupo se divide en tres tipos por la relación entre los miligramos equivalentes de los iones; en total se dividen en cuatro tipos. El primer tipo se caracteriza por la relación $\text{HCO}_3^- > (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$. Las aguas de este tipo son débilmente mineralizadas; el segundo tipo tiene la relación $\text{HCO}_3^- < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) < (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ con este grupo se relacionan las aguas subterráneas, las aguas de los ríos y lagos de poca mineralización; el tercer tipo se caracteriza por la relación $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$, las aguas de este tipo son fuertemente mineralizadas, mezcladas y metamorizadas; con este tipo se relacionan las aguas de mares y océanos y el cuarto tipo se caracteriza por la ausencia de iones HCO_3^- . Las aguas de este tipo son ácidas y existen solamente en las clases sulfatadas y clóricas en los grupos $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, donde no existe el primer grupo.

2.6.2 Clasificación de las aguas según su mineralización

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

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

Tabla 2. Clasificación de las aguas por su mineralización según Aliokin, (De Miguel Fernández, 2012).

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

2.6.3 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, $\text{pH} = -\log(\text{H}^-)$. Para la determinación de las aguas por su pH nos hemos basado en la clasificación de E. B. Pasovox.

Tabla 3. Clasificación de las aguas por su pH según E. B. Pasovox, (De Miguel Fernández, 2012).

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

2.6.4 Clasificación de las aguas por su dureza.

Está representada por el contenido total de sales de calcio y magnesio presentes en las aguas subterráneas, expresadas en miligramos equivalentes (mg.eq/L). A través de la fórmula: $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$.

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

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

2.6.5 Clasificación de las aguas por su grado de contaminación salina y el índice de salinidad marina.

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, determinada a través de la fórmula:

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

Tabla 5. Clasificación de las aguas por su grado de contaminación salina según Simpson, (De Miguel Fernández, 2012).

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

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

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

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

Tabla 6. Clasificación de las aguas por el Índice de Salinidad Marina (ISM), (De Miguel Fernández, 2012).

Valor ISM	Mineralización-mg./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
7– 21	5,9 – 17,7	Aguas o acuífero muy salinizado
> 21	> 17.8	Aguas o acuífero hipersalinizado

2.7 Índice de calidad de agua CCME_WQI.

Uno de los índices más empleados es el propuesto por el Canadian Council of Ministers of the Environment (Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente), conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés), el cual propone una evaluación más amplia de la calidad del agua en un periodo de tiempo determinado, se tiene en cuenta el número de parámetros que superan un estándar de referencia, el número de datos que no cumplen con el mencionado estándar y la magnitud de superación (Perú, 2017). Cabe señalar que esta metodología se caracteriza por su flexibilidad respecto al tipo y número de parámetros empleados; este índice ha tenido un uso generalizado desde su creación y es empleado por varios países.

Además de requerir menos información en relación al gran número de parámetros que se obtiene en un monitoreo para la evaluación de la calidad del agua, por ende, este ICA (CCME_WQI) tiene la capacidad de resumir y simplificar datos y transformar la información haciéndola fácilmente entendible por los responsables de la gestión de la calidad de los recursos hídricos, por el público, los medios y los usuarios.

Este índice tiene como ventaja que no requiere de realizar transformaciones a los parámetros que participan de la evaluación y evita la subjetividad de asignar diferente importancia o peso de los mismos dentro del cálculo del índice. Asimismo, identifica aquellos parámetros que no cumplen con los niveles establecidos y la frecuencia en que esto se produce. En su elaboración no se obliga a adoptar parámetros específicos para el cálculo, sino que deja abierta la elección de los mismos al buen juicio profesional, situación diferente en otros índices donde no se admiten que los parámetros sean modificados de acuerdo a las características naturales del recurso. (Valcarcel Rojas et al., 2010)

2.7.1 Metodología del Índice de Calidad de Agua CCME_WQI.

Para la determinación del índice de calidad de agua se aplica la fórmula canadiense, que comprende tres factores (alcance, frecuencia y amplitud), lo que resulta del cálculo matemático un valor único (entre 0 y 100), que va representar y describir el estado de la calidad del agua. Aunque no se especifica un número máximo de parámetros, es recomendable que para el cálculo del índice se empleen como mínimo cuatro parámetros. La definición y determinación de estos tres factores se describen a continuación:

F1- Alcance: representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en las normas de calidad de agua vigentes, respecto al total de parámetros a evaluar.

$$F1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen las normas}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}}$$

F2- Frecuencia: representa la cantidad de datos que no cumplen las normas respecto al total de datos de los parámetros a evaluar.

$$F2 = \frac{\text{Número de los parámetros que no cumplen las normas de los Datos Evaluados}}{\text{Número Total de Datos Evaluados}}$$

F3- Amplitud: es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de

todos los datos respecto al número total de datos. F3 se calcula en tres pasos (Peú, 2017).

Excedente, se da para cada parámetro, es el valor que representa la diferencia del valor de las normas y el valor del dato respecto al valor de las normas.

Caso 1: Cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en las normas, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Excedente} = \left(\frac{\text{Valor del parámetro que no cumple las normas}}{\text{Valor establecido del parámetro en las normas}} \right) - 1$$

Caso 2: Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en las normas, se incumple la condición señalada en las mismas, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Excedente} = \left(\frac{\text{Valor establecido de parámetro en las normas}}{\text{Valor de parámetro que no cumple las normas}} \right) - 1$$

La Suma Normalizada de Excedentes (nse):

$$nse = \frac{\sum \text{Excedente}}{\text{Total de Datos}}$$

Para luego calcular F3:

$$F3 = \frac{nse}{0.01nse + 0.01}$$

Una vez obtenido los valores de los factores (F1, F2 y F3) se procede a realizar el cálculo del índice de calidad de agua: que es la diferencia de un rango de 0 a 100, el valor 100 representa un ICA de excelente calidad y el valor 0 un ICA de mala calidad, la diferencia se realiza con el valor que, dado por la raíz cuadrada del promedio de la suma de los cuadrados de los tres factores, F1, F2 y F3, se expresa en la siguiente ecuación:

$$CCM_WQI = 100 - \left(\sqrt{\frac{F1^2 + F2^2 + F3^2}{3}} \right)$$

El valor del índice se representa como un número adimensional comprendido entre 1 – 100, el cual permite establecer escalas en cinco rangos, que son niveles de sensibilidad que me expresan y califican el estado de la calidad del agua, como Mala, Regular, Favorable, Buena y Excelente (Tabla 7).

Tabla 7. Clasificación de las aguas según el índice CCME_WQI.

CCME_WQI	Calificación	Color asociado
95 – 100	Excelente	Azul
80 – 94	Buena	Verde
65 – 79	Favorable	Amarillo
45 – 64	Regular	Naranja
0 - 44	Mala	Rojo

Para el cálculo del ICA para un monitoreo se seguirán los pasos que se indican anteriormente, los cuales describen el cálculo de cada factor (F1, F2 y F3) y asimismo el valor del índice de la calidad de agua (CCME_WQI). Se exceptúa que para un solo monitoreo $F1 = F2$.

2.8 Etapa III: Trabajo de gabinete.

Una vez obtenida la información necesaria se procedió a la confección del informe final, para esto se realizó el análisis e interpretación de los datos obtenidos en la investigación de las propiedades físico-químicas de las en estudio. Se clasificaron las aguas de acuerdo a las normas nacionales (NC: 827: 2012 y NC: 1021: 2014) e internacionales (OMS, 2006). Se interpretaron los datos del cálculo del Índice de Calidad de las Aguas por la metodología del Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME_WQI). Los resultados se expresaron mediante tablas y gráficos para una mejor interpretación. Se proponen medidas de prevención y mitigación de la contaminación de las aguas de Cañete y Cupey.

CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE ABASTECIMIENTO DE CAÑETE Y CUPEY.

3.1 Introducción.

En este capítulo se hace referencia a los resultados obtenidos en la investigación después de haber realizado las etapas anteriores. Se realiza una descripción de los puntos de muestreo, de las principales fuentes de contaminación presentes en el área y su acción sobre las aguas de este territorio, se analizan las características físico-químicas fundamentales que poseen las aguas lo que permite realizar sus diferentes clasificaciones y su evaluación mediante el índice de calidad CCME_WQI. También se propone un plan de medidas con el fin de prevenir y mitigar la contaminación de las aguas de los asentamientos rurales Cañete y Cupey. Finalmente se realiza una valoración económica de todos los trabajos realizados en esta investigación.

3.2 Descripción de los puntos de muestreo.

Para evaluar la calidad del agua en la región de estudio se realizó un muestreo hidroquímico de 10 puntos el cual se describe a continuación.

Punto 1. Pozo Criollo

Coordenadas: X: 716650,19059 Y: 218750,73406 Hora de muestreo: 10:00 am

Breve descripción: el punto de muestreo es un pozo criollo cuyo propietario es Felipe Reynoso, se encuentra situado en la localidad de Cañete, de este emplean el agua aproximadamente 20 viviendas. El estado físico del mismo no es el más adecuado a pesar de encontrarse tapado, (Figura 11), la parte superior esta reforzada con cemento no sucede así con sus paredes las que están afectadas por las raíces de los árboles que se encuentran a su alrededor y por la acción del agua que erosiona las paredes, el nivel freático del área es bajo. El suelo presente en la zona es areno arcilloso y la vegetación es fundamentalmente de charrascales.



Figura 11. **A:** Pozo muestreado tapado, **B:** Presencia de sedimentos y raíces de arboles en las paredes del pozo.

