



INSTITUTO SUPERIOR
MINERO METALÚRGICO DE MOA
Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

FACULTAD GEOLOGÍA Y MINAS

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL

TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA

***Evaluación de la calidad de las aguas superficiales del río Moa a partir del
índice Integrador ICA_sp***

Autor: Yusbel Córdova Batista

Tutora: Ms.C Moraima

Fernández Rodríguez

Cotutor: Ing. Pedro Rafael Bassas

Moa: 2017 “Año 59 de la Revolución”



ISMMM "Tesis en Opción al Título de Ingeniero en Geología"



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINAS

*TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO EN GEOLOGÍA*

Autora: Yusbel Córdova Batista

Tutor(a): Ms.C Moraima Fernández Rodríguez

Moa, 2017 "Año 59 de la Revolución"



Declaración de autoridad

En decisión conjunta, la autora Yusbel Córdova Batista y la tutora Moraima Fernández Rodríguez, certificamos nuestra propiedad intelectual en este Trabajo de Diploma, el cual se titula "Evaluación del índice de calidad de las aguas en la cuenca del río Moa." El Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, podrá hacer uso del trabajo para sus fines educativos y docentes en el año 2019.

Yusbel Córdova Batista

Autora

Ms.C Moraima Fernández Rodríguez

Tutora



Pensamientos

"Los que sembraron con lágrimas con regocijo cegarán".

"Cuando el hombre cayere no quedará postrado, porque Jehová sostiene su mano".

Salmo 37:24

"Doy gracias en todo a Dios porque esta es la voluntad de Dios en Cristo Jesús Señor nuestro".

1 tesalonicenses 5:18



Dedicatoria

Este trabajo lo dedico a mi familia y a todas las personas que fueron de gran apoyo cuando más lo necesitaba y a los que en verdad desearon lo mejor siempre para mi futuro, en especial a aquellos que desde que comencé a estudiar siempre desearon que me formara como buena profesional y llegara muy lejos, por eso le agradezco a toda mi familia, amigo y profesores por todos los consejos y por guiarme por un buen camino...Gracias.



Agradecimientos

Le doy las gracias en primer lugar a Dios porque fue y es el motor impulsor en mi vida, quien me ha guiado y cuidado siempre y además quien ha hecho que sea posible todo lo que soy ahora, también por mostrarme a personas de gran valor que estimo mucho y quiero durante todos estos años de estudio. Me siento muy agradecida de mi familia quienes siempre quisieron que yo fuera alguien grande en esta vida, mis abuelos mis padres, mi hermano y otras personas que también me desearon lo mejor siempre. También le agradezco sinceramente a mi tutora Moraima y a mi oponente Guardiola por ser parte de este logro por darme ánimos y a la vez atenderme con tanta paciencia y dedicación. Quiero reconocer y dar gracias a Luis Alberto un compañero de aula que sacrificó su tiempo para ayudarme, también ingenieros y técnicos del laboratorio CDEINiQ y a amigos que me ayudaron en la elaboración de este trabajo.



Resumen

La contaminación de los recursos hídricos es un problema que está afectando las principales cuencas hidrográficas en el municipio de Moa. En el presente trabajo se realiza una evaluación de la calidad de las aguas superficiales del río Moa mediante un índice integrador (ICA-sp), con el objetivo de determinar las características de las aguas del río para evaluar su calidad. Se seleccionaron diez puntos de monitoreo, divididos en la corriente principal y principales tributarios, en los cuales fueron analizados los parámetros: pH, temperatura, conductividad, turbidez, color, elementos mayoritarios y metales pesados. Como resultado se obtuvo que las principales fuentes de contaminación son las actividades industriales y mineras, con descargas de residuales sólidos y líquidos de distintas categorías, procedentes de las industrias cercanas a la zona de estudio, así como la deforestación y las intensas lluvias. Según la clasificación de las aguas por el Índice de Calidad, las aguas del río presentan inicio de contaminación, el agua de la Presa Nuevo Mundo se clasifica como agua buena y los dos tributarios: río Cabaña muy contaminado y residual de Planta de Pulpa extremadamente contaminado. Se propone un plan de medidas de mitigación que facilitará a los gestores de cuencas la toma de decisiones para su cumplimiento.

Palabras claves: Calidad, contaminación, aguas superficiales, Índice de Calidad del Agua.



Summary

The contamination of the hydric resources is a problem that is affecting the principal drainage areas at Moa. En's municipality the present work accomplishes an evaluation of the quality of the surface waters of the river itself intervening Moa an integrative index, for the sake of determining the characteristics of the waters of the river to evaluate his quality (ICA sp) They selected ten points of monitoring, divided in the mainstream and principal taxpayers, the ones that they were in examined parameters: PH, temperature, conductivity, turbidez, color, majority elements and heavy metals. As a result, obtained him that the principal sources of contamination are activities industrials and miners, with unloading of residual solids and liquids of different categories, appropriate of the close industries to the survey area, as well as deforestation and the intense rains. According to the classification of the waters for Calidad's index, the river's waters present start of contamination, the Prey's water the New World classifies like water good and the two taxpayers.

Key words: Quality, contamination, superficial waters, Calidad's index of Water.



Índice

Introducción.....	1
CAPÍTULO I CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO	6
1.1 Introducción.....	6
1.3 Características generales de la región de estudio.	10
1.4 Clima.....	11
1.5 Características hidrográficas	12
1.6 Geomorfología.....	14
1.7 Flora y fauna	16
1.8 Suelos.....	18
1.9 Infraestructura económica.	20
1.10 Características geológicas del área de estudio.....	20
1.11 Características estratigráficas.	21
1.10 Características morfotectónicas.....	27
1.11 Sistemas de Fallas.	28
1.12 Características hidrogeológicas del área de estudio.....	30
Capítulo II Metodología y volumen de los trabajos realizados.....	33
2.1 Introducción.....	33
2.2 Caracterización físico –química y microbiológicas	33
2.3 Búsqueda y análisis de la información geológica e hidrogeológica existente.....	34
2.3 Trabajos de campo.....	34
2.4 Determinación de las fuentes de contaminación	35



2.5 Muestreo hidroquímico.....	37
Descripción de cada uno de los puntos muestreados durante la investigación...	38
2.7 Clasificación de las aguas del río Moa según la composición química y sus posibles usos en la agricultura.....	39
2.7.1 Clasificación de las aguas según su composición química.	40
2.7.2 Clasificación de las aguas para su posible uso en la agricultura.....	42
2.7.3 Clasificación de las aguas por el coeficiente de irrigación.....	42
2.8 Procesamiento y análisis de la información.	43
2.9. Índice de calidad del Agua (ICA).	44
CAPITULO III. INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	47
3.1. Introducción.....	47
3.2. Resultados de los análisis de laboratorio.....	47
3.3. Clasificación de las aguas por su composición química.	59
3.3.1. Clasificación de las aguas por su Dureza total. (mg-equiv/l)	59
3.3.2. Clasificación de las aguas por el Índice de Salinidad Marina	61
3.3.3 Clasificación de las aguas por su mineralización en el río Moa	61
3.3.4 Clasificación de las aguas del río Moa para su uso en la agricultura por el coeficiente de irrigación (C.I) (Gráfico 3.16)	62
3.4. Evaluación del Índice de calidad del Agua (ICA_{sp}).....	63
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	71
ANEXOS	



Introducción

El desarrollo de la humanidad muchas veces es afectado por fuentes contaminantes evadiendo en especial el agua como una de las fuentes más importantes en nuestro planeta. El agua se considera un recurso renovable pues se renueva constantemente a través del ciclo hidrológico, sin embargo, esto no significa que es infinito.

El consumo de este recurso aumenta rápidamente y sus fuentes de suministro están muy amenazadas por contaminantes generados por el hombre. El beneficio sostenible en una región pasa por el cuidado y conservación de este recurso natural, en los cuales juega un rol fundamental al ser insustituible por otras sustancias.

Evidentemente siempre va a existir otra fuente natural que contamine de una u otra forma el agua, siendo uno de los mayores problemas el proceso industrial por minerales y sustancias gaseosas que se disuelven cuando los cuerpos de agua atraviesan diferentes terrenos existentes, los materiales orgánicos, mediante procesos biológicos naturales de biodegradación en los que intervienen descomponedores acuáticos (bacterias y hongos).

El agua superficial por estar en contacto frecuente con el medio ambiente con contaminantes naturales, se ve alterado su estado original. Estas aguas procedentes de ríos en la mayoría de los casos son consideradas como un asunto severo de contaminación; con el incremento de la población y el surgimiento de la industrialización, la contaminación de los ríos, aguas subterráneas y otras fuentes de suministro aumentan constantemente.

En el municipio Moa de la provincia Holguín existen varios afluentes los cuales no están exentos de los agentes contaminantes que afectan la calidad de las aguas del río Moa. Este se encuentra afectado por la acción antrópica: contaminación de las aguas por residuales industriales, escurrimiento superficial, vertimientos urbanos y otras fuentes contaminantes, por lo que es necesario la aplicación de



técnicas analíticas para caracterizar las aguas y evaluar el Índice de calidad mediante la aplicación de metodologías que permiten diagnosticar su calidad.

Fundamentación científica de la investigación

Problema

Afectaciones existentes en las aguas de la cuenca del río Moa por acciones naturales y antrópicas que propician el deterioro de la calidad de las aguas superficiales.

Objetivo General

Evaluar las características de las aguas superficiales de la cuenca del río Moa mediante del Índice de Calidad del Agua (ICA_{sp})

Objetivos específicos

- Determinar las fuentes de contaminación naturales y antrópicas que afectan la calidad del agua del río Moa.
- Análisis físico- químico y bacteriológico.
- Evaluar el Índice de Calidad del Agua (ICA_{sp}) a las muestras seleccionadas en el área de estudio.
- Propuesta de plan de medidas de mitigación.

Objeto de estudio

Las aguas del río Moa.

Campo de acción

Los parámetros de calidad del agua en la cuenca del río Moa.

Hipótesis

Si se analizan las propiedades físico-químicas y bacteriológicas y las fuentes de contaminación que afectan las aguas del río Moa, se puede evaluar el índice de



Calidad de las Aguas (ICA_sp) y determinar su estado actual, sus usos para diferentes fines, y tomar medidas de mitigación que faciliten a los gestores de cuencas la toma de decisiones.



Etapas de la investigación científica

Este trabajo está confeccionado por tres etapas.

En la primera se realizó una caracterización físico-geográfica, geológica e hidrogeológica del área. Se realiza una recopilación de toda la información existente sobre el área de estudio y se procesó la misma mediante la preparación de la base cartográfica 1:10 000 y 1:50 000 para el reconocimiento de la zona. De cada informe se tuvieron en cuenta los datos de mayor importancia que aportaron información que pudieran facilitar dicho estudio.