Punto 2. Cisterna CMF 24 Cañete

Coordenadas: X: 716866,59679 Y: 218564,30923 Hora de muestreo: 10:40 am

Breve descripción: el punto muestreado es la cisterna perteneciente al consultorio médico número 24 Cañete, el agua que se almacena en ella es empleada tanto para el consumo humano como doméstico. La cisterna se encontraba destapada, en la parte superior se encuentra una acumulación de agua la cual se filtra hacia el interior de la misma y puede alterar su composición bacteriológica, (Figura 12 A). En el área se aprecian un microvertedero (Figura12 D), así como el registro del desagüe destapado, también se presencia en el interior de la cisterna objetos que actúan como fuentes de contaminación para el agua. Dentro de la vegetación presente en el sitio se encuentran arboles de guayaba, de mango, plátanos, caña, etc.



Figura 12. **A:** Vista superior de la cisterna de Cañete, destapada y con acumulación de agua en su superficie, **B:** Punto por el que entra el agua a la cisterna, no hermético, **C:** Presencia de objetos en el interior de la cisterna, **D:** Micro vertedero cercano a la cisterna.

Punto 3. Estación de Bombeo Cañete

Coordenadas: X: 717028,1314 Y: 218324,48365 Hora de muestreo: 11:30 am

Breve descripción: el punto de muestreo se encuentra ubicado en la estación de bombeo de Cañete, está situada en un pozo criollo. Esta estación se encarga de abastecer de agua a gran parte de la población de Cañete. El agua bombeada se extrae directamente del pozo y antes de distribuirla recibe un proceso de clorado, para su purificación.

Las muestras fueron tomadas después del proceso de cloración. Aproximadamente a diez metros del pozo pasa un arroyo, el mismo es de carácter permanente todo el año y puede estar interconectado subterráneamente con el pozo debido a su cercanía. Cercano al pozo se localizan corrales de cerdos los que pueden contaminar el acuífero, (Figura 13).



Figura 13. **A:** Estación de bombeo Cañete, **B:** Instalaciones de agua, **C:** Arroyo cercano a la estación de bombeo, **D:** Corrales de cerdos cercanos a la estación de bombeo, **E:** Antiguo pozo criollo cercano a la estación de bombeo.

Punto 4. Pozo Criollo

Coordenadas: X: 716934,77105 Y: 218264,27524 Hora de muestreo: 11:50 am

Breve descripción: el punto muestreado es un pozo criollo localizado en la localidad de Cañete, de este solo se consume agua en algunas ocasiones, al ocurrir problemas con el abasto por acueducto. El pozo en el momento del muestreo se encontraba tapado, las paredes se encuentran reforzadas con cemento, su boca con un brocal de cemento. Al igual que en el punto anterior cercano al pozo transita el mismo arroyo (Figura 14 C).



Figura 14. **A:** Pozo muestreado, **B:** Paredes del pozo reforzadas con cemento, **C:** Arroyo cercano al pozo.

Punto 5. Cisterna CMF 23 Cupey

Coordenadas: X: 713971,15514 Y: 220246,68641 Hora de muestreo: 12:30 am

Breve descripción: este punto corresponde a la cisterna perteneciente al consultorio médico de la localidad de Cupey. La cisterna se encuentra tapada, no de forma hermética (Figura 15 A), lo que representa una tapa no funcional, el agua aquí almacenada se emplea para el consumo humano entre otros usos. Dentro de la cisterna se puede apreciar una gran acumulación de sedimentos en el fondo de esta y puede alterar la composición del agua.



Figura 15. **A:** Cisterna muestreada, tapa no hermetica, **B:** Acumulacion de sedimentos en el interior de la cisterna.

Punto 6. Pozo Criollo

Coordenadas: X: 713898,59232 Y: 220305,55014 Hora de muestreo: 12:40 am

Breve descripción: el punto de muestreo es un pozo criollo localizado en la vivienda de Enrique Reynoso, en la localidad de Cupey, su agua es empleada cuando existe déficit con el abasto de acueducto mediante pipas, de este se abastecen al menos 4 viviendas. El propietario manifiesta que el agua no se emplea para el consumo humano, es necesario destacar que el pozo se encuentra destapado y las condiciones higiénicas sanitarias no son las más adecuadas. Como otras irregularidades en el lugar se observaron la presencia de corrales de cerdos a aproximadamente siete metros y charcos de aguas acumuladas a menos de cinco metros del pozo, aguas procedentes de la actividad doméstica y que por los procesos de infiltración pueden alterar las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas (Figura 16).

Estas irregularidades influyen negativamente en la calidad del agua presente en el pozo, a esto se suma que el pozo no se encuentra protegido en sus paredes y su boca está al nivel de la superficie. El punto está muy cercano a la costa por lo que puede presentar una contaminación salina.



Figura 16. **A:** Realización de muestreo de pozo seleccionado , **B:** Acumulación de agua utilizada en las labores domésticas cerca del pozo, **C y D:** Corrales de cerdos cercanos al pozo.

Punto 7. Pozo Criollo

Coordenadas: X: 714040,57651 Y: 220156,12011 Hora de muestreo: 1:00 pm

Breve descripción: el punto muestreado es un pozo criollo de la localidad de Cupey cuyo propietario es Raúl Gonzales, de él se abastecen aproximadamente 4 viviendas. En el momento del muestreo se encontraba tapado (Figura 17 A), tato sus paredes como su boca están reforzadas con cemento. Como deficiencias se pudieron detectar que a cinco metros existen corrales para ovinos y a ocho metros corre una zanja con aguas desechadas de labores domésticas, esto puede contaminar el acuífero mediante los procesos de infiltración.



Figura 17. **A:** Pozo tapado, **B:** Paredes del pozo reforzadas con cemento, **C:** Corrales cerca del pozo, **D:** Zanja de agua utilizada en las labores domésticas cerca del pozo.

Punto 8. Pozo Criollo

Coordenadas: X: 713594,67748 Y: 219957,28316 Hora de muestreo: 1:20 pm

Breve descripción: este punto es un pozo criollo localizado en la comunidad de Cupey en la vivienda de Agustín Girón Durán, varias casas consumen de esta agua. En el momento del muestreo se encontraba tapado, aunque no es hermética

su tapa, sus paredes se encuentran reforzadas con cemento (Figura 18), presenta una profundidad aproximada de 9 metros. No se observan fuentes de contaminación cercanos al área del pozo.



Figura 18. **A:** Pozo muestreado, se encuentra tapado pero la tapa no es hermética, **B:** Las paredes del pozo reforzadas con cemento.

Punto 9. Pozo Criollo

Coordenadas: X: 712959,78921 Y: 218328,80241 Hora de muestreo: 1:50 pm

Breve descripción: El punto muestreado se encuentra en Cupey-La Zona, es un pozo criollo cuyo responsable es Yunior Rodríguez Vázquez. El pozo se encuentra destapado lo que representa que está expuesto a la contaminación. Se puede apreciar que el nivel freático es bajo y presencia de manantiales en las paredes del pozo. El agua es empleada tanto para el uso doméstico como humano por 6 viviendas, esta se obtiene por gravedad mediante una tubería de metal hacia las casas. El suelo presente en el área es arenoso, alterado y con procesos de meteorización.



Figura 19. **A:** Pozo destapado, **B:** Las paredes del pozo se encuentran reforzadas con cemento, **C:** Tubería de metal introducida en el agua, la misma se encuentra oxidada.

Punto 10. Pozo Criollo

Coordenadas: X: 712569,23628 Y: 219715,28025 Hora de muestreo: 2:20 pm

Breve descripción: este punto se encuentra ubicado en la Finca Brasil perteneciente a la comunidad de Cupey cuyo propietario es Jesús Reyes, de él utilizan agua 4 viviendas tanto para uso doméstico como consumo humano. Aproximadamente a diez metros del pozo transita el arroyo Marañón, de carácter intermitente. En la boca del pozo se encuentra un neumático el que junto a varias vigas metálicas protegen la estructura del pozo y evitan un derrumbe de sus paredes, las vigas se encuentran en proceso de oxidación lo que puede tener influencia en la composición química de las aguas del pozo. El acuífero se encuentra expuesto a la presencia de fuentes contaminantes del agua como letrina y corrales de cerdos (Figura 20 C y D).



Figura 20. **A:** Pozo criollo donde se observa en su superficie un neumático y en sus paredes vigas metálicas con presencia de óxido, **B:** Paredes del pozo sin protección, **C:** Corrales de cerdos cercanos del pozo, **D:** Presencia de una letrina cerca del pozo.

3.3 Principales fuentes de contaminación de las aguas de Cañete y Cupey.

Se realizó el control de los posibles puntos de contaminación y se valoró la posible influencia de los mismos sobre la calidad de las aguas en el área.

Se pudo comprobar que existe vertimiento de residuales y desechos sólidos en los alrededores de la cisterna del consultorio médico de Cañete, (Figura 21 A), las cisternas de los consultorios médicos de Cañete y Cupey no se encuentran correctamente tapadas (Figura 21 B y C). Las condiciones higiénicas sanitarias de estos dos depósitos de agua no son las más favorables, debido a la presencia de material limoso en sus paredes interiores por lo que se exponen a una contaminación bacteriológica.



Figura 21. A: Vertido de desechos sólidos cerca de la cisterna del CMF de Cañete. B y C: Cisternas destapadas de los consultorios médicos de Cañete y Cupey respectivamente

Los pozos criollos de los pobladores no cumplen los requisitos sanitarios, en su totalidad presentan fuentes de contaminación en sus alrededores como letrinas, corrales de cerdos y zanjas por donde vierten las aguas albañales procedentes de las labores domésticas y los corrales de cerdo, ejemplo de esto son los puntos 6 y 7 (Figura 22).



Figura 22. Zanja con aguas residuales procedentes del corral del cerdo y labores domésticas (A: punto 6 y B: punto 7).

En el punto 9 (Figura 23) se presenció como el pozo del cual se abastecen 6 viviendas no posee ningún tipo de tapa lo que lo hace vulnerable a la contaminación, esta agua se utiliza tanto para labores domésticas como para consumo humano, esto puede ser un factor clave en la ocurrencia de enfermedades.



Figura 23. Pozo muestreado encontrándose destapado, punto M9.