La segunda etapa consistió en la aplicación de la metodología de la investigación propuesta y la recopilación de trabajos realizados, se realizó un control de las principales fuentes de contaminación y un monitoreo hidroquímico para realizar análisis físico-químicos y bacteriológicos en el laboratorio del Centro de Investigación y desarrollo del Níquel (CEDINIQ), las muestras fueron preservadas según las reglamentaciones del Estándar Método Internacional.

En la tercera etapa se realiza una evaluación de los diferentes parámetros y se valora la calidad del agua, utilizando el índice de calidad el cual permite simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales existentes. Para determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA_{sp}) se aplicó la metodología de Montoya *et, al.* (1977), básicamente consiste en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que caracterizan la calidad del agua. Se discuten la interpretación de los resultados obtenidos.

Se propone un plan de acción para mitigar la contaminación el cual será de análisis por las entidades, el CITMA, el Gobierno territorial y algunas empresas como la Ernesto Che Guevara.





CAPÍTULO I CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

1.1 Introducción

El presente capítulo muestra una información generalizada en las reseñas históricas de diferentes estudios sobre la calidad de las aguas desarrolladas en Cuba y en el mundo. Destacar las características físico – geográficas y geológicas de la región de estudio. Además, condiciones ingeniero-geológicas, climatológicas, tectónicas y sísmicas existentes en la región.

1.2 Breve reseña histórica de los estudios sobre calidad de las aguas desarrolladas en Cuba y en el mundo.

Por el gran interés económico que presenta la región, esta ha sido objeto de estudio desde inicios del siglo XIX hasta la actualidad. La mayoría de los trabajos están referidos a cuestiones generales de la geología general, geoquímica y otros trabajos existiendo diferencias de criterios entre ellos, en cuanto a ideas que se tiene de los diferentes procesos y fenómenos geológicos ocurridos en el área.

A partir de los inicios del siglo citado en el párrafo anterior se vienen desarrollando diversos estudios hidrogeológicos en el área los cuales han ido cobrando mayor importancia hasta la actualidad.

Rodríguez Pacheco; Roberto L y Candela,1985, 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 almacenados 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.

Cardona, 2003 realizó un trabajo titulado "Calidad y riesgo de contaminación de las aguas superficiales en la microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles,



Honduras". Se analizó la calidad y riesgo de la contaminación del agua en la microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. Los resultados indican que, en la microcuenca, no ocurre un deterioro significativo de la calidad del agua, aunque, el uso actual del suelo posee una participación notable en la misma. En general, el 12% de la cuenca presenta alta vulnerabilidad de deterioro, constituyente de amenaza de contaminación del agua. Se evidencia un proceso gradual de deterioro de la calidad del agua, acorde a las actividades antrópicas realizadas, tal, que un marginamiento social en el acceso a agua para consumo está ocurriendo y no por limitaciones en la cantidad, sino por alteración de la calidad del agua.

En la tesis de Calla; Cabrera, 2008; titulada: Calidad del agua en la cuenca del río Rímac, sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras. Se aborda los efectos que ha presentado la calidad del agua del río Rímac frente al desarrollo de la actividad minera en el distrito de San Mateo de Huanchor ubicado en la provincia de Huarochirí del departamento de Lima. Del análisis se obtuvo que el cadmio, plomo, manganeso, arsénico y hierro eran los elementos que tenían que recibir un tratamiento correctivo, ya que sus concentraciones en las aguas del Rímac eran mayores a lo establecido en los estándares de calidad de agua.

Rojas, 2010 realiza un informe acerca de la gestión de agua en cuencas con minería en Perú, donde se hace un análisis y evaluación que se ha realizado sobre las limitaciones que enfrenta la Gestión de los Recursos Hídricos (GRH) en el Perú para garantizar la sostenibilidad ambiental del agua y el acceso de la población a la misma en una cuenca minera.

Patricia Torres, Camilo Hernández y Paola Janeth el 11 de diciembre del 2008 realizaron un trabajo bajo el título "Índice de calidad del Agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de aguas para consumo humano" siendo aprobado en 2009. Este método fue utilizado como herramienta para evaluar la variación de la calidad del agua. Los parámetros mayormente empleados en los ICA presentados son el oxígeno disuelto y el pH, seguido por la DBO, los nitratos,



los coliformes fecales, la temperatura, la turbidez y los sólidos disueltos totales. Los ICA desarrollados recientemente en Europa y Estados Unidos para la evaluación del recurso hídrico al ser destinado a consumos humanos previo tratamiento, consideran otros parámetros generalmente indicadores de riesgo químico en la fuente. Con relación al riesgo microbiológico, este es evaluado en la generalidad de los ICA, empleándose como parámetros indicadores los coliformes fecales. En resumen se considera que los índices CCME – WQI y DWQI presentan estructuras de cálculo que permiten una evaluación más amplia e integral de la calidad del agua, ya que consideran la variación en el tiempo y en el espacio, y permiten la incorporación de los parámetros que los conforman con la normatividad vigentes de acuerdo con el uso evaluado. El deterioro de las fuentes de abastecimiento de aguas incide directamente en el nivel de riesgo sanitario presente y en el tipo de tratamiento requerido para su reducción.

Francisco J. Torres Vega en el 2009 realiza un trabajo titulado: Desarrollo y Aplicación de un Índices de calidad de Agua para para ríos en Puerto Rico. Este índice pretende clasificar en una escala de 0 a 100 la calidad representativa del agua. El ICA desarrollado considera once constituyentes: coliformes fecales, pH, DBO5DIAS, oxígeno disuelto, nitratos, fósforo total, nitrógeno de amonio, sedimentos suspendidos, mercurio, plomo y temperatura, los cuales fueron determinados mediante la evaluación de un grupo de expertos en la calidad de agua. El ICA obtenido representa un valor puntual, por lo que es característico de la calidad del agua del lugar y en el momento donde se tomaron las muestras. Para demostrar la aplicación del ICA, se realizaron varios análisis. También se efectúa una evaluación del ICA en varias cuencas de Puerto Rico para un mismo año y, de esta forma, poder visualizar la variación de la calidad del agua a través de las cuencas en Puerto Rico.

Como resultado, se ha escogido una ecuación que evita confrontar problemas de ambigüedad y de preferencias por ciertos constituyentes. De esta manera, se tiene una ecuación sensible a los constituyentes críticos y que no sobreestima los valores de calidad de agua. Plantea que la metodología tiene la flexibilidad de que



no necesariamente hay que tener información de todos los constituyentes para obtener un valor de la calidad del agua según los constituyentes utilizados, lo que provoca que este método tenga varias utilidades.

Fernández, 2013 realizó un trabajo titulado "Evaluación actual de la calidad de las aguas del río Aserrío". Como objetivo del trabajo se realiza un reconocimiento hidrogeológico del área de estudio, para determinar y estudiar las principales fuentes de contaminación que llegan al río, muestreo y evaluación físico-química de diferentes parámetros analíticos en las aguas, se proponen medidas correctoras para minimizar la contaminación. Se realizó trabajo comunitario con los pobladores de la zona, estudiantes, jefes de zona, delegados de circunscripción, se realizaron encuestas, logrando un mayor conocimiento sobre la temática del agua como un importante recurso que se debe proteger. etc. Para clasificar las aguas según diferentes autores y pronosticar el grado de contaminación se han utilizado las Normas Cubanas e Internacionales y el Estándar Método Internacional. Al final se toman conclusiones y recomendaciones de interés.

Darwin Javier Sucoshanay - Villalba (et.al 2015), realizó un trabajo bajo el título: Evaluación de las Aguas Superficiales de la cuenca del río Puyo de la Amazonia ecuatoriana a partir de un índice integrador (ICA_{sp}). En esta investigación se seleccionaron catorce puntos de monitoreo, divididos en la corriente principal y principales tributarios, en los cuales fueron determinados cinco parámetros de calidad de agua, pH, conductividad, Oxígeno Disuelto y DBO, coliformes fecales, y se aplicó el ICA_{sp}. Los resultados mostraron que ocho puntos monitoreados se clasifican medianamente contaminados y dos contaminados, de los cuales uno de ellos es un balneario turístico importante en el territorio y localizado en el tributario principal. El indicador ICA_{sp} en su versión 2014 propuesto por Gutiérrez y García para evaluar la calidad y estado de contaminación del agua, resultó ser variable y práctico para los propósitos de esta investigación, por ser un método efectivo y sencillo siendo la primera vez que se utiliza en este territorio. En general se llegó a la conclusión que las aguas del río Puyo están medianamente contaminadas, lo que



conlleva un riesgo por diferentes usos que tiene la misma en varios sectores del territorio.

Susana, 2006; Llorente, 2009; Yalennis, 2016, realizaron estudios de los principales contaminantes que son vertidos a las aguas del río Aserrío, de la calidad físico-química de las aguas y una evaluación del impacto ambiental en la zona.

Por el acelerado grado de contaminación, los cambios en las propiedades del agua, se determinan las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas superficiales del río Moa y la presa Nuevo Mundo que son fuentes utilizadas para consumo humano, es necesario un conocimiento periódico y actualizado sobre la calidad de las aguas y analizar si sus afectaciones imposibilitan el uso sustentable. Determinar las principales fuentes de contaminación, con el fin de proponer medidas de mitigación para un buen uso, manejo y calidad del recurso es una tarea de primer orden en el municipio de Moa, dando cumplimiento a la Estrategia Ambiental Municipal.

1.3 Características generales de la región de estudio.

La región de estudio se encuentra enmarcada dentro del municipio de Moa, el cual se ubica hacia el noreste de la provincia de Holguín, limitando al norte con el océano Atlántico, al sur con el municipio de Yateras, por el este con el municipio de Baracoa y al oeste con el municipio Sagua de Tánamo y Frank País como se muestra en la figura 1.1.



Figura 1.1. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio

1.4 Clima

El clima es tropical húmedo, siendo una de las áreas de mayor pluviometría del país, (figura 1.2). El cual está influenciado por la orografía, ya que las montañas del grupo Sagua-Baracoa sirven de pantalla a los lirus del noreste que descargan abundantes lluvias en la parte norte. La zona se encuentra bajo el régimen de brisas y terrales.

En el clima de la región intervienen algunos factores, la temperatura del área, los meses más cálidos son julio-septiembre con temperaturas media de hasta 30.5^oc y los más fríos son enero-febrero con mínimas de 22-24^oc. La humedad relativa media anual es de 85%. Los meses de mayor humedad son octubre, noviembre y diciembre, mientras que los menores valores de humedad se registran en el mes de marzo (Rodríguez y Téllez, 1995).

Las precipitaciones en la región de Moa se reportan en los meses de noviembre y abril y alcanzan unos valores de 2300 a 2600 mm y más. En general se puede plantear que existen dos máximas, una principal en los meses de octubre-enero y la segunda en el mes de mayo.



Presión atmosférica durante el invierno ocurren las presiones más altas. De mayo a octubre se registran los valores mínimos. La media anual es de 1017.2 hP, la media mensual es de 1022.0 hP en el mes de septiembre.

1.5 Características hidrográficas

Las características del relieve de origen tectónico y el régimen de las precipitaciones han favorecido la formación de una amplia red hidrográfica, destacándose entre las principales corrientes fluviales numerosos ríos y arroyos como son: Yamanigüey, El Medio, Semillero, Exigua, Cayo Guan, Punta gorda, Yagrumaje, Moa, Cabaña y Aserrío, los cuales son de carácter permanente, drenando en el mismo sentido que se presenta la red. Estos ríos desembocan en la bahía de Moa, formando deltas cubiertos de mangles, apreciándose en los mismos una zona de erosión y otra de acumulación (ver figura 1.3).

Ellos forman terrazas al llegar a la zona de pie de monte y presentan numerosos meandros, sus orillas son abruptas y erosionadas en las zonas montañosas, mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas. Los mismos sobrepasan los 1.5 m/seg de velocidad y los gastos oscilan entre 100 y más de 200 l/seg, algunos pueden tener gastos inferiores.

La alimentación de los ríos depende fundamentalmente de las precipitaciones, aunque el flujo base se produce a partir de numerosos manantiales de poco caudal y régimen permanente que drenan el acuífero fisural de baja acuosidad desarrollado en el macizo ultrabásico, cuyas reservas dinámicas se renuevan periódicamente, producto de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones, favoreciendo la existencia de una red hidrográfica que corre de sur a norte, del tipo dendrítica aunque en algunos casos se observa la red subparalela.

El nivel de los ríos varía en dependencia del período, los más bajos en el período de seca, correspondiente a los meses de julio a septiembre cuando los ríos se alimentan principalmente de las aguas subterráneas y los más elevados en la época de lluvia, la cual está comprendida entre los meses de octubre a enero.



Para ofrecer una idea se da a conocer las características específicas de algunos ríos que conforman las reservas naturales del municipio y en particular las aguas río Moa objeto de estudio del trabajo.

Río Moa

El área de estudio se encuentra representada por la formación Santo Domingo: constituida por tobas, lavas y aglomerados, apreciándose además pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas, así como las calizas aflorando en Centeno y Farallones, en este último también aparece como representante del AEF del arco volcánico del paleógeno, encontrándose presente la Formación Sabaneta, constituida por rocas vulcanógeno sedimentarias de grano fino, con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, conglomerados tobáceos, argilitas, margas silicatadas, gravelitas, entre otras. En la base de la formación se intercalan areniscas de granos gruesos y algunas brechas, donde fueron encontrados fósiles que indican edad Paleoceno Inferior- Daniense. Generalmente en el área se desarrollan rocas que corresponden a la AEF del complejo ofiolítico donde se destacan la presencia de rocas ultramáficas serpentinizadas en mayor o menor grado, asociadas a lo gabros, diabasas, y basaltos. Además, existen depósitos cuaternarios en los márgenes, cauces y desembocaduras fluviales.

El río Moa tiene su origen a mayor altura, correspondiéndose con la cota 690 m, desemboca en la bahía de Moa, presenta 21 km de extensión y corre en dirección noroeste- noreste. Este se alimenta de los ríos Cabaña, Los Lirios, además de arroyos y cañadas que provienen de regiones montañosas, sus orillas son abruptas y de erosión en las partes montañosas, mientras que, en las partes bajas, que coinciden con las zonas de terrazas, son llanas y acumulativas.

Río Los Lirios

Tiene su nacimiento en la cota 381 m, alimenta al Río Moa y atraviesa al yacimiento Punta Gorda, caracterizándose por un valle estrecho con pendientes suaves y un gasto aproximadamente de 0.13 m/s



Río Cabaña

Su formación parte de la cota 320 m, se une al río Moa y al llegar a la zona de pie de monte forma terrazas y presenta numerosos meandros, sus orillas son abruptas y de erosión en las zonas montañosas, mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas. En las terrazas estas alcanzan más de 3 m de margen derecho y menos de medio metro de margen izquierdo. Su principal fuente de alimentación son las presiones atmosféricas.

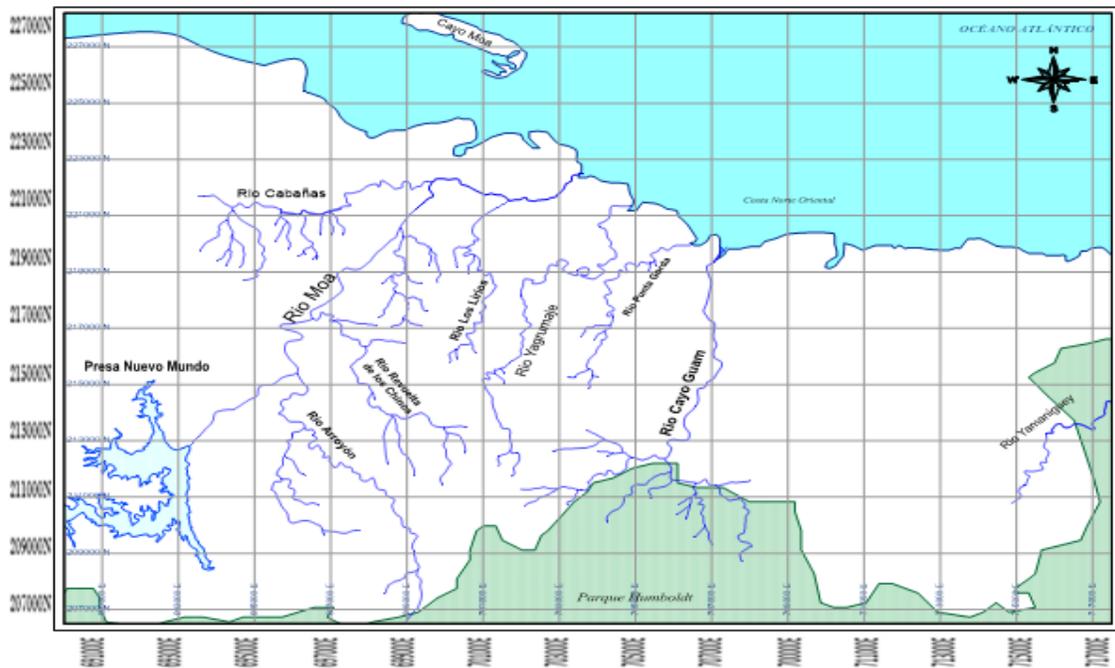


Figura 1.2 Mapa de la Red hidrográfica de la región de estudio, escala 1:10000 modificado de (Hernández Vidal 2007)

1.6 Geomorfología

El relieve predominante en la zona de estudio es montañoso fundamentalmente (alrededor del 44%), hacia la parte sur de la región es más accidentado, debido a la presencia de la cercanía de la Sierra de Moa que se extiende en dirección



submeridional; hacia el Norte de la región el relieve se hace más moderado con cotas que oscilan entre los 40 y 50 m como máximo, disminuyendo gradualmente hacia la costa. Este relieve con grandes pendientes ha propiciado el arrastre de gran cantidad de cantos rodados, bloques, gravas y material areno arcilloso los cuales han ido depositándose en las zonas de menos pendiente. Se observan zonas, del relieve, aplanadas y suaves. Este relieve es de origen tectónico formado por grandes bloques que han sido desplazados, el cual se ha visto sometido a los agentes del intemperismo, los cuales han ido denudando y transformando la geomorfología del área. Genéticamente el relieve de Moa y sus áreas adyacentes están clasificados dentro del tipo de horts y bloques que corresponden a los cuerpos de rocas ultrabásicas elevadas en la etapa geotectónica a lo largo de dislocaciones antiguas y rupturas nuevas, poco o ligeramente diseccionadas.

En una línea perpendicular a la costa N-S que pasa de la cota cero (NMM) a 1175 m en una distancia horizontal de 16 km, sobre el plano topográfico. La altura topográfica máxima la constituye el Pico del Toldo con una altura sobre el nivel del mar de 1175 m. Presenta pendientes muy marcadas con valores medios de 5° a 20° , en regiones muy elevadas pueden alcanzar valores muy superiores (Rodríguez, 1996).

El estudio detallado de las formas del relieve del área mediante la aplicación de métodos de fotointerpretación geomorfológico, análisis morfométricos y observaciones de campo, a partir de la clasificación regional y tomando como base los criterios de clasificación que A. Portela y otros usaron en la confección del mapa geomorfológico del nuevo Atlas Nacional de Cuba. Obtiene en dicho trabajo una clasificación del relieve del territorio según zonas geomorfológicas: zona de llanuras y zona de montañas con subtipos específicos, (Rodríguez, 1999).



1.7 Flora y fauna

El municipio forma parte del sistema montañoso Moa-Baracoa, el mismo representa la zona de mayor biodiversidad del país con un 68% de especies autóctonas (Reyes y del Risco, 1993). El área sur del municipio queda englobada dentro de una reserva de la biosfera declarada por la UNESCO en el año 1998.

Flora

La vegetación presente en el área es variada, encontrando formaciones vegetales tales como: pinares, bosque en galería, arbustivo xeromorfo subespinoso (charrascal) y vegetación secundaria (figura 1.4).

En estos suelos se desarrolla el Pino Cubensis (pino de Moa) y plantas latifolias, muchas de ellas endémicas de esta región, formando bosques típicos sobre las laderas, las cuales alternan de pinares a bosques latifolios o una mezcla de ambos y de nuevo a pinares en forma cíclica.

En el municipio de Moa tenemos una situación particular, siendo la vegetación del mismo muy característica, por lo que ha evolucionado una flora muy típica que comprende el 33 % de todos los endemismos cubanos, en la cual podemos encontrar pinares, pluvisilvas charrasco y bosques de galerías.



Figura 1.4. Vegetación típica del territorio de Moa.



La vegetación de estos suelos se mantiene por la elevada humedad y por los mecanismos de conservación de los nutrientes que los mismos han desarrollado, predominando el pinus cubensis y plantas latifodias, endémicas de la región. Debe destacarse que los pinares presentan hojas en forma de agujas con alturas que oscilan entre 20 y 30 m, con una cobertura que constituye entre el 80 y el 90 % de la superficie. Entre los principales exponentes presentes en la región, incluimos los siguientes:

- ❖ Pinus Cubensis
- ❖ Jacarandá Arbóreo (Abey, Framboyán azul).
- ❖ Clusia Rosea (Copey).
- ❖ Cacaloba Shafan (Uvilla).
- ❖ Euphorbia Helenae (Jazmín del Pinar).
- ❖ Bactris Cubensis (Pajua).
- ❖ Arthrostylidium ssp (Tibisí).

Esta es la vegetación más importante y explotada económicamente, es muy valiosa en la biodiversidad y en la ecología por constituir una flora generadora de suelo. De estas especies 17 son exclusivas de Moa, 5 en peligro de extinción y 20 vulnerables a la desaparición.