En el punto 10 se encuentra una letrina y un corral de cerdo en la parte alta y el pozo en la parte baja por la dirección de las aguas subterráneas se contamina el pozo, (Figura 24). Además, el pozo está ubicado en el complejo acuífero de los sedimentos terrígenos carbonatados el cual es ligeramente permeable por lo que las colonias de bacterias producidas a partir de los desechos sólidos pueden llegar hasta las aguas de consumo.



Figura 24. Presencia de contaminantes biológicos cercanos a los pozos (A: letrina y B: corrales de cerdos).

3.4 Caracterización física - química de las aguas.

Seguidamente se evalúan las aguas de abastecimiento de los asentamientos rurales Cañete y Cupey de acuerdo 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, NC 1021: 2014 y la Norma de la Organización Mundial de la Salud: (OMS, 2006), se tiene en cuenta además la composición química y propiedades físicas de las mismas

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

No Muestra	Lugar	X	Y	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	CO ₃ ⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Fe ²⁺ _{Total} mg/L
M1	Cañete	716650.191	218750.734	20.8	10.56	2.2	22.9	0	0	1.3475
M2	Cañete	716866.597	218564.309	25.6	85.44	1.7	133	40	144	0.3488
M3	Cañete	717028.131	218324.484	30.4	79.68	1.7	130.5	36	129.6	1.0144
M4	Cañete	716934.771	218264.275	25.6	42.24	1.1	27.9	0	0	0.879
M5	Cupey	713971.155	220246.686	8	19.2	0.43	6.7	40	144	0.6978
M6	Cupey	713898.592	220305.55	9.6	76.8	1.9	40.9	12	43.2	0.3877
M7	Cupey	714040.577	220156.12	11.2	37.44	3.7	84.1	8	28.8	0.2962
M8	Cupey	713594.677	219957.283	24	60.48	1.4	57.8	18	64.8	0.5556
M9	Cupey	712959.789	218328.802	4.8	43.2	0.041	15.3	40	144	0.4628
M10	Cupey	712569.236	219715.28	6.4	87.36	1.2	39.9	16	57.6	0.2239

Tabla 9. Continuación. Resultados de los análisis químicos de las muestras analizadas.

No Muestra	Lugar	X	Y	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	SiO ₂ ⁻ mg/L	Salinidad %	Materia Orgánica mg/L	Dureza Total CaCO ₃ ⁻ mg/L
M1	Cañete	716650.191	218750.734	37.98	7.6276	0	11.5562	0	0.4	96
M2	Cañete	716866.597	218564.309	93.95	11.5939	0	22.911	0.4	1	420
M3	Cañete	717028.131	218324.484	95.95	10.4718	0	22.855	0.4	1.2	408
M4	Cañete	716934.771	218264.275	51.97	11.1419	0.0001	19.5389	0	7.5	240
M5	Cupey	713971.155	220246.686	15.99	8.3289	0	11.0009	0	1.1	100
M6	Cupey	713898.592	220305.55	101.94	11.5627	0.0059	23.786	0.2	2.6	344
M7	Cupey	714040.577	220156.12	89.95	11.9757	0.0008	21.996	0.1	9.8	184
M8	Cupey	713594.677	219957.283	87.95	14.2666	0	21.9361	0.2	1.2	312
M9	Cupey	712959.789	218328.802	35.98	12.9107	0	22.2677	0	2.6	192
M10	Cupey	712569.236	219715.28	85.95	3.7939	0	15.2719	0.2	2	380

Tabla 10. Resultados de los análisis físicos de las muestras analizadas.

No Muestra	Lugar	X	Y	pH	Conductividad $\mu\text{s/cm}$	Turbidez NTU	STD mg/L
M1	Cañete	716650.191	218750.734	6.41	248	12	111
M2	Cañete	716866.597	218564.309	7.38	1176	2	529
M3	Cañete	717028.131	218324.484	7.31	1229	3	552
M4	Cañete	716934.771	218264.275	6.9	535	14	240
M5	Cupey	713971.155	220246.686	7.4	196	1	88
M6	Cupey	713898.592	220305.55	7.98	807	12	363
M7	Cupey	714040.577	220156.12	7.67	668	9	301
M8	Cupey	713594.677	219957.283	7.7	806	3	362
M9	Cupey	712959.789	218328.802	7.98	407	4	183
M10	Cupey	712569.236	219715.28	7.6	835	5	376

En las tablas 8, 9 y 10 se muestran los resultados obtenidos en los laboratorios en cuanto a la composición química y propiedades físicas de las muestras analizadas.

3.4.1 Clasificación de las aguas por su composición química según Aliokin

De acuerdo a la composición química de las muestras estudiadas (Tabla 11) y la relación entre los miligramos equivalentes (mg.eq/L) de los iones de Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- y SO_4^{2-} , se determinó que el tipo de agua de las muestras analizadas son del tipo 3, excepto la muestra M5 se clasifica como de tipo 1; se caracterizan por la relación $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ y la relación $\text{HCO}_3^- > (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ respectivamente. Debido a la concentración de los iones HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ , las aguas analizadas según Aliokin se clasifican en clorurada - cálcica - sódica (M1), cloruradas - magnésica - sódica (M2, M3, M4, M6, M8 y M10), hidrocarbonatadas - magnésica - clórica (M5 y M9) y clorurada - sódica - magnésica (M7).

Tabla 11. Valores utilizados para la determinación del tipo de agua según su composición química, expresados en mg-eq/L.

No. 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	Clasificación	Tipo
M 1	1	0.9	0.16	0	1.91	0.16	mineralizadas	3
M 2	1.3	7	0.24	2.4	8.3	2.6	mineralizadas	3
M 3	1.5	6.5	0.22	2.1	8.07	2.34	mineralizadas	3
M 4	1.3	3.5	0.23	0	4.75	0.23	mineralizadas	3
M 5	0.4	1.6	0.17	2.4	1.98	2.53	débil mineralización	1
M 6	0.5	6.3	0.24	0.7	6.79	0.95	mineralizadas	3
M 7	0.6	3.1	0.25	0.5	3.64	0.72	mineralizadas	3
M 8	1.2	5	0.3	1.1	6.17	1.36	mineralizadas	3
M 9	0.2	3.6	0.27	2.4	3.79	2.63	mineralizadas	3
M 10	0.3	7.2	0.08	0.9	7.5	1.02	mineralizadas	3

3.4.2 Clasificación de las aguas por su mineralización según Aliokin

En correspondencia con la mineralización y la clasificación de las aguas establecida por Aliokin, las muestras presentan valores de mineralización menores que 1 g/L, por lo tanto, las aguas de la zona de estudio se clasifican como aguas dulces. La mineralización se comportó en todas las muestras analizadas en un rango entre (0,1 – 0,5 g/L), representan los valores de mínimo y máximo respectivamente. (Figura 25 y Tabla 12).

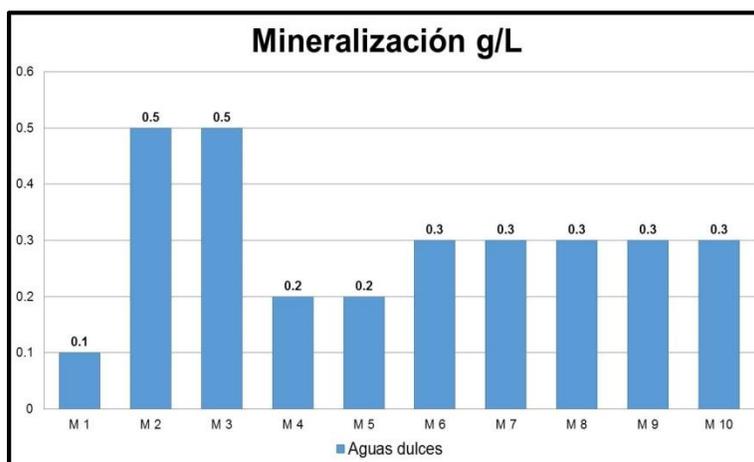


Figura 25. Comportamiento de la mineralización (g/L) en las muestras analizadas.

Tabla 12. Clasificación de las aguas por su mineralización.

No. Muestra	Mineralización g/L	
M 1	0.1	Aguas dulces
M 2	0.5	Aguas dulces
M 3	0.5	Aguas dulces
M 4	0.2	Aguas dulces
M 5	0.2	Aguas dulces
M 6	0.3	Aguas dulces
M 7	0.3	Aguas dulces
M 8	0.3	Aguas dulces
M 9	0.3	Aguas dulces
M 10	0.3	Aguas dulces

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

De acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio los valores de pH se encuentran en el rango desde 6.41 y 7.98, representan un mínimo y un máximo respectivamente (Figura 26). De las muestras una se clasifica débilmente ácida (M1) por encontrarse en el intervalo entre 5 y 6.5, cuatro se clasifican como neutras (M2, M3, M4 y M5) localizadas entre 6.5 y 7.5, y las restantes cinco (M6, M7, M8, M9 y M 10) se clasifican como débilmente básicas entre 6.5 y 8.5.

En correspondencia a la NC 827: 2012 y la OMS, los valores de pH de las diez muestras estudiadas se encuentran dentro de los límites máximos admisibles (valores de pH entre 6.5 y 8.5), esto indica que las mismas cumplen con la norma y por tanto pueden ser declaradas como agua potable según los valores de pH que presentan.

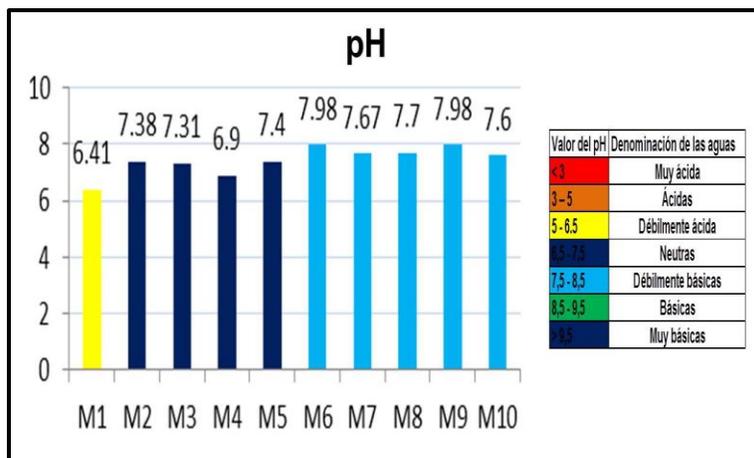


Figura 26. Comportamiento de los contenidos de pH en las muestras analizadas.

3.4.4 Clasificación de las aguas por su dureza total según Aliokin

La dureza total se encuentra constituida 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 blandas, algo duras y duras; de ellas dos se clasifican como blandas

(M1 y M5) en el intervalo de 1.5 y 3.0, tres se clasifican como algo duras (M4, M7 y M9) situadas entre 3.0 y 6.0, y las otras cinco se clasifican como duras (M2, M3, M6, M8 y M10) entre 6.0 y 9.0.

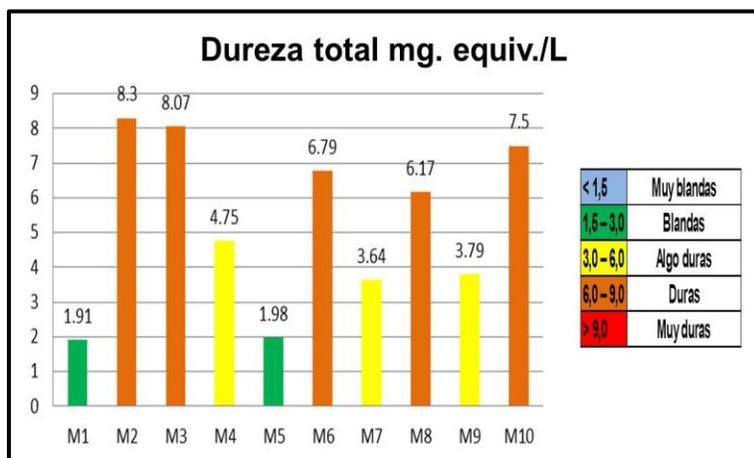


Figura 27. Comportamiento de los contenidos de dureza, expresada en mg.eq/L en las muestras analizadas.

3.4.5 Clasificación de las aguas por su grado de contaminación salina y el índice de salinidad marina.

Los valores calculados del grado de contaminación salina (Tabla 13) a partir de los contenidos de Cl^- , CO_3^- , HCO_3^- , expresados mg.eq /L, arrojaron valores entre 0 y 3.44, por lo que se clasifican cuatro muestras como aguas normales (M1, M4, M5 y M9), cuatro muestras como aguas ligeramente contaminada (M2, M3, M8 y M10), una muestra como agua moderadamente contaminada (M6) y la restante muestra como agua bastante contaminada (M7). Las muestras que mayores grados de contaminación salina presentan es como consecuencia de encontrarse ubicado el punto de muestreo más próximo al mar, produciéndose un mayor intercambio iónico entre el agua correspondiente a esas muestras y la del mar.

Para el cálculo del índice de salinidad marina se emplearon los contenidos de Cl^- , Na^+ , HCO_3^- , Ca^{2+} , expresados en porcentaje, con valores resultantes entre 0.3 y 5.8 % (Tabla 14), por lo que las aguas se clasifican en acuífero no salinizado (M5 y M9), acuífero débilmente salinizado (M2 y M3), acuífero salinizado (M1, M4, M6, M7, M8 y M10).

Tabla 13. Valores utilizados en determinar la Contaminación salina.

No. Muestra	Cl ⁻ mg-equiv/L	CO ₃ ⁻ mg-equiv/L	HCO ₃ ⁻ mg-equiv/L	C.S. mg-equiv/L	Denominación
M 1	1.07	0	0	0	Agua normal
M 2	2.65	1.33	2.36	0.72	Agua ligeramente contaminada
M 3	2.71	1.2	2.13	0.81	Agua ligeramente contaminada
M 4	1.47	0	0	0	Agua normal
M 5	0.45	1.33	2.36	0.12	Agua normal
M 6	2.87	0.4	0.71	2.6	Agua moderadamente contaminada
M 7	2.54	0.27	0.47	3.44	bastante contaminada
M 8	2.48	0.6	1.06	1.49	Agua ligeramente contaminada
M 9	1.01	1.33	2.36	0.27	Agua normal
M 10	2.42	0.53	0.94	1.64	Agua ligeramente contaminada

Tabla 14. Valores utilizados en determinar el Índice de salinidad marina.

No. Muestra	% Cl ⁻	% Na ⁺	% HCO ₃ ⁻	% Ca ₂ ⁺	ISM	Denominación
M 1	87.1	28.75	0	29.95	3.9	Acuífero salinizado
M 2	40.26	40.95	35.89	9.041	1.8	acuífero débilmente salinizado
M 3	43.33	41.18	34.04	11	1.9	Acuífero débilmente salinizado
M 4	86.35	20.26	0	21.32	5	Acuífero salinizado
M 5	10.45	12.78	54.75	17.51	0.3	Acuífero no salinizado
M 6	68.09	20.64	16.78	5.557	4	Acuífero salinizado
M 7	71.99	49.51	13.4	7.563	5.8	Acuífero salinizado
M 8	55.89	28.84	23.95	13.74	2.2	Acuífero salinizado
M 9	20.4	14.93	47.49	5.374	0.7	Acuífero no salinizado
M 10	60.92	18.73	23.74	3.446	2.9	Acuífero salinizado

Existe cierta correlación entre los valores de la contaminación salina y el índice de salinidad marina, reflejándose que los puntos de muestreo que presentan mayores valores de contaminación salina también presentan los mayores valores del índice de salinidad marina, esto se observa en la Figura 28, estos dos parámetros se ven influenciados por el intercambio iónico de las aguas muestreadas y el agua de mar debido a su proximidad con este.

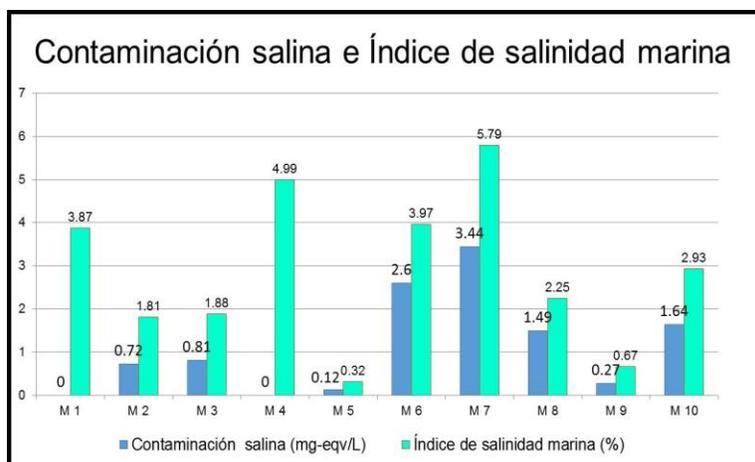


Figura 28. Comportamiento de la Contaminación salina (mg-eqv/L) e índice de salinidad marina (%).

3.4.6 Salinidad (%)

La salinidad del agua está dada por la concentración de sales disueltas en la misma, los valores en las muestras analizadas se mantienen bajos (Figura 29), sobresalen como contenido más alto 0.4%, presente en las muestras M2 y M3, producen 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 analizadas.

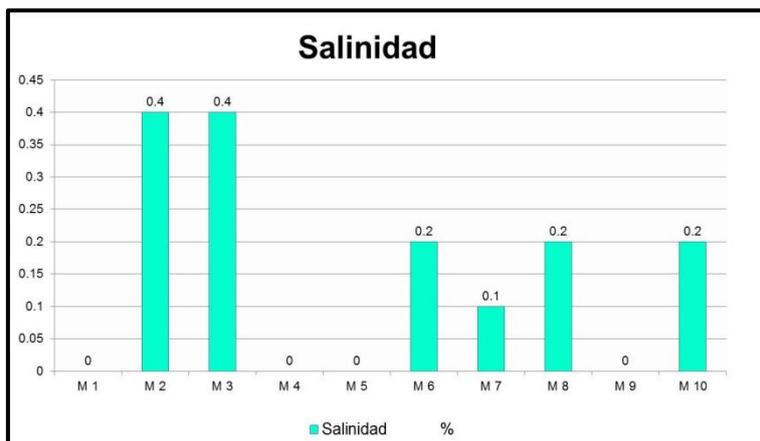


Figura 29. Comportamiento de la salinidad (%) en las muestras analizadas.

3.4.7 Turbidez (NTU)

La turbidez de las aguas se debe a la presencia de material suspendido y coloidal como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida y otros organismos microscópicos. La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que hace que los rayos luminosos se dispersen y se absorban, en lugar de que se transmitan sin alteración a través de una muestra.

Según la NC 827: 2012 y la (OMS, 2006) la turbidez se comporto en el rango establecido en 6 muestras (M2, M3, M5, M8, M9, M10) de un total de 10 muestras analizadas, las restantes se sobrepasan del límite máximo permisible para este parámetro 5 NTU, (Figura 30). Las demás muestras analizadas se encuentran por encima de las normas permisibles. Estos altos valores pueden ser por la presencia de partículas suspendidas y disueltas tanto orgánicos como inorgánicos. La turbiedad es de importante consideración en las aguas para el consumo humano por tres razones, la estética, la filtrabilidad y la desinfección.