Además, se pueden observar ejemplares del bosque de pluvisilvas, típico de selvas lluviosas, es una formación vegetal de constitución vigorosa que puede alcanzar hasta 40 m de altura y se implanta sobre cortezas lateríticos.

A continuación, se destacan dichas especies:

- ❖ Carapas Guianesis (Najesí).
- ❖ Manilkara Albescens (Acana).
- ❖ Hibiscus Elactus (Majagua Azul).
- ❖ Calphillum Utole (Ocuje Colorado).



- ❖ *Ocatea Cuneata* (Canelón).
- ❖ *Hipholis Jubilla* (Jubilla).
- ❖ *Hidymopanax Morotoni* (Yagruma Macho).
- ❖ *Cyathea Arbórea* (Helecho Arborescente).

También se desarrolla en laderas de arroyos y cañadas, una especie de camodaría latifolia, abundan los helechos en todas sus variantes, así como epifitas de orquídeas y bromeliáceas. Estos bosques retienen la erosión y favorecen la conservación de las fuentes de agua.

Fauna

La fauna presenta heterogeneidad y abundancia de especies raras con características peculiares desde las pequeñas micorrizas hasta el cocosí, además de poder contar con la vistosa cotorra, la cartacuba, el ruiseñor, el catey, el zunzún, el murciélago, el colibrí, entre otros, que corresponden a los grupos característicos de muchos bosques de nuestro país. Se reportan como endémicas 104 especies, 17 son exclusivas de Moa y 13 vulnerables a desaparecer.

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

1.8 Suelos

Los suelos sobre los cuales yace la flora son generados a partir de rocas ultrabásicas serpentinizadas, los mismos presentan altos contenidos de níquel,



cobalto, hierro entre otros metales pesados apareciendo también elevadas concentraciones de magnesio, mientras que existe un déficit de calcio.

Los suelos de Moa se caracterizan por su color rojo púrpura, estando situados dentro de la región más extensa de suelos ferríticos de la isla, sobre macizos de rocas ultrabásicas serpentinizadas (figura 1.5). Representan en Cuba los perfiles que han sufrido un intemperismo más intenso y un mayor grado de evolución en las distintas etapas de su desarrollo. Este tipo de suelos se puede caracterizar como:

- ❖ Suelos profundos
- ❖ De baja fertilidad
- ❖ De buen drenaje interno y gran parcelación del agua
- ❖ Muy friables



Figura 1.5. Suelos lateríticos del territorio de Moa.

Tienen un pH de ligeramente ácido a medianamente ácido, siendo la acidez mayor en la superficie que en la profundidad (Cárdenas et al 1978). Por otro lado, es de mencionar la aparición de surcos erosivos y cárcavas, siendo el grado superior del proceso de erosión que se manifiesta en estos suelos.



1.9 Infraestructura económica.

La ciudad de Moa está enlazada por carretera con todo el país, existen las carreteras desde Moa hasta la ciudad de Baracoa y desde ésta a Guantánamo y Santiago de Cuba, de igual manera Moa se enlaza con la ciudad de Holguín y con el resto del país. Por vía aérea existe comunicación en estos momentos con Ciudad de La Habana, y Holguín, y existe aprobado el proyecto de construcción del aeropuerto internacional en Moa, como parte del desarrollo del polo turístico del norte de Holguín. Existe además en Moa, un puerto marítimo que permite el atraque de buques de mediano calado.

En la región se encuentran en explotación dos plantas procesadoras de menas de níquel con capacidad de diseño original de 24000 y 30000 t de concentrados de $Ni^{+}Co$ al año, respectivamente y en el presente se ejecutan proyectos de ampliación de dichas capacidades. En Punta Gorda a 8 Km al este de la ciudad de Moa y en Cayo Guan a 15 km, se encuentran sendas plantas beneficiadoras de mineral cromífero de los Yacimientos Mercedita y Amores. Forman parte además, de la infraestructura económica, la Empresa Mecánica del Níquel Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche, el Centro de proyectos (CEPRONíquel) y la Empresa Constructora y Reparadora de la Industria del Níquel (ECRIN), en Cayo Moa Grande se encuentra una barrera de Arrecifes cuyos corales son extraídos y utilizados como materia prima en el proceso industrial, están enmarcados la presa Nuevo Mundo, el Tejar, el Combinado Lácteo tecnológico de la planta Comandante Pedro Soto Alba así como otros centros industriales de menor tamaño, vinculados a la actividad económica del territorio.

1.10 Características geológicas del área de estudio.

La geología del área se caracteriza por una marcada complejidad condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el transcurso del tiempo geológico. Lo que justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas basadas en criterios y parámetros específicos según el



objetivo de la investigación realizada por Rodríguez Infante Alina en su tesis doctoral y trabajos de otros autores.

El macizo Moa-Baracoa se localiza en el extremo oriental de la faja Mayarí-Baracoa, ocupando un área aproximada de 1500 km² representando un gran desarrollo de los complejos ultramáficos, de gabros y volcano-sedimentario, mientras que el complejo de diques de diabasas está muy mal representado, apareciendo las diabasas descritas en la región en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del sistema cumulativo se estima un espesor de aproximadamente 1000 metros para el complejo ultramáfico y 500 m para el de gabros, mientras que para el complejo volcano-sedimentario se ha estimado un espesor de 1000 metros.

1.11 Características estratigráficas.

La geología de la región se caracteriza por una gran complejidad condicionada por la variedad litológica (estratigráfica) presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el transcurso del tiempo geológico, lo que justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas, basadas en criterios o parámetros específicos según el objeto de la investigación (Rodríguez, 1998a).

El complejo de las rocas ultrabásicas aflora en toda la porción central y meridional del área y está constituido predominantemente por harzburgitas subordinadamente dunitas, lherzolitas y piroxenitas. Estas rocas se caracterizan por presentar un grado de serpentización variable a sistemática.

El Dr. F. Quintas Caballero (1989) en su tesis doctoral desarrolla estas clasificaciones geológicas de carácter regional la cual incluye, en esencia, ocho asociaciones estructuro-formacionales debido a que éstas son las que forman parte de nuestro sector de estudio.

Para la realización de la propuesta de su clasificación, se basó en la teoría que explica el origen y evolución de los arcos insulares, así como la formación de las plataformas, las etapas evolutivas y los conjuntos litológicos faciales, típicos de



cada estadio. En 1998, Iturralde-Vinent reconoce en la constitución geológica del archipiélago cubano dos elementos estructurales principales: el cinturón plegado y el neoaútóctono.

El cinturón plegado, según el autor, está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorfozados de edad correspondiente al pre - Eoceno Medio, que ocupan en la actualidad una posición muy diferente a la original, representando las unidades geológicas que lo integran grandes entidades paleogeográficas que marcaron la evolución del Caribe Noroccidental. El autor divide al cinturón plegado en unidades continentales y unidades oceánicas. En Cuba oriental las unidades continentales están representadas por el terreno Asunción compuesto por dos unidades litoestratigráficas bien diferenciadas, las formaciones Sierra Verde y Asunción, constituidas por materiales metaterrígenos y metacarbonatados respectivamente, del Jurásico Superior al Cretácico Inferior, las cuales no aparecen representadas en el área de esta investigación.

Las unidades oceánicas están constituidas por las ofiolitas septentrionales, las rocas del arco de islas volcánico del Cretácico, denominado como paleoarco, las secuencias de la cuenca de piggy back del Campaniano tardío al Daniano, el arco de islas volcánico del Paleógeno y las rocas de la cuenca de piggy back del Eoceno Medio al Oligoceno. El neoaútóctono está constituido por materiales terrígenos carbonatados poco deformados del Eoceno Superior tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del cinturón plegado.

La faja Mayarí-Baracoa a su vez la divide en tres macizos: Mayarí-Cristal, Sierra del Convento y Moa-Baracoa, el área de estudio se encuentra en el Macizo Moa-Baracoa localizándose en el extremo oriental de la Faja Mayarí-Baracoa (figura 1.6). Ocupando un área aproximada de 1 500 km² donde se presenta un gran desarrollo de los complejos ultramáfico, complejo máfico y vulcano-sedimentario mientras que el complejo de diques de diabasas está muy mal representado, apareciendo las diabasas descritas en la región en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo



cumulativo. Se estima un espesor de aproximadamente 1000 metros para el complejo ultramáfico y 500 metros para el de gabros, mientras que para el complejo vulcano-sedimentario se ha estimado un espesor de 1200 metros.

Complejo de rocas ultrabásicas: aflora en toda la porción central y meridional del área y está constituido predominantemente por harzburgitas y subordinadamente dunitas, lherzolitas y piroxenitas. Estas rocas se caracterizan por presentar un grado de serpentización variable, varios investigadores tienen su teoría, pero muchos, han llegado incluso a considerar el proceso como una manifestación de autometamorfismo de las intrusiones. Sin embargo, ha predominado el criterio de procesos dinamo-metamórficos durante la elevación y emplazamiento de las grandes masas peridotíticas a la superficie en presencia de agua, ya que la serpentización, como se ha señalado en diversas investigaciones se desarrolla más intensamente hacia los bordes de los macizos sobre todo, en los límites tectónicos de sobrecorrimiento de estos sobre las rocas autóctonas. Las rocas de este complejo se caracterizan por presentar un color verde oscuro o gris verdoso y por un alto grado de agrietamiento.

Los complejos máficos: están representados por gabros olivínicos, gabro-noritas, anortositas y gabros normales de diferentes granulometrías. Los cuerpos de gabro tienen una estructura de grandes bloques y la mayoría de éstos se disponen en las zonas periféricas del complejo ultramáfico. En el sector Moa-Baracoa están representados dos tipos de gabros, los llamados gabros bandeados y los gabros masivos en las partes más altas del corte. En la región de estudio los gabros afloran siempre asociados a las serpentinitas, apareciendo en forma de bloques en las zonas de Quesigua-Cayo Guam-Mercedita, Centeno-Miraflores y Farallones-Caimanes.

Los complejos de diques de diabasas: están muy mal representados, apareciendo las diabasas descritas en la región en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo.



Complejo vulcanógeno-sedimentario: está en contacto tectónico con los demás complejos del corte ofiolítico y está representado por formaciones. El conjunto aparece con una coloración negro o verde oscuro. Este es un complejo bien estudiado y que está descrito en las formaciones presentes en el territorio.

Formación Santo Domingo: única representante del arco volcánico cretácico en el área, está constituida por tobas, lavas y aglomerados, apareciendo pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Se incluyen además en esta formación las calizas pizarrosas finamente estratificadas y muy plegadas de color grisáceo. Se le asigna una edad Cretácico Aptiano-Turoniano. Aflora en la región de Farallones-Calentura y en una pequeña área en la localidad de Centeno.

Formación Mícara: está compuesta por tres facies terrígenas y terrígenas carbonatadas. En el inferior está constituida por aleurolitas masivas, mal estratificadas; brechas; areniscas; arcillas y calizas. En la media presenta secuencia olistostrómica compuesta por margas, areniscas, aleurolitas, gravelitas y conglomerados. En la parte superior predominan las aleurolitas y subordinadamente brechas y areniscas tobáceas, la parte más alta, con intercalaciones de tobas ácidas bentonizadas y calizas. De edad Maestrichtiano-Daniano. Aflora en la zona de Los Indios de Cananova y borde suroeste del cerro de Miraflores.

Formación La Picota: está constituida por intercalaciones de areniscas polimícticas y conglobrechas mal seleccionadas que se intercalan con argilitas. Cretácico Superior (Campaniano-Maestrichtiano). Aflora en la base de la Sierra del Maquey y en la meseta de Caimanes.

Formación Sabaneta: está constituida por rocas vulcanógenas-sedimentarias de granos finos, frecuentemente zeolitizadas, con intercalaciones de calizas, silicitas, tobas cloritizadas y rara vez basaltos. De edad Paleoceno Inferior (Daniano parte alta)- Eoceno Medio. En la zona de Farallones el corte está compuesto por tobas vitroclásticas y cristalolitoclásticas zeolitizadas, tobas vítreas y tobas cineríticas. Las calizas tobáceas y tufitas aparecen regularmente hacia la parte alta de la



formación. En Los Indios de Cananova, en la base de la formación se intercalan areniscas de granos gruesos y algunas brechas, donde fueron encontrados fósiles que indican una edad Paleoceno-Daniano. Aflora en un área extensa de la región de Cananova hasta Farallones y en un pequeño bloque en Yamanigüey. Perteneciente a las cuencas superpuestas o *piggy-back* de la segunda generación aflora en el área la Sierra de Capiro.

Formación Júcaro: está constituida por calizas margosas poco consolidadas y a veces por margas de edad Oligoceno-Mioceno. Aflora por toda la costa en la región de Cananova y Yamanigüey.

Formación Yateras: está constituida por calizas organodetríticas típicas de complejos arrecifales y bancos carbonatados con intercalaciones de margas. Presentan bruscos cambios faciales en cortas distancias, con una abundante fauna de foraminíferos bentónicos y planctónicos, lo que ha permitido asignarle una edad Oligoceno Superior hasta el Mioceno. Aflora en la región de Yamanigüey, formando una franja por toda la costa.

Formación Jucaral: margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, limolitas y tobas. Con una edad del Eoceno Medio (parte alta) - Eoceno Superior.

Existen otras formaciones en el territorio que están documentadas en el área por pozos que se han realizado estas no afloran

Depósitos Cuaternarios: estos depósitos están constituidos por calizas organodetríticas con gran contenido de fauna, predominando los moluscos contemporáneos. Aparecen también aleurolitas calcáreas, arenas margosas y arcillas. Los depósitos ubicados en los márgenes, cauces y desembocaduras fluviales están constituidos por bloques, cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial. Constituyen una cobertura prácticamente continua en forma de franja a lo largo de la costa y discontinua en las partes interiores.



Figura 1.6 Mapa geológico del área. (Escala original 1:50 000) (Tomado de Rodríguez, 1997).

Neoautóctono: las rocas y estructuras del neoautóctono cubano se formaron después de la consolidación del substrato plegado, es decir, a partir del eoceno superior. Está constituido por secuencias sedimentarias donde predominan las rocas carbonatadas sobre rocas terrígenas, depositadas en régimen de plataforma continental, aparece representado en la región por las formaciones Júcaro y Yateras que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado. Estructuralmente estas secuencias se caracterizan por su yacencia monoclinial



suave u horizontal, con algunas perturbaciones en las zonas donde existen dislocaciones jóvenes.

1.12 Características morfotectónicas.

El Bloque Oriental Cubano comprendido desde la falla Cauto-Nipe hasta el extremo oriental de la Isla, presenta una tectónica caracterizada por una alta complejidad, dado por la ocurrencia de eventos de diferentes índoles que se han superpuesto en el tiempo y que han generado estructuras que se manifiestan con variada intensidad e indicios en la superficie (Rodríguez, 1998a, 1998b). Este bloque se caracteriza por el amplio desarrollo de la tectónica de cabalgamiento que afecta las secuencias más antiguas (Campos, 1983).

Esta complejidad en la región de estudio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la compresión (Campos, 1983, 1990; Rodríguez, 1998a, 1998b). También se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos (Campos, 1983).

Los principales bloques morfotectónicos que aparecen en el área de estudio son los siguientes (Rodríguez, 1999).

Bloque El Toldo: ocupa la posición central del área de estudio y es el de máxima extensión correspondiéndole también, los máximos valores del levantamiento relativo de la región. Litológicamente está conformado en superficie por las rocas del complejo máfico y ultramáfico de la secuencia ofiolítica, sobre las cuales se ha desarrollado un relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas. Hacia la parte norte se desarrollan en un pequeño sector premontañas aplanadas. El límite nororiental de este bloque está dado por la falla



Cayo Guam, mientras que al sur limita con el bloque Cupey a través de la falla Quesigua.

Bloque Cayo Guam: Es el bloque de más pequeña extensión en el área y se dispone como una cuña entre los bloques El Toldo y Cupey a través de las fallas Cayo Guam y Quesigua respectivamente y al igual que el bloque Moa, se comporta como un escalón intermedio en descenso respecto al bloque El Toldo.

Geológicamente la mayor extensión de la superficie lo ocupan las rocas del complejo ofiolítico, predominando hacia el sur las serpentinitas y hacia el norte los gabros.

Geomorfológicamente se desarrollan las llanuras acumulativas bajas y planas de origen fluvial o palustre en la mayor área del bloque y una pequeña franja de acumulaciones costeras. Hacia la parte sur aparecen las premontañas y montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas con elevaciones máximas de 460 m. Los movimientos horizontales en este bloque son muy evidentes y se ponen de manifiesto en los desplazamientos de la línea de costa y formas del relieve de hasta dos kilómetros con una dirección sur predominante. El Bloque Cupey se ubica en el extremo oriental del área.

Geológicamente a este bloque le corresponde la mayor complejidad al aflorar en su superficie las rocas del complejo ofiolítico que ocupan la mayor extensión del bloque, las rocas de las formaciones Sabaneta, Capiro y Majimiana y los sedimentos cuaternarios de origen parálico y fluvial. Estas últimas litologías se disponen en forma de franjas paralelas al litoral.

Geomorfológicamente para el área predomina el relieve de montañas bajas y aplanadas hacia la parte occidental y bajas diseccionadas con divisorias alargadas hacia el sudeste.

1.13 Sistemas de Fallas.

En los estudios tectónicos precedentes del territorio se han reconocido dos sistemas de fallas que cortan a las rocas del complejo ofiolítico, sin embargo,



como resultado del desarrollo de las presentes investigaciones fueron cartografiados cuatro sistemas de estructuras disyuntivas que corresponden a cada uno de los periodos de la evolución geotectónica (Batista, J, 1998; Rodríguez, 1999).

En el área de estudio existen tres estructuras disyuntivas fundamentales que se presentan a continuación con sus características respectivas (figura 1.7)

Falla Cayo Guam: Presenta una dirección N15°W, se extiende desde la parte alta del río de igual nombre, siguiéndose con nitidez hasta Punta Yagrumaje. Esta estructura aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales. La componente horizontal de los movimientos de falla en el periodo neotectónico es indicado por los criterios geomorfológicos en sentido norte-noroeste para el bloque occidental y sur-sudeste para el oriental.

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

En el análisis geodésico no se observan desplazamientos verticales pronunciados entre los puntos situados a ambos lados de la falla y sólo se marcan con desniveles de 2 mm en el ciclo de mediciones 1990-1993. Sin embargo, los desplazamientos horizontales evidenciados por los parámetros geomorfológicos están en el rango de 0,75-1,0 km. Falla El Medio fue mapeada desde Punta Mangle hasta su intersección con el río Quesigua Medio, con un rumbo aproximado de N40°E.

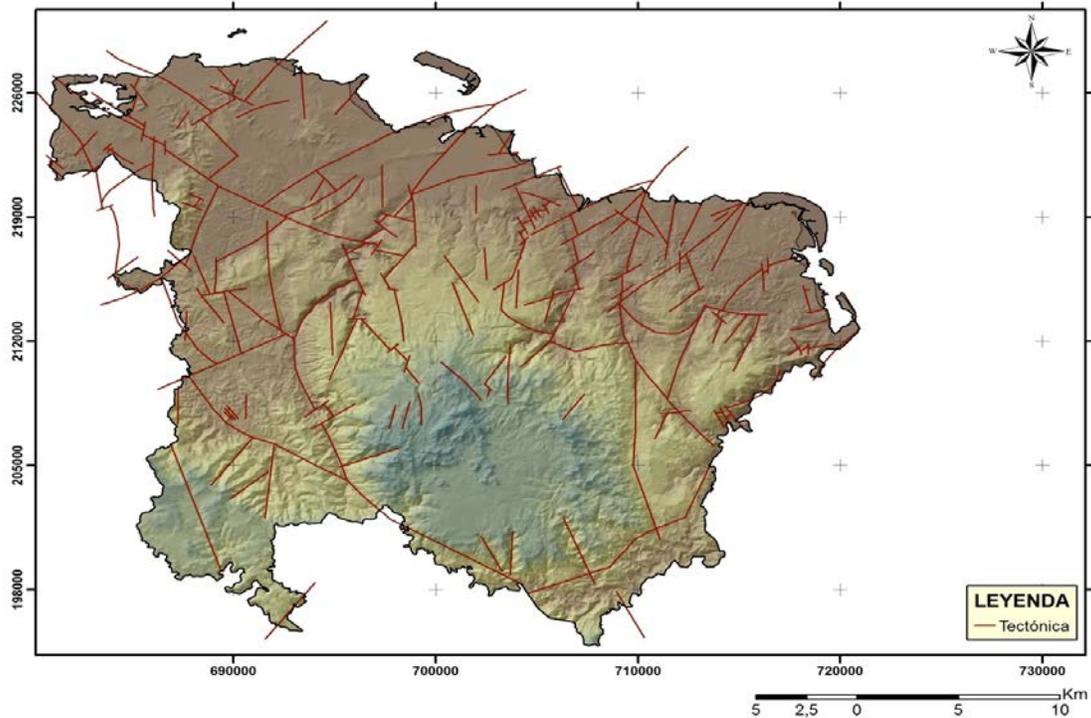


Figura. 1.7. Mapa tectónico de Moa. Escala original 1:50 000, (tomado de Rodríguez, 1998).