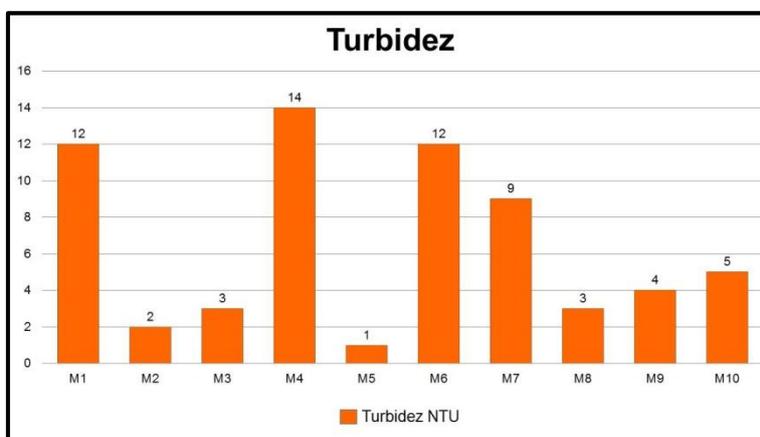


Figura 30. Comportamiento de la turbidez, (NTU).

3.4.8 Sólidos Totales Disueltos (STD) y Conductividad (CE)

La determinación de los sólidos totales permite estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en un agua, estos pueden ser de origen orgánico e inorgánico, incluyendo minerales, metales y gases. Los valores obtenidos de las muestras analizadas se encuentran en el rango de 88 a 552 mg/L (Figura 31), de acuerdo a la NC 827/2012, la NC 1021: 2014 y la (OMS, 2006) los contenidos de STD se encuentran por debajo del límite admisible (1000 mg/L), por lo que el agua se considera potable.

La conductividad es la capacidad del agua para conducir la electricidad, esta se encuentra relacionada estrechamente con los sólidos totales disueltos, con el aumento de los STD 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 que presentan mayores contenidos de STD, como bien se observa en la Figura 31. Los valores de la conductividad se encuentran en el rango de 196 a 1229 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

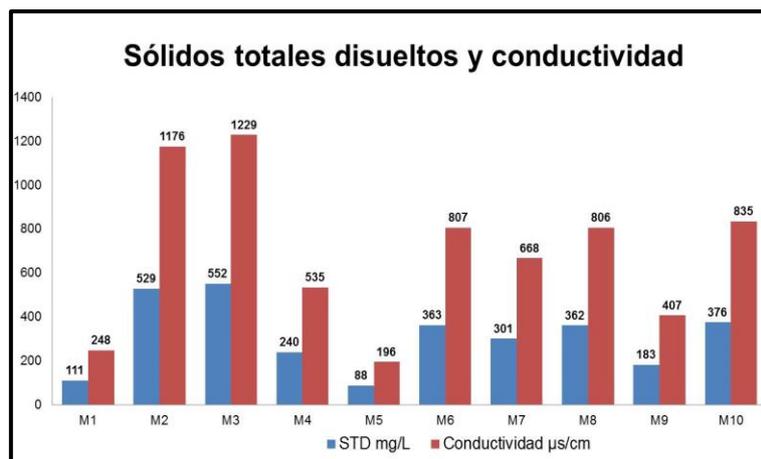


Figura 31. Comportamiento de los sólidos totales disueltos, (mg/L) y la conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$).

3.4.9 Hierro (Fe^{2+})

El hierro se encuentra dentro del valor permisible según la NC 827/2012 muestras (M2, M7 y M10), las restantes 7 muestras (M1, M3, M4, M5, M6, M8 y M9) sobrepasan este límite permisible de 0.3 mg/L, valores que sobrepasan oscilan entre 0.4 y 1.3 mg/L (Figura 32). Estos resultados se encuentran afectados por la composición litológica del área, también por el encamisado de algunos pozos por ser este metálico.

Este elemento se encuentra de manera natural generalmente en toda el área de estudio por la litología presente en la zona, el hierro en bajas concentraciones es beneficioso para

el organismo, ingerido en grandes cantidades en alimentos o agua puede ser acumulativo en la sangre y producir efectos adversos al organismo, causa intoxicación principalmente en los niños pequeños.

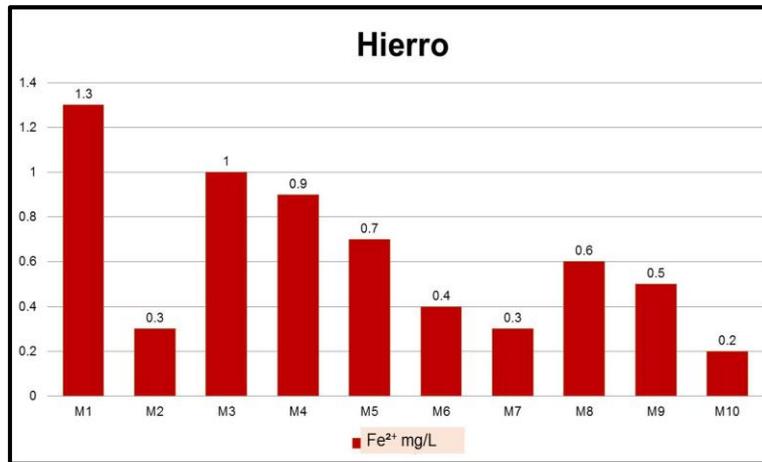


Figura 32. Comportamiento del hierro, (mg/L)

3.4.10 Calcio (Ca²⁺)

El calcio se encuentra por debajo de la norma establecida, NC 827/2012, en la cual se plantea que el calcio no puede sobrepasar de los 200 mg/L, en los análisis realizados a las 10 muestras tomadas, los valores oscilan entre 30.4 y 8 mg/L, representan máximo y mínimo respectivamente. (Figura 33). El mayor valor corresponde a la muestra M3 y el menor a la muestra M10. Este elemento está relacionado fundamentalmente con la dureza del agua, y se encuentran influenciados por la litología del área.

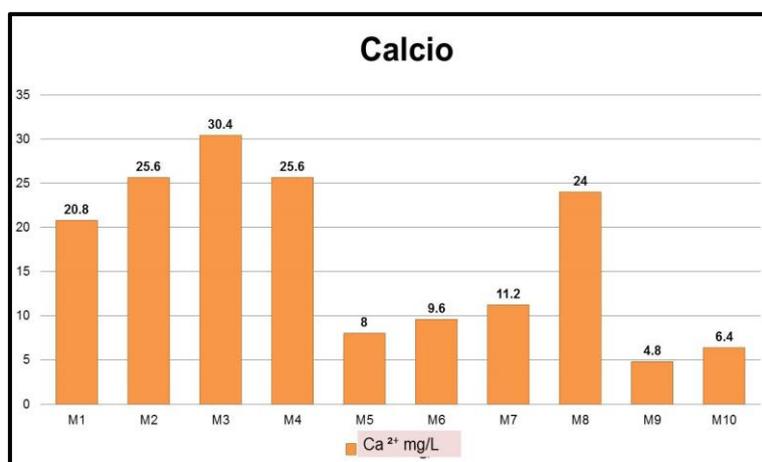


Figura 33. Comportamiento de calcio (mg/L).

3.4.11 Magnesio (Mg²⁺)

El magnesio se encuentra entre los valores de (87.36 – 10.56 mg/L) (Figura 34) por lo que se puede evidenciar que todas las muestras analizadas se encuentran por debajo de la norma establecida (Norma Cubana, 2012), según análisis estadístico, los valores más bajos se encuentran en las muestras M1 10.56 mg/L y M5 19.2 mg/L y el mayor valor está representado por la muestra M10 con un valor de 87.36 mg/L, valor muy bajo en comparación con las normas permisibles. El rango permisible para el magnesio es de hasta 150 mg/L, este al igual que el calcio se encuentra relacionado con la dureza del agua.

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

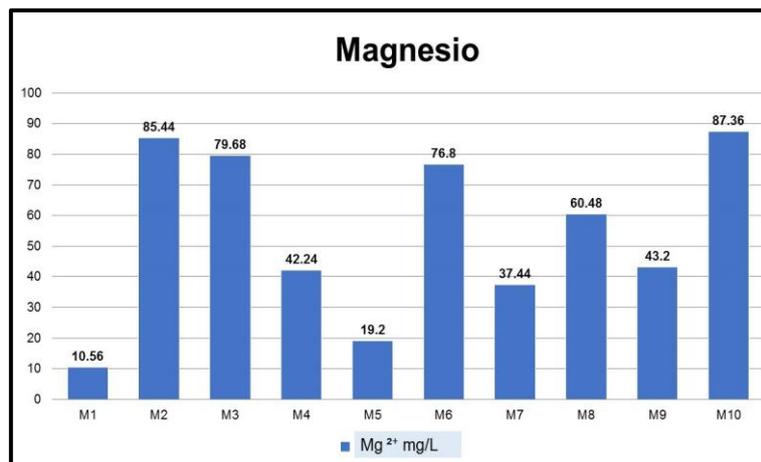


Figura 34. Comportamiento del magnesio (mg/L).

3.4.12 Sodio (Na²⁺)

El sodio se encuentra entre los valores (133 - 6.7 mg/L) (Figura 35) por lo que podemos decir que se encuentra por debajo de las normas establecidas (Norma Cubana, 2012) la cual tiene un rango permisible para dicho elemento de 200 mg/L.

En las muestras M2 y M3 se puede apreciar un aumento brusco del sodio, esto se evidencia por dos razones fundamentales. El sodio es liberado entre otras cosas por la disolución de rocas sedimentarias de origen marino, las cuales están representadas en esta área hacia la parte norte por el complejo de los sedimentos terrígeno – carbonatados. Otra de las razones es que una fuente importante de sodio la constituyen los aportes de

agua marina en regiones costeras, tanto por intrusión marina como por infiltración del agua de lluvia a la que se incorpora desde el mar, aspectos que se ponen de manifiesto en el área.