1.14 Características hidrogeológicas del área de estudio.

Debido al régimen de precipitaciones, particularidades hidrogeológicas regionales, características de las rocas acuíferas y parámetros hidrogeológicos existentes en el territorio, lo identificamos como una zona de elevada complejidad hidrogeológica. Se ha establecido para la región, la existencia de cinco complejos acuíferos fundamentales, a partir de la caracterización del tipo de rocas presentes, así como, de su capacidad para el almacenamiento en mayor o menor grado de aguas subterráneas, los mismos son descritos a continuación:



Complejo acuífero de las ofiolitas: Se extiende en dirección noreste-sureste, 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 m hasta 12 m. El coeficiente de filtración (K) está comprendido entre valores menores de 1 a 14.7 m/día, el gasto de aforo (Q) desde menos de 1l/s hasta más de 4l/s. Las aguas son de tipos hidrocarbonadas-clórica-sódicas e hidrocarbonadas-magnesianas.

Complejo acuífero de los sedimentos costeros: Se extiende por casi todo el norte de la región, formando una faja estrecha de 1 a 2 km de ancho. El relieve es costero con cotas de 0-2 m sobre el nivel del mar. Su edad es cuaternaria. Litológicamente está constituida por depósitos arcillosos con fragmentos angulosos de composición variada. Las rocas acuíferas son calizas organogenias, en menor grado sedimentos no consolidado y depósitos arcillo-arenoso con fragmentos angulosos de composición múltiple. La profundidad de yacencia varía en rango de 1-5 m. El coeficiente de filtración puede alcanzar valores aproximados de hasta 64.4 m/día, el gasto de aforo es de aproximadamente 14 l/seg. Los tipos de agua predominantes son de grietas y cársticas y en algunos casos intersticiales. En su mayoría tienen interrelación hidráulica con las aguas del mar. Por su composición química son cloruradas-hidrocarbonadas-sódicas-cálcicas, (Kurlov).

Complejo acuífero de las lateritas

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



Complejo acuífero de los sedimentos terrígenos carbonatados

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.

Complejo acuífero de los sedimentos aluviales

Se extiende en dirección N-S, formando una franja ancha en su parte superior y estrecha en su parte inferior. Ocupa todas las terrazas del río Moa y Cayo Guam; así como los valles de sus afluentes.

Litológicamente está formado por gravas, arenas, arcillas, cantos rodados, arenas arcillosas y arcillas arenosas con una potencia de 15m aproximadamente perteneciente a la formación Río Macío. Su edad se considera que es del Cuaternario.

Las aguas de estos acuíferos son de tipo freáticas, existiendo interrelación hidráulica entre el río y el acuífero, cambiando la dirección del flujo en dependencia del período de lluvia y seca respectivamente. Por la dirección del movimiento, las aguas subterráneas alimentan al río en todas direcciones.

El coeficiente de filtración (K) varía desde 13-290 m/días, mientras que su gasto de aforo (Q) es de 2-57 l/seg. La profundidad de yacencia del agua es pequeña, con valores comprendidos entre los 1-5 m, según su composición química por clasificaciones de Kurlov y Aliokin están denominadas aguas hidrocarbonadas magnéticas.



Capítulo II Metodología y volumen de los trabajos realizados

2.1 Introducción

En este capítulo iniciará desde la metodología que se aplica en la investigación para el reconocimiento hidrogeológico. Se podrá determinar con la ayuda de ciertas herramientas, la contaminación microbiológica de las aguas en la zona de estudio y dar cumplimiento a cada una de las actividades.

2.2 Caracterización físico –química y microbiológicas

Este fragmento contiene la recopilación y análisis de la información sobre el área de estudio como el levantamiento hidrogeológico a escala 1:10000 y demás datos para la realización de este proyecto que aparecen a continuación.

Búsqueda y análisis de la información geológica e hidrogeológica existente



Trabajo de campo



Determinación de las fuentes de contaminación



Muestreo hidroquímico



Análisis de laboratorio



Procesamiento de la información



Índice de la Calidad del Agua



2.3 Búsqueda y análisis de la información geológica e hidrogeológica

existente.

En esta etapa la búsqueda de información bibliográfica fue muy efectiva ya que por medio de otros trabajos sobre el área de estudio se recopilaron datos de gran interés. Esta búsqueda se realizó mediante el Centro de información científico y técnico de nuestro centro y al mismo tiempo con el fondo geológico en los cuales se utilizaron otros trabajos de estudiantes, de maestrías y doctorados relacionados con la hidrogeología, geoquímica, hidrología y estudios del medio ambiente, en fin, varia información relacionados con este tema de investigación. En el internet se recogieron muchos datos sobre estudios relacionados con la contaminación de las aguas, índice de la calidad de las aguas; tales como revistas documentos importantes en páginas web, tesis de grado maestrías y doctorados que han sido publicadas, también la utilización de las normas cubanas e internacionales para las aguas potables los cuales permitieron el desarrollo del marco teórico conceptual de esta tarea.

2.3 Trabajos de campo

En este se realizó un muestreo con el objetivo de evaluar el índice de calidad en los diferentes sectores. La investigación se realizó a partir de puntos de muestreo desde La presa Nuevo Mundo hasta la desembocadura del río Moa. Se tienen en cuenta las técnicas establecidas de cómo se realiza un muestreo, se describen los diferentes puntos donde se tomaron las muestras representativas antes y después, teniendo en cuenta: la descripción del área donde se encuentran cada una y la presencia de un mapa de ubicación donde se encuentran estos puntos contaminantes, la fecha, la hora, el día y mes. Se observaron las posibles fuentes contaminantes que pueden alterar el estado natural de estas aguas tanto física como química. La toma de estas muestras fue en el periodo de 2 meses en la etapa de primavera, cuya estación en nuestro país es bastante lluvioso, lo que implica que pueden ocurrir vulnerabilidades en el terreno. Los resultados serán



representados en gráficos y tablas para mejorar la visualización e interpretación de los resultados obtenidos.

2.4 Determinación de las fuentes de contaminación

Durante todo el recorrido por el área de estudio ver se pudo observar que varios sectores que fueron muestreados se encontraban afectados por distintas fuentes de contaminación, es decir partes del río Moa que siguen siendo afectadas que de una manera u otra constituyen ser un riesgo ambiental; dentro de los cuales encontramos diferentes empresas que por su desarrollo industrial desechan varios residuos sólidos y líquidos como wl que se vierten directamente las aguas.

Uno de los puntos muestreados es el río Cabaña que se encuentra contaminado por residuos líquidos producto de la lixiviación ácida de la empresa Pedro Soto Alba. El río Moa es contaminado por la industria Ernesto Che Guevara por varias fuentes de contaminación, las colas son depositadas en presas ubicadas en zonas aledañas a la industria, lo que implica una afectación al medio por la contaminación que le provoca al medio natural ya sea agua, suelos, aire etc.; y el impacto negativo que le ocasiona al panorama al aumentar las zonas descubiertas. Otras fuentes son las operaciones mineras que traen desfavorables consecuencias a los sistemas hidrogeológicos los que se debilitan con el derivado de escombros que pueden durar un corto o largo plazo por dejar las labores mineras.

Algunas de las fuentes de contaminación están reflejadas en las figuras 2.1 hasta 2.6.



Figura 2.1 Procesos de erosión



Figura 2. 2 Afluente río Cabaña



Figura 2.3 Residuales termoeléctrica. ECG



Figura 2.4 Residuales de Planta de horno. ECG



Figura 2.5 Arrastre de sedimentos.



Figura 2.6 Elevada turbidez y sólidos en suspensión



2.5 Muestreo hidroquímico

Se tomaron 10 muestras en el período de lluvia, las cuales muchas pueden encontrarse alteradas en su estado natural, es por ello que luego de la recolección de estas deben ser analizadas para determinar si existe alguna variación en su calidad y su estado físico y químico. Durante este tiempo de recolecta se emplearon varios aspectos de control de las muestras tales como:

Muestreo: Este tiene que cumplir principalmente con las técnicas de muestreo y la metodología del estándar método internacional

Los resultados dependerán de como tomamos la muestra, y es muy importante tomar medidas higiénicas para no contaminarlas. Uno de los requerimientos básicos en el programa de muestreo es una manipulación ausente de procesos de deterioro o de contaminación antes de iniciar los análisis en el laboratorio.

Entrega de las muestras al laboratorio:

Luego de realizar el muestreo las muestras deberán ser entregadas al laboratorio lo más pronto posible para realizar el análisis.

Durante todo el recorrido del estudio realizado se tomaron varios puntos de muestreo, primero iniciando en la presa Nuevo Mundo y culminando en la desembocadura del río Moa. A continuación, aparecen los puntos de muestreo:

- ❖ M 1. Presa Nuevo Mundo.
- ❖ M 2. Planta de Pulpa.
- ❖ M 3. Después de Planta de Pulpa. (500m)
- ❖ M 4. Antes de la Derivadora (400m).
- ❖ M 5. En la Derivadora
- ❖ M 6. Puente Veguita
- ❖ M 7. Después del puente Veguita (100m).
- ❖ M 8. Río Cabaña.
- ❖ M 9. Río Los Lirios.
- ❖ M10. Desembocadura del río Moa.



Descripción de cada uno de los puntos muestreados durante la investigación.

Ver anexo 1 del cap.2

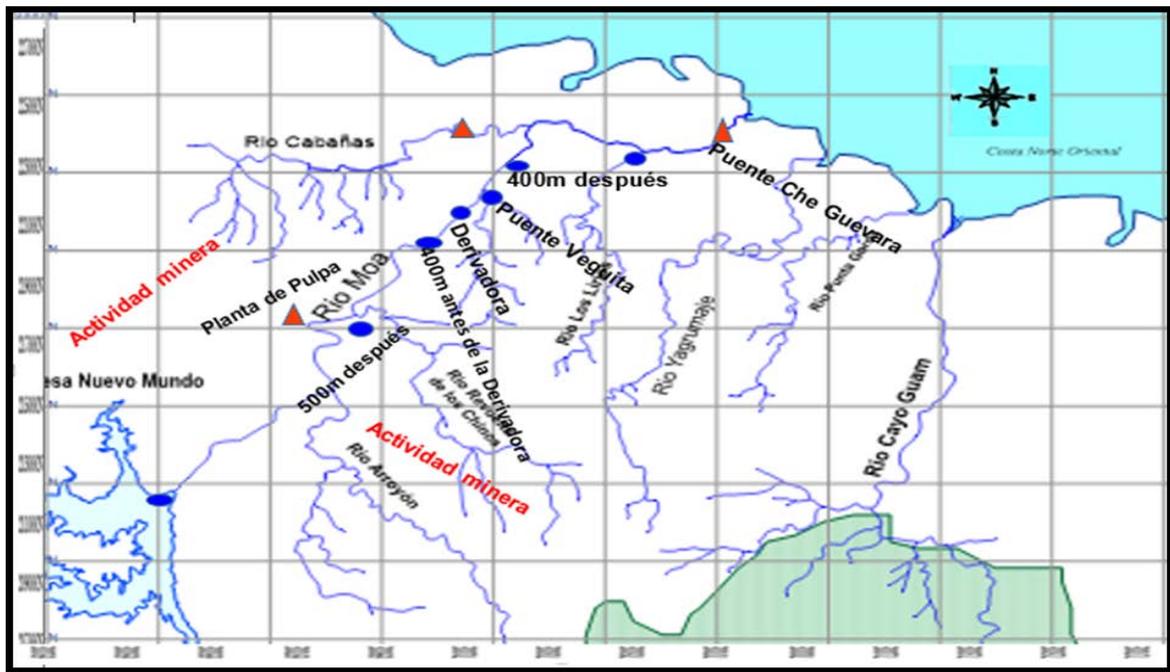


Figura 2.7 Mapa de ubicación de los puntos de muestreo 1.10 000 modificado de (Hernández Vidal 2007)

2.6 Análisis de laboratorio

Los análisis de laboratorio fueron realizados en el Centro de Investigación y Desarrollo del Níquel (CDINIQ) y laboratorio químico de la Planta Potabilizadora de la Empresa Ernesto Che Guevara.