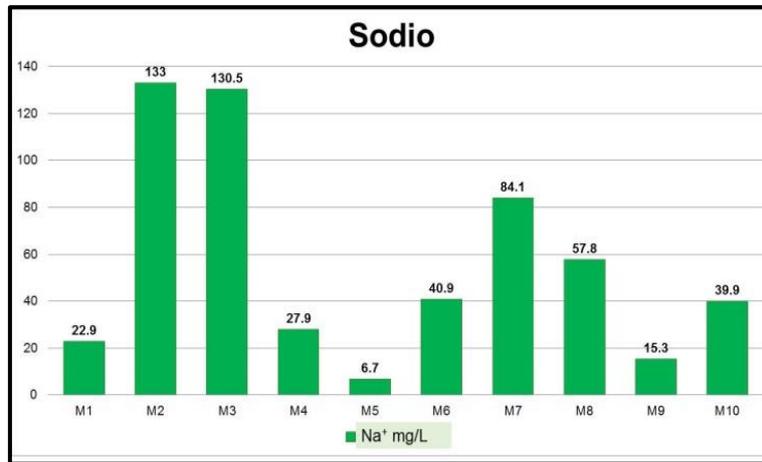


Figura 35. Comportamiento del sodio, (mg/L).

3.4.13 Potasio (K⁺)

Procede de la meteorización de los feldespatos, ocasionalmente de la solubilización de depósitos de evaporitas, en particular de sales tipo silvina (KCl) o carnalita (KMgC₂). El potasio tiende a ser fijado irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de adsorción en la superficie de minerales con alta capacidad de intercambio iónico.

El potasio se encuentra según los análisis realizados entre los valores de (0,04 – 3.7 mg/L) (Figura 36) por lo que se puede decir que las 10 muestras están en el rango de las normas establecidas, (NC 827: 2012) y (OMS, 2006), la cual es de 12 mg/L. En aguas subterráneas su contenido no suele sobrepasar los 10 mg/L, a excepción de algunas salmueras. En ocasiones, más altas concentraciones pueden ser indicio de contaminación por vertidos de aguas residuales o afectaciones por la litología.

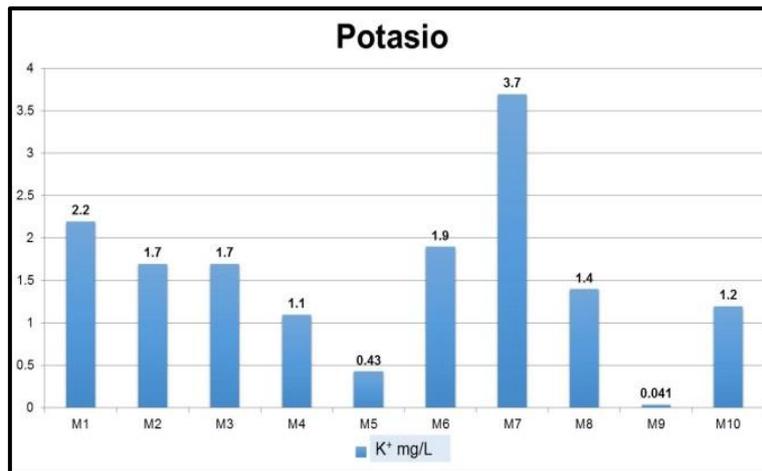


Figura 36. Comportamiento de potasio (mg/L).

3.4.14 Cloruros (Cl⁻)

Este anión se encuentra presente en todas las aguas. Su presencia se debe a la disolución de cloruros solubles de sodio, calcio, magnesio y potasio, el más frecuente es el cloruro de sodio o sal común, este es el responsable del gusto salado, mientras que el cloruro de magnesio le da un sabor amargo al agua acompañado de un efecto purgante leve.

El cloruro en las muestras analizadas se encuentra por debajo de la norma establecida (Norma Cubana, 2012) en la cual se plantea que los valores de dicho elemento no pueden sobrepasar los 250 mg/L y en este caso los valores oscilan entre (15.99 – 101.94 mg/L) (Figura 37). Este elemento no es perjudicial para la salud, pero, influye directamente en el sabor del agua.

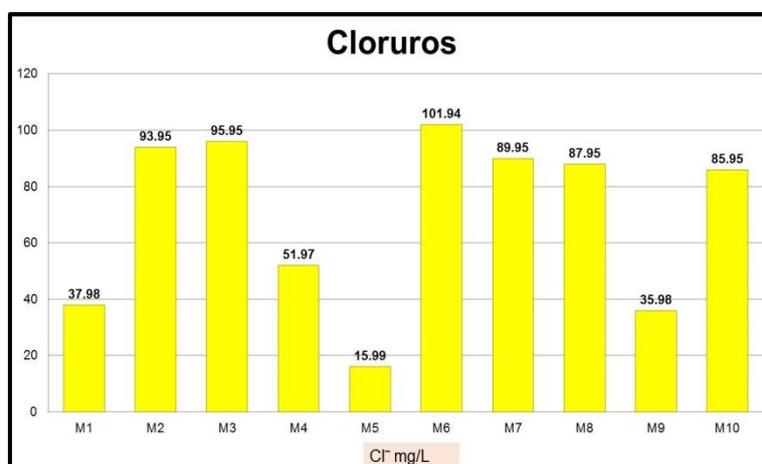


Figura 37. Comportamiento de los cloruros, (mg/L).

3.5 Evaluación de la calidad de las aguas a través del Índices de calidad del Agua (CCME_WQI).

A continuación, se realiza una evaluación de las aguas de abastecimiento de los asentamientos rurales Cañete y Cupey a través del empleo del índice de calidad CCME_WQI, este fue escogido por su gran empleo en otras investigaciones tanto internacionales como nacionales y su aplicabilidad con gran aceptación tanto para aguas superficiales como subterráneas. El índice de calidad de agua (ICA) fue calculado con el objetivo de hacer una evaluación general sobre el estado de la calidad del agua en el área de estudio, considerándose los criterios para uso y consumo humano establecidos por las normas cubanas e internacionales. Se realizó el cálculo del índice CCME_WQI en base a los datos del resultado del muestreo realizado, se emplearon 15 parámetros (Tabla 15) para la determinación del índice.

Tabla 15. Parámetros considerados para la evaluación del índice CCME-WQI.

No.	Parámetro	Límite	Unidad
1	pH	6.5-8.5	unidades de pH
2	Conductividad	1500	µs/cm
3	Turbidez	10	NTU
4	STD	1000	mg/L
5	Ca ²⁺	200	mg/L
6	Mg ²⁺	150	mg/L
7	Na ⁺	200	mg/L
8	Fe ²⁺ _{Total}	0.3	mg/L
9	Cl ⁻	250	mg/L
10	SO ₄ ²⁻	250	mg/L
11	NO ₂ ⁻	0.01	mg/L
12	Dureza	400	mg/L
13	Materia orgánica	5	mg/L
14	CO ₃ ⁻	5	mg/L
15	HCO ₃ ⁻	30-200	mg/L

A partir de los resultados obtenidos en el cálculo del ICA por la metodología CCME_WQI se clasifican las muestras como favorables (M3 y M5) y como buena (M1, M2, M4, M6, M7, M8, M9 y M10) (Tabla 16. Figura 35).

Tabla 16. Resultados del Índice de calidad de agua (ICA) metodología CCME_WQI.

No Muestra	ICA	clasificación	Color
M1	88.56028982	Buena	Verde
M2	81.54018058	Buena	Verde
M3	78.95825799	Favorable	Amarillo
M4	90.83363769	Buena	Verde
M5	79.39172848	Favorable	Amarillo
M6	93.53027599	Buena	Verde
M7	94.42754745	Buena	Verde
M8	89.19838304	Buena	Verde
M9	80.68183394	Buena	Verde
M10	92.61508664	Buena	Verde

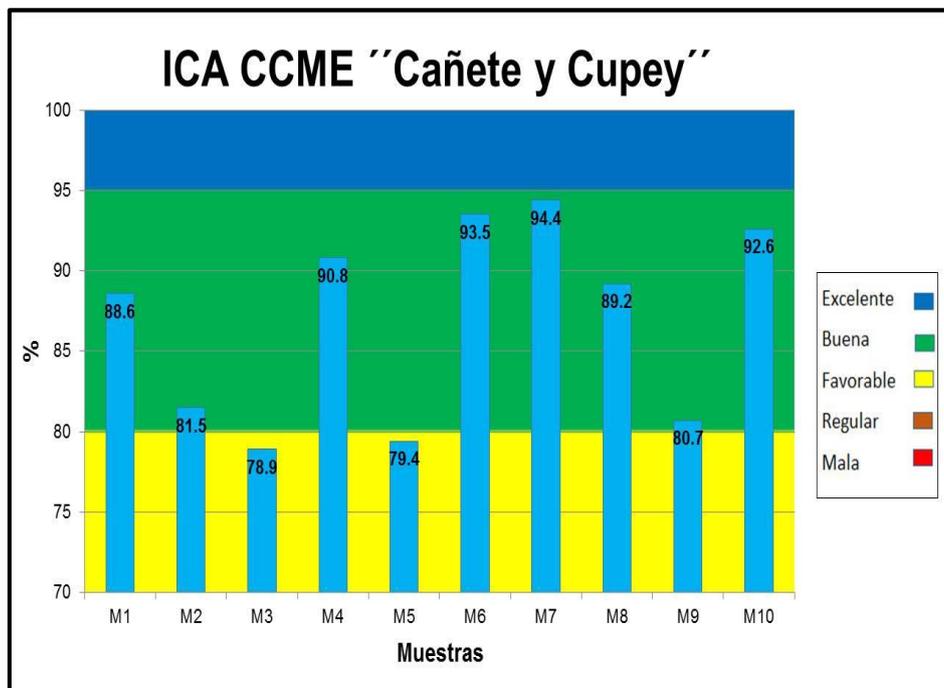


Figura 38. Resultados del Índice de Calidad de Agua CCME_WQI.

Las muestras que se determinaron como favorables se encuentran en el rango de 65_79, las que clasifican la calidad de su agua como buena se sitúan en el rango de 80_94, presentan daños de poca magnitud en su calidad.

Los parámetros que más influyen en el valor de los resultados es la concentración de los elementos hierro y carbonatos los que sobrepasan la norma establecida y los estándares de calidad de agua en la mayoría de los puntos muestreados, a pesar que estos parámetros no afectan en gran medida la salud humana es recomendable darle seguimiento. La litología presente en el área influye en gran medida en la composición

físico-química de las aguas analizadas esto se debe a que al estar en contacto existe un intercambio iónico roca-agua y se enriquece de los minerales existentes y de sus elementos químicos, al igual que la cercanía de los puntos a la costa

El análisis estadístico del ICA reporto un mínimo valor a la muestra M3 con 78.9 %, el máximo a la muestra M7 con 94.4 %, la media que posee es de 86.96%, el promedio es de 88.9 lo que refleja que la gran mayoría de las muestras de agua están clasificadas como buena calidad.

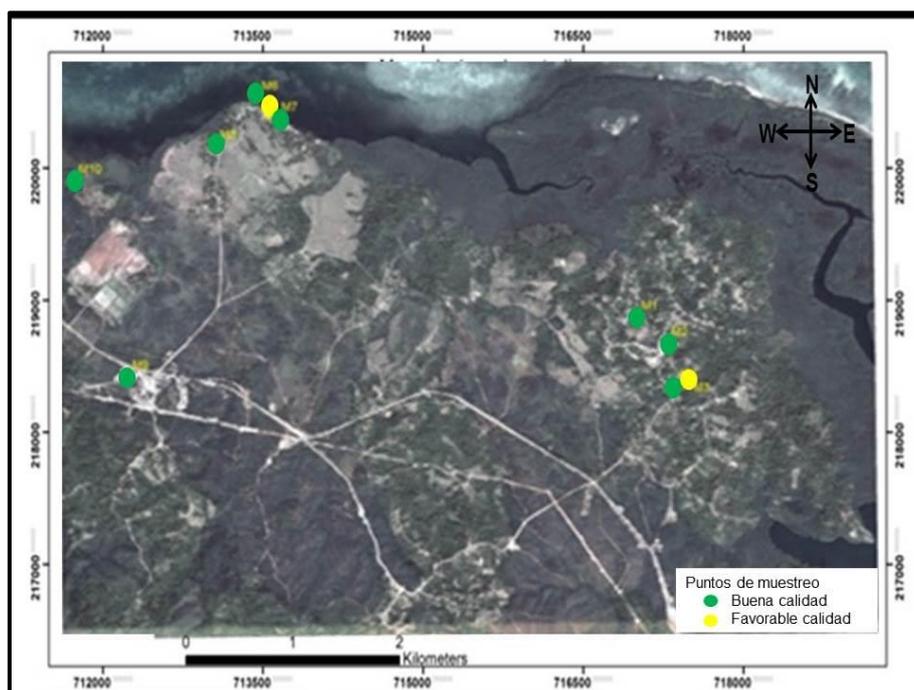


Figura 39. Mapa de las clasificaciones de las aguas según el ICA CCCME_WQI.

Se considera importante realizar otras determinaciones analíticas que pueden estar incluidas en la evaluación del índice de calidad del agua, que son parámetros importantes en la caracterización de las muestras. Se recomienda practicarle un proceso de desinfección a las aguas empleadas para consumo humano ya sea de cloración o filtración.

3.6 Influencia del cambio climático en la calidad de las aguas de Cañete y Cupey.

El crecimiento de la población, el uso del suelo, emisión de gases de efecto invernadero, la deforestación y la expansión de las actividades económicas son unas de las causas que están presionando negativamente a los ecosistemas de las aguas costeras, los ríos, los lagos, los humedales y los acuíferos por influir en el cambio climático. El cambio climático es la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala

global o regional, se producen transformaciones a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros meteorológicos: temperatura, presión atmosférica, precipitaciones, nubosidad, etc.; también se aprecia como el régimen de lluvias ha cambiado, se incrementan significativamente las sequías, el deshielo de los glaciales y el nivel medio del mar ha subido lo que puede provocar la pérdida paulatina de la superficie emergida del país en zonas costeras muy bajas, así como la salinización de los acuíferos subterráneos abiertos al mar por el avance de la cuña salina.

En el área de estudio se pueden evidenciar alteraciones en las condiciones físico - químicas de las aguas, se elevan los contenidos de cloruros, sodio y magnesio en los puntos analizados que se encuentran ubicados más cercanos a la costa, lo que indica una influencia de la intrusión salina en el área de estudio y puede alterar la calidad del agua.

Por ser una preocupación la calidad de las aguas tanto subterráneas como superficiales y la influencia del cambio climático sobre estas surge en nuestro país el Plan de Estado y la Tarea Vida con el objetivo de enfrentar el cambio climático y otras problemáticas. Se encuentra conformada por 5 acciones estratégicas y 11 tareas. Es de suma importancia asegurar la disponibilidad y uso eficiente del agua como parte del enfrentamiento a la sequía, a partir de la aplicación de tecnologías para el ahorro y la satisfacción de las demandas locales, también es una necesidad realizar una vigilancia y alerta temprana para evaluar sistemáticamente el estado y calidad de las aguas, así como proponer medidas y acciones que aumenten el nivel de conocimiento y el grado de participación de toda la población en el enfrentamiento al cambio climático y una cultura que fomente el ahorro del agua, como lo plantea en las tareas 4, 9 y 10 del Plan de Estado antes citado.

3.7 Plan de medidas para prevenir la contaminación de las aguas en los asentamientos rurales Cañete y Cupey.

Una forma eficaz de garantizar sistemáticamente la seguridad de un sistema de abastecimiento de agua de consumo es llevar a cabo un programa integral donde se evalúen los riesgos existentes que pueden provocar una contaminación en las aguas y llevar a cabo acciones para evitarla. A continuación (Tabla 17) se describen las principales fuentes contaminantes que se detectaron en los puntos de muestreo, así como las principales medidas que se deben tener en cuenta para prevenir y controlarlas,

también se presentan las principales entidades responsables de orientar y velar por que se ejecuten las mismas.

Tabla 17. Plan de medidas para prevenir la contaminación de las aguas en Cañete y Cupey.

Fuentes contaminantes	Acciones	Responsable
Deposición de los desechos sólidos	<ul style="list-style-type: none">- Ubicación de un microvertedero sanitario según las normas establecidas.- Implementación de un programa de reciclado de desechos sólidos.	Gobierno municipal, Comunales, Presidente del CDR, CITMA.
Mal tapado de los depósitos de agua y algunos pozos.	Realizar un correcto tapado de los depósitos de agua así como sustituir o mejorar las tapas no funcionales.	Población
Contaminación de las aguas subterráneas por afluentes domésticos	<ul style="list-style-type: none">- Depositar las aguas residuales en fosas alejadas de los pozos de agua potable.- Usar detergentes biodegradables.	Población
Ubicación de letrinas y corrales de cerdos cercanos a los pozos.	Realizar una correcta ubicación de los corrales de cerdos alejados de los pozos de agua potable de tan forma que no provoquen contaminación en las aguas subterráneas.	Población, CITMA.

Las aguas de fuentes de abastecimiento subterráneas para el suministro de agua de consumo a la población, se someterá en todos los casos a tratamiento por desinfección, (Norma Cubana, 2014).

3.8 Valoración económica de los trabajos realizados.

El costo de los análisis realizados 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) se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Costo en CUC y MN de los análisis realizados en los laboratorios.

Parámetros	Precio de los análisis		Cantidad de muestras	Costo total	
	CUP	CUC		CUP	CUC
pH	4.16	2.29	20	83.2	45.8
STD	21.24	1.09	20	424.8	21.8
C.E	4.05	1.61	20	81	32.2
Turbidez	1.43	3.08	20	28.6	61.6
Salinidad	4.16	2.29	20	83.2	45.8
MO	4	1.21	20	80	24.2
NO ₂ ⁻	4.8	2.79	20	96	55.8
Dureza total	23.87	6.11	20	477.4	122.2
Fe ²⁺	35.48	8.99	20	709.6	179.8
Mg ²⁺	35.48	8.99	20	709.6	179.8
Ca ²⁺	13.15	2.2	20	263	44
Na ⁺	35.48	8.99	20	709.6	179.8
K ⁺	35.48	8.99	20	709.6	179.8
SiO ₂ ²⁻	35.48	8.99	20	709.6	179.8
CO ₃ ⁻	18.32	3.23	20	366.4	64.6
HCO ₃ ⁻	18.32	3.23	20	366.4	64.6
SO ₄ ²⁻	23.87	6.11	20	477.4	122.2
Cl ⁻	8.04	4.1	20	160.8	82
Costo total de los análisis				6536.2	1685.8

Tabla 19. Costos de los trabajos realizados.

Actividad	Norma (Días)	Días trabajados	Precio CUP
Recopilación de la información	3,46	20	69,20
Programa de investigación	1,73	20	34,6
Levantamiento hidrogeológico escala 1: 250 000 de complejidad media	169,94	1	169,94
Muestreos	5,5	1	5,5
Trabajos de gabinete	11,54	40	461,6
Informe final	2,89	40	115,6
Costo total de los trabajos realizados			856,44

Tabla 19. Costo total de la investigación.