Para cada una de las muestras se determinaron los siguientes parámetros:

Propiedades físicas: pH, turbidez, conductividad, sólidos totales disueltos, color y temperatura.

Propiedades químicas: Cada uno de los elementos que determinaron el contenido del material orgánico existente en las aguas del río son: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- ,



CO_3^{-2} , HCO^{-3} , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , en el caso de CO_3^{-2} determinar alcalinidad parcial y en el elemento HCO^{-3} hallar alcalinidad total.

En análisis de metales: Fe, Ni, CO, Zn, Cr.

Instrumentales para la realización de los análisis de laboratorio:

Durante los análisis se utilizaron varios métodos instrumentales de alta puntualidad para obtener los resultados con mayor exactitud dentro de los cuales fueron:

Para la determinación de metales se utilizó el método de absorción atómica el cual es un método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales (aparato 3111B, APHA-AWWA-WPCF). Para la determinación de sulfatos se empleó el método gravimétrico y mufla para incinerar los mismos (APHA-AW WA-WPCF). Para determinar calcio se utilizó el método volumétrico en el caso de algunas muestras.

2.7 Clasificación de las aguas del río Moa según la composición química y sus posibles usos en la agricultura.

Sabemos que el hombre necesita para la vida el uso de estas aguas tanto superficiales como subterráneas han sido clasificadas por el mismo tanto físico como químico y bacteriológico para utilizarlas con varios fines: aguas para la agricultura, para el proceso industrial para suministro a la población, uso recreativo y doméstico, entre otras funciones. Estas son importantes, pero muchas son contaminadas por varias vías, erosión natural, por desechos de efluentes de las fábricas de refinería, por alcantarillados que aportan materiales nocivos tales como aguas amoniacales, ácidos, aceites etc. En fin, muchas de estas no pueden ser consumidas, ni pueden ser usadas para muchas necesidades por su alto grado de contaminación y alta peligrosidad; es decir, muchas causarían altos riesgos a la salud humana, otras si pueden ser utilizadas dependiendo de los resultados de los análisis realizados sabremos si son aptas para el consumo humano, uso agrícola y demás. Atendiendo a los aspectos obtenidos tales como: pH, dureza,



mineralización y demás parámetros analizados sabremos con mayor exactitud los diferentes usos de estas aguas.

2.7.1 Clasificación de las aguas según su composición química.

Clasificación de las aguas por su pH.

$$pH = -\log(H^+) \tag{2.1}$$

Tabla 2.1. Clasificación de las aguas por su pH según E.B. Pasójev. (De Miguel, 2012)

Valor del pH	Denominación de las aguas.
< 3	Aguas muy ácidas
3 – 5	Aguas ácidas
5 – 6,5	Aguas débilmente ácidas
6,5 – 7,5	Aguas neutras
7,5 – 8,5	Aguas débilmente básicas
8,5 – 9,5	Aguas básicas
> 9,5	Aguas muy básicas

Clasificación de las aguas por su mineralización

$$M = \frac{\sum m.m - \left(\frac{HCO_3}{2}\right)}{1000} \tag{2.2}$$

Tabla 2.2. Clasificación de las aguas por su mineralización según A.M. Ovchínikov. (De Miguel, 2012)

Mineralización en g / l.	Denominación de las aguas
< 0,2	Aguas muy dulces
0,2 – 0,5	Aguas dulces
0,5 – 1,0	Aguas con salinidad relativa
1,0 – 3,0	Aguas algo salobre



3,0 – 10,0	Aguas saladas
10,0 – 35,0	Aguas de alta salinidad

Clasificación de las aguas por la dureza total

$$DT = Ca^{2+} + Mg^{2+}; \text{ mg. eq/l} \quad (2.3)$$

Tabla 2.3 Clasificación de las aguas por la dureza total según O.A. Aliókin. (De b Miguel, 2012)

Dureza del agua en mg.eq/l	Denominación de las aguas
< 1,5	Aguas muy blandas
1,5 – 3,0	Aguas Blandas
3,0 – 6,0	Aguas algo duras
6,0 – 9,0	Aguas duras
> 9,0	Aguas muy duras

Clasificación de las aguas según Índice de Salinidad Marina (ISM)

$$I.S.M = \frac{\%Cl + \%Na}{\%HCO_3 + \%Ca} \quad (2.4)$$

Tabla 2.4 Clasificación de las aguas por el Índice de Salinidad Marina (ISM). (De Miguel, 2012)

Valor I.S.M.	Mineralización-gr. / l.	Clasificación por I.S,M.
< 1	Predomina < 0,8	Aguas o acuífero no salinizado
1 – 1,9	0,9 – 1,6	Aguas o acuífero debilmente salinizado
2 – 6,9	1,7 – 5,8	Aguas o acuífero salinizado



1 – 21	5,9 – 17,7	Aguas o acuífero muy salinizado
> 21	> 17,8	Aguas o acuífero hipersalinizado

2.7.2 Clasificación de las aguas para su posible uso en la agricultura

2.7.3 Clasificación de las aguas por el coeficiente de irrigación

1er caso: El contenido de iones del ion sodio Na^+ en mg.eq es menor que el contenido del ion Cl^- en mg.eq., es decir, $\text{Na} < \text{Cl}$. Está presente el cloruro de sodio.

$$Ci = \frac{288}{5\text{Cl}^-} \quad (2.5.)$$

El 2do caso : El contenido del ion Na^+ en mg.eq es mayor que el contenido del ion Cl^- en mg.eq., pero menor que el contenido total de ácidos fuertes, es decir:

$\text{Cl}^- + \text{SO}_4 > \text{Na}^+ > \text{Cl}$. Está presente el cloruro y el sulfato de sodio.

$$Ci = \frac{288}{\text{Na}^+ + 4\text{Cl}} \quad (2.5.2)$$

3er caso: El contenido del ion Na^+ es mayor que el contenido de los iones de ácidos fuertes, es decir: $\text{Na}^+ > \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$. Está presente el cloruro, el sulfato y el carbonato de sodio.

$$Ci = \frac{288}{10\text{Na}^+ - (5\text{Cl}^- + 9\text{SO}_4^{2-})} \quad (2.5.3)$$



Tabla 2.5 Clasificación de las aguas por el coeficiente de irrigación C_i de Stables

Coef. de irrigación C_i	Calidad del agua	Características del agua
> 18	Buena	El agua puede utilizarse sin necesidad de tomar medidas especiales contra la acumulación de sales dañinas en el suelo.
$18 - 6$	Satisfactoria	Se requiere de medidas especiales para evitar la acumulación paulatina de sales en el suelo
$5,9 - 1,2$	No satisfactoria	Se requiere de drenaje artificial.
$\ll 1,2$	Mala	Esta agua en la práctica no es apta para el riego.

2.8 Procesamiento y análisis de la información.

A partir de los resultados obtenidos en el laboratorio se procesó la información mediante metodologías existentes al efecto que permitieron la clasificación de las aguas según diferentes autores; así como el empleo de diferente software que permitieron cumplir el objetivo, estos son:

El Microsoft Word (Office 2013)

Se utilizó para la confección y configuración de este proyecto, en el que se aplicaron todas sus herramientas relacionadas con el perfeccionamiento de este trabajo.

El surffer (versión)

Este programa es el encargado en todo lo relacionado con la generación de mapas de focos contaminantes, mapa de red fluvial, mapa geológico del área de estudio y de puntos de muestreo.



En Paint

Se utilizó para la elaboración del mapa de ubicación Geográfica para una mejor visualización de los puntos de muestreo.

El Microsoft Excel (Office 2013)

En la realización de las tablas que definen las propiedades físicas-químicas de cada una de las muestras obtenidas.

En el análisis de los resultados analíticos obtenidos se utilizaron normas para aguas potables, aguas residuales en fin normas establecidas para las aguas del consumo humano para con varios fines. También se realizaron varios cálculos para determinar las concentraciones de cada elemento químico en cada una de las muestras para ser representados en tablas de diferentes clasificaciones con diferentes autores que se mencionan más adelante. Se emplea por primera vez un índice simplificado para evaluar la calidad del agua que consiste en un modelo matemático que permitirá comprobar su estado las aguas del río Moa.

2.9. Índice de calidad del Agua (ICA).

Un índice de calidad de agua, consiste básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que caracterizan la calidad del agua. Su ventaja radica en que puede ser más fácilmente interpretado que una lista de valores numéricos. Los índices pueden ser usados para mejorar o aumentar y difundir la información sobre la calidad del agua. De acuerdo con Ott (1978), los posibles usos de los índices son seis:

- 1- Manejo del recurso: pueden proveer información a personas que toman decisiones sobre las prioridades del recurso.
- 2- Clasificación de Áreas: para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.



3- Aplicación de normatividad: permite determinar si se está sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes.

4- Análisis de la tendencia: el análisis de los índices en un periodo de tiempo, pueden mostrar si la calidad ambiental está empeorando o mejorando.

5- Información pública: los índices pueden tener utilidad en acciones de concientización y educación ambiental.

6- Investigación Científica: simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales.

Este índice fue utilizado como una herramienta de indicación en el estudio de las aguas superficiales del estado de Jalisco que planteo una caracterización y un diagnóstico general sobre la situación ecológica y ambiental que guardan los diversos Sistemas Acuáticos Epicontinentales del Estado de Jalisco (Montoya *et, al.* 1977).

Indicadores utilizados

Este autor revisó 6 índices los cuales han sido empleados para establecer de alguna forma el grado de impacto sobre los sistemas acuáticos y 2 más que se correlacionan con otros que aparecen en la tabla 2.6.

Para determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA_{sp}) se aplicó la metodología de Montoya *et, al.* (1977).