Costo total de los análisis		Costo total de los trabajos realizados	Costo total de la investigación	
CUP	CUC	CUP	CUP	CUC
6536.2	1685.8	856,44	7392.64	1685.8

CONCLUSIONES

1. Las propiedades físico – químicas de las aguas analizadas según las Normas Cubanas y la Norma de la Organización Mundial de la Salud, se clasifican por su composición química según Aliokin en aguas mineralizadas y de débil mineralización, por su pH en débilmente ácidas, neutras y débilmente básicas, por su mineralización como aguas dulces, por su dureza en blandas, algo duras y duras.
2. Las principales fuentes de contaminación de las aguas de Cañete y Cupey son la falta de tapa en los depósitos de agua y en algunos pozos la presencia de tapas no funcionales, vertederos de desechos sólidos próximos a las fuentes de agua, mala ubicación de los pozos criollos y la presencia de letrinas sanitarias y corrales de cerdos cercanos a los pozos.
3. De acuerdo a los resultados obtenidos por la metodología del Índice de Calidad de Agua (CCME_WQI), de las muestras analizadas en Cañete tres se clasifican como buenas (M1, M2 y M4) y una como favorable (M3) y en Cupey se encuentran cinco buenas (M6, M7, M8, M9 y M10) y una favorable (M5).
4. Se propone un plan de acción de medidas para prevenir y mitigar la contaminación de las fuentes de abastecimientos de agua y los pozos criollos, analizado con el CITMA y el presidente del consejo popular.

RECOMENDACIONES

1. Realizar monitoreo y análisis bacteriológico sistemático específicamente coliformes totales y termotolerantes a las aguas de consumo en los asentamientos rurales Cañete y Cupey debido a la influencia existente de fuentes de contaminación en la zona de estudio.
2. Presentar informe sobre el estado de calidad de los cuerpos de agua utilizados para consumo humano en Cañete y Cupey al gobierno del territorio para el cumplimiento del plan de acción.
3. Realizar trabajos de educación ambiental y manejo de las aguas en las comunidades para una mayor instrucción de la población sobre el tema, con el propósito de crear una conciencia sobre la necesidad de la protección y conservación de las aguas.

BIBLIOGRAFÍA

- Al-Janabi, Z. Z., Al-Obaidy, A.-H. M. J., & Al-Kubaisi, A.-R. (2015). Applied of CCME Water Quality Index for Protection of Aquatic Life in the Tigris River within Baghdad city. *Al-Nahrain Journal of Science*, 18(2), 99–107.
- Almanza Tovar, O. G. (2015). *Índices de calidad del agua y vulnerabilidad acuífera de un sistema hidrogeológico: caso valle de San Luis Potosí*.
- APHA, AWWA, WEF (1995). Standard methods for examination of water descried. I.S.A.E. Greeberg y A.D.S.Eaton (editors). 9 ed.
- Asghari, F. B., Mohammadi, A. A., Dehghani, M. H., & Yousefi, M. (2018). Data on assessment of groundwater quality with application of ArcGIS in Zanzan, Iran. *Data in Brief*, 18, 375.
- 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.
- Bracho-Fernández, I. A., & Fernández-Rodríguez, M. (2017). Evaluación de la calidad de las aguas para consumo humano en la comunidad venezolana de San Valentin, Maracaibo. *Mineria Y Geología*, 33(3).
- Cabana, G., & Reyna, V. (2018). *Evaluación de la calidad de agua del río Coata en la desembocadura del río Torococha utilizando el Índice de Calidad de Agua del Consejo Canadiense CCME--WQI y el ICA--PE, Puno--2018*.
- Carrillo, G., & Villalobos, R. (2011). *Análisis comparativo de los indices de calidad del agua (ICA) de los rios Tecolutla y Cazones en el periodo Marzo-Diciembre 2010*. Tesis para acreditar examen Demostrativo de experiencia Recepcional del~....
- Chibinda, C., Arada-Pérez, M. de los A., & Pérez-Pompa, N. (2017). Caracterización por métodos fisico-quimicos y evaluación del impacto cuantitativo de las aguas del Pozo la Calera. *Revista Cubana de Quimica*, 29(2), 303–321.
- CITMA, C. (2001). Panorama Ambiental de Cuba 2000. *Ciudad de La Habana: Ed. Academia*.

- Crespo Lambert, M. (2018). *Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey*. Departamento de Geología.
- Damo, R., & Icka, P. (2017). Evaluation of Water Quality Index for Drinking Water. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(4).
- De Miguel Fernández, C. (2012). *Hidrogeología aplicada con aspectos ambientales* (Unica; Editorial Digital UniversitariaMoa, Ed.). Moa.
- Deloya Martínez, A. (2006). Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales. *Technología En Marcha*, 19(2), 31–40.
- Diaz Sánchez, G. (2018). *Determinación de la calidad del agua del río Naranjos mediante el uso de los coeficientes cinéticos de auto depuración, distrito de Pardo Miguel--San Martín, 2017*.
- Duran Morales, A. (2005). *Estudio de la calidad de las aguas de la dársena del Puerto de Moa*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- Fernández-Rodríguez, M., Nfundiko Christian, B., Guardado-Lacaba, R., & Almaguer Carmenate, Y. (2018). Evaluación hidroquímica de las aguas del río Cayo Guam, Moa, Cuba. *Minería Y Geología*, 34(3), 268–288.
- 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.
- Giler, B. I. C., Gutiérrez, C. M., Mendoza, M. C., & Pérez, A. V. (2017). Water Quality of the Poza Honda Dam and Other Water Points Down. *Journal of College and University*. *This Is an Open Access Article under the*, 2454, 2261.
- González Cabrera, N. A., Peláez García, R., & Sobrino Hernández, E. (2013). Características geológicas, hidrogeológicas y ambientales del sistema acuífero carbonatado sur en el Occidente de Cuba: sector los Palacios- Candelaria. *X Congreso Cubano de Geología (GEOLOGIA 2013) Hidrogeología E Ingeniería*

Geológica, 17.

- Gutiérrez, J., García, J. M., & Beato, O. (1979). *Un índice de calidad para las aguas subterráneas*. Reporte del Instituto de Hidroeconomía.
- Hassan, F. M., Al-Jibouri, K. D. W., & Hakman, A. A. (2017). Water quality assessment of Diyala river in Diyala province, Iraq. *Mesopo Environ J.*(4), 1, 52–61.
- Herrera Apablaza, V., Gutiérrez Roa, N., Córdova Molina, S., Luque Marín, J., Idelfonso Carpanchay, M., Flores Riveras, A., ... others. (2018). Calidad del agua subterránea para el riego en el Oasis de Pica, norte de Chile. *Idesia (Arica)*, 36(2), 181–191.
- INRH. (2018). Pluviómetro Cañete.
- Iturralde-Vinent, M. A. (1996). Cuba: el arco de islas volcánicas del Cretácico. *Ofiolitas Y Arcos Volcánicos de Cuba. IGCP Project*, 364, 179–189.
- Jiménez Parodi Tatiana, R. M. D., & Edgar, Q. B. (2018). *Análisis del uso y manejo del agua subterránea en la Región Caribe Colombiana*. Universidad de Cartagena.
- Khare, P. (2017). A large-scale investigation of the quality of groundwater in six major districts of Central India during the 2010--2011 sampling campaign. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(9), 429.
- Larrea, J., Rojas, M., Heydrich, M., Romeu, B., Rojas, N., & Lugo, D. (2009). Evaluación de la calidad microbiológica de las aguas del Complejo Turístico Las Terrazas, Pinar del Río (Cuba). *Hig Sanid Ambient*, 9, 492–504.
- Llantuy, L., & Michelle, K. (2019). *Determinación del índice de calidad del agua en la laguna de Colta mediante la valoración de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos*. Quito: UCE.
- Lumb, A.; Halliwell, D.; Sharma, T. (2006). *Application of CCME Water Quality Index to monitor water quality: A case study of the Mac- Kenzie River basin, Canada*. 1, 411–429.
- 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.

- Mosquera, S., Antonio, J., & others. (2019). *Propuesta De Índice De Calidad Del Agua, Como Herramienta Para El Desarrollo Sustentable En Cuerpos De Aguas Superficiales De La Ciudad De Bogotá.*
- Norma Cubana. (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. PRIMER APÉNDICE A LA TERCERA EDICIÓN, 1.*
- Pérez-Castillo, A. G., & Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología Tropical*, 56(4), 1905–1918.
- Pérez, J. I., Nardini, A. G., & Galindo, A. A. (2018). Análisis Comparativo de Índices de Calidad del Agua Aplicados al Río Ranchería, La Guajira-Colombia. *Información Tecnológica*, 29(3), 47–58.
- Pérez Jara, Y. (2018). *Calidad de las aguas subterráneas sector hidrogeológico La Melba, Moa para evaluar su empleo como agua mineral natural envasada.* Tesis en opción al título de Máster en Geología. Mención Geotecnia e~....
- Perú, A. nacional de agua de. (2017). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua de los recursos hídricos en el Perú.*
- Polanco Almaguer, P. (2012). *Influencia de los procesos geológicos en la morfología costera del municipio Moa.* ISMMM.
- Quinapanta, C., Elexandra, C., & Donoso Cruz, H. E. (2013). *Caracterización de la Calidad de Agua de la Microcuenca del Río Pachanlica de la Provincia de Tungurahua Tomando como Base la Metodología ICA de Montoya.*
- Quintas, F. (1989). Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. *Moa (Tesis Doctoral)* 145p.
- Rodríguez-Infante, A. (2005). Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la

evaluación de riesgos de génesis tectónica. *Minería Y Geología*, 21(3), 39.

Rodríguez Infante, A. (1998). *Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica*. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geológicas.

Rodríguez Pacheco, R. L. (2002). *Estudio experimental de flujo y transporte de cromo, níquel y manganeso en residuos de la zona minera de Moa (Cuba): influencia del comportamiento hidromecánico*.

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.

Salcedo, S., Garrido, S., Martínez, M., Alberich, E., Vicenta, M., & others. (2015). *Evaluación de la calidad del agua subterránea mediante la utilización del índice CCME-WQI, en el acuífero del Valle de Puebla*.

Serret Hernández, D., & Suárez Cala, C. M. (2000). *Evaluación de la calidad natural de las fuentes de abasto de agua a los asentamientos rurales del municipio Moa*. Departamento de Geología.

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

Valcarcel Rojas, L., Alberro Macias, N., & Frias Fonseca, D. (2010). *El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos*.

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

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