El grado de contaminación del agua es medido en términos del índice, definido como el grado de contaminación existente en él a las muestras, expresado como un porcentaje de agua pura, así para el agua totalmente contaminada tendrá un índice de calidad cercano o igual a cero y para aguas de excelentes condiciones de 100.

El Índice de Calidad del Agua está constituido por 18 variables clasificado dentro de 5 categorías.



$$ICA = \sum_{i=1}^n (I_i \cdot W_i) / \sum_{i=1}^n w_i \quad (2.6)$$

Donde:

ICA: Índice de calidad del agua $0 \leq I \leq 100$.

I_i : Función subíndice del parámetro i , $0 \leq I_i \leq 100$.

W_i : Peso de importancia del parámetro (Factor de ponderación) i , $0 \leq W_i \leq 100$.

n : Número de variables empleadas.

Tabla 2.6. Funciones de los subíndices del ICA utilizado según Montoya *et. al.* (1997). Ver Anexo 1 Capítulo 3

Representación del Índice de Calidad del Agua.

Tabla 2.7. Clasificación del agua según el Índice de Calidad del Agua (ICA *_sp*)

Clase	Puntuación	Clasificación del agua
I	101-120	H ₂ O muy limpia o no contaminadas
II	61-100	Inicio por algún efecto de contaminación
III	36-60	Contaminada
IV	16-35	Muy contaminada
V	<16	Fuertemente contaminada



CAPITULO III. INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1. Introducción

Durante todo el trayecto de este capítulo se analizaron cada una de las muestras quedando los resultados expuestos mediante los gráficos, donde se observa el comportamiento de cada uno de los parámetros y elementos químicos que fueron evaluados.

Las aguas superficiales, en particular, son recursos renovables con una capacidad limitada de recuperación ante los impactos negativos de la actividad humana.

3.2. Resultados de los análisis de laboratorio

Resultados del comportamiento de las propiedades físicas y químicas de las aguas monitoreadas.

Los resultados de los análisis de las propiedades físicas aparecen en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Propiedades físicas de las muestras analizadas.

Color (Esc/Pt-Co)

Muest	Localidad	Color Esc (Pt-Co)	Tem. °C	pH	Turbidez NTU	S.T.D mg/l	Cond. µs/cm
M1	Presa Nuevo Mundo	94	25	8,20	0,49	132	183,1
M2	Planta de pulpa	115	26,3	5,76	52,02	2590	25200
M3	400 m después	20	25,8	7,64	3,58	112	173,7
M4	200 m antes de la Derivadora	51	24	8,11	9	81	179
M5	Derivadora	1,984	28	7,44	3,016	58	141,8
M6	Puente Veguita	82	25	7,12	15	82	181
M7	200 m después	74	24	8,10	22	83	187
M8	Rio Cabaña	19	28	5,33	4,71	358	422
M9	Rio los Lirios	0	30	6,82	0,69	216	261
M10	Puente Che Guevara	23	33,7	3,0	20	1254	41200



En algunos casos el color del agua puede ser causado incluso por los iones de metales y por la presencia de materias orgánicas coloreadas o a la presencia de minerales como el hierro (Fe), pues, esta característica del agua puede también estar ligada a la turbidez o presentarse independientemente de ella. En el gráfico la muestra (M1) y (M6), tienen mayor color por la presencia de la materia orgánica. (Gráfico 3.1).

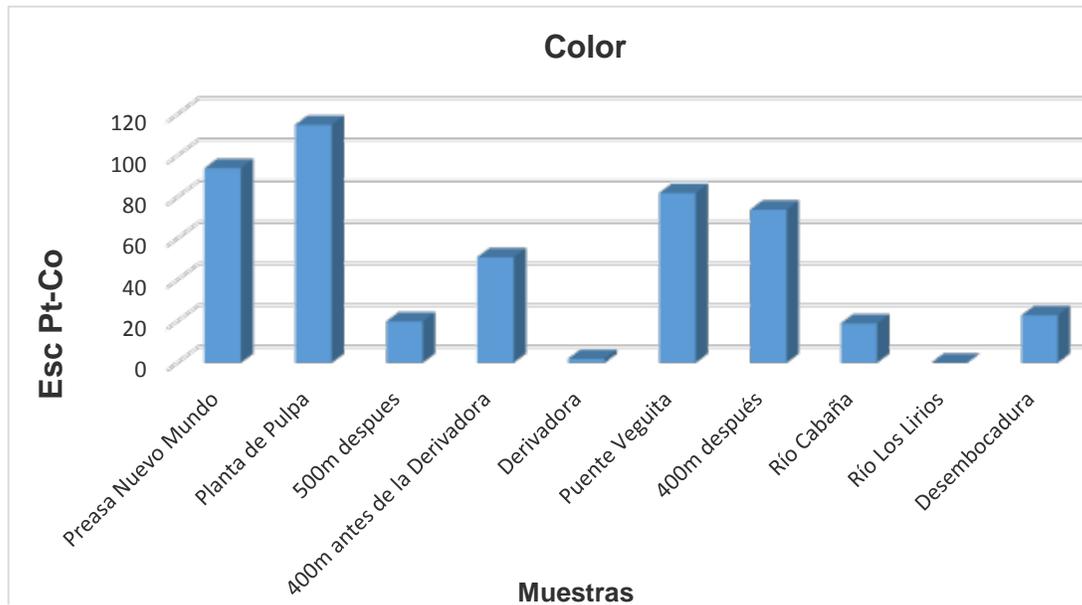


Gráfico 3.1. Comportamiento del color en el agua.

Temperatura (°C)

La temperatura en las muestras se realiza relacionándola con la temperatura ambiente dependiendo del lugar y momento de la medida. Sus variaciones en general se deben a factores como: hora del día, estación y profundidad del agua entre otros. Por ejemplo, muchas industrias usan agua como refrigerante y la descarga descuidada de agua caliente en los ríos puede hacer que la temperatura aumente. En resumen, los cambios que se observan son estacionales o por calentamiento atmosférico o por aguas calientes que salen de las empresas. Las mayores temperaturas se encuentran entre las muestras (M6), (M7) y (M10) influenciado por el afluente Cabaña producto a la carga del licor wl. (Gráfico 3.2)

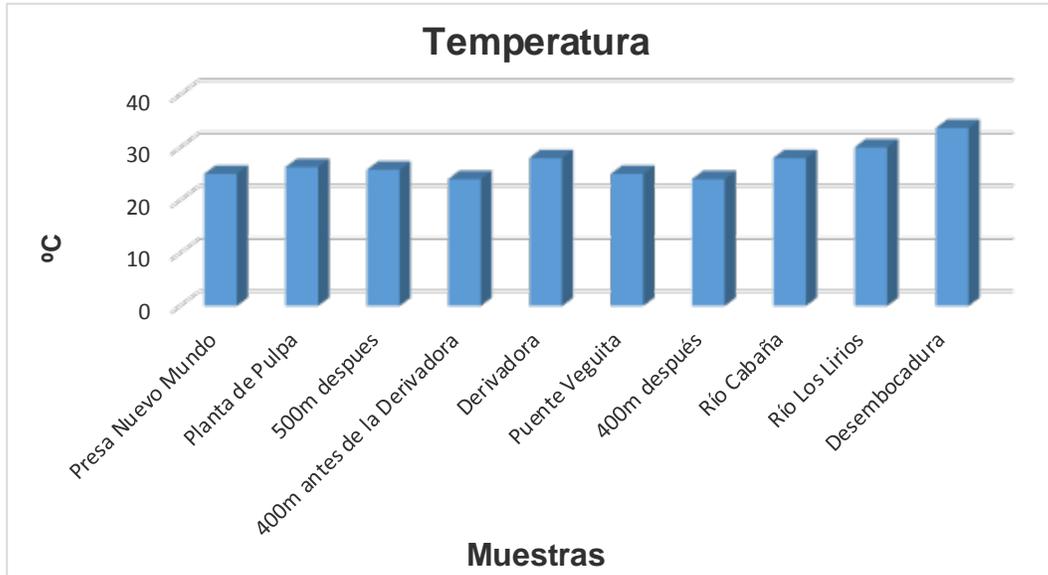


Gráfico 3.2 Temperatura de las aguas

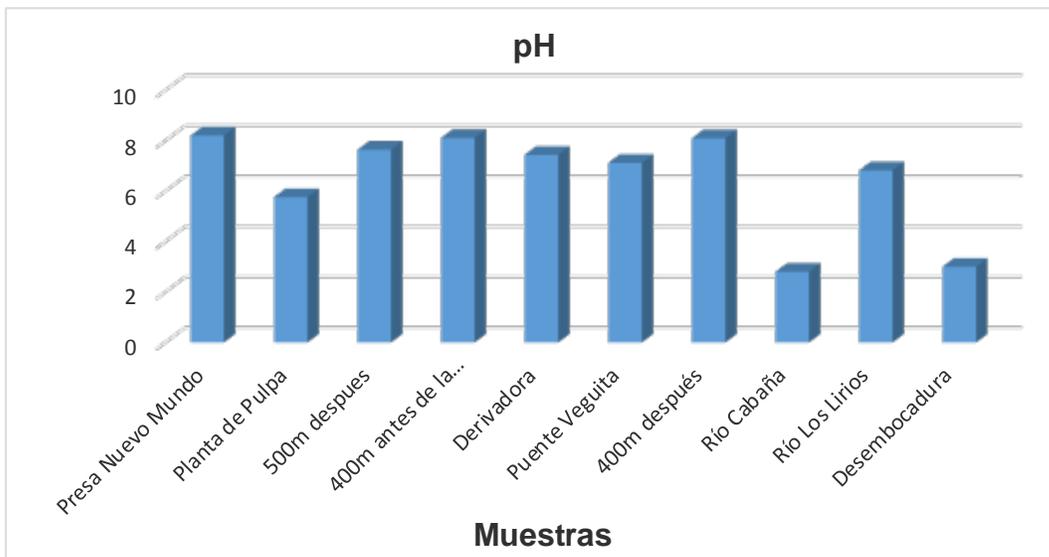


Gráfico 3.3. Comportamiento del pH en el agua.

pH

Es simplemente una escala indicadora del balance entre los iones hidrógenos (H^+) y los iones hidróxidos (OH^-), no es una medida cuantitativa del nivel alcalino a ácido de una sustancia disuelta en agua. Es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número de iones de hidrógeno presentes.



Los valores del pH de las aguas naturales varían alrededor de 3 y 8,12 y el pH medio es de 7,44.

Los valores registrados se consideran normales para un agua natural y no suponen ningún problema para la vida acuática con la excepción de la muestra (10) que presenta un pH de 3, lo cual es un pH ácido producto a las aguas contaminadas del río Cabaña. Ver (Gráfico 3.3).

Turbidez (NTU)

Es la cantidad de materia suspendida en el agua que al absorber la luz hace que el agua tenga un aspecto nublado. Esto demuestra la resistencia a la transmisión de la luz en el agua.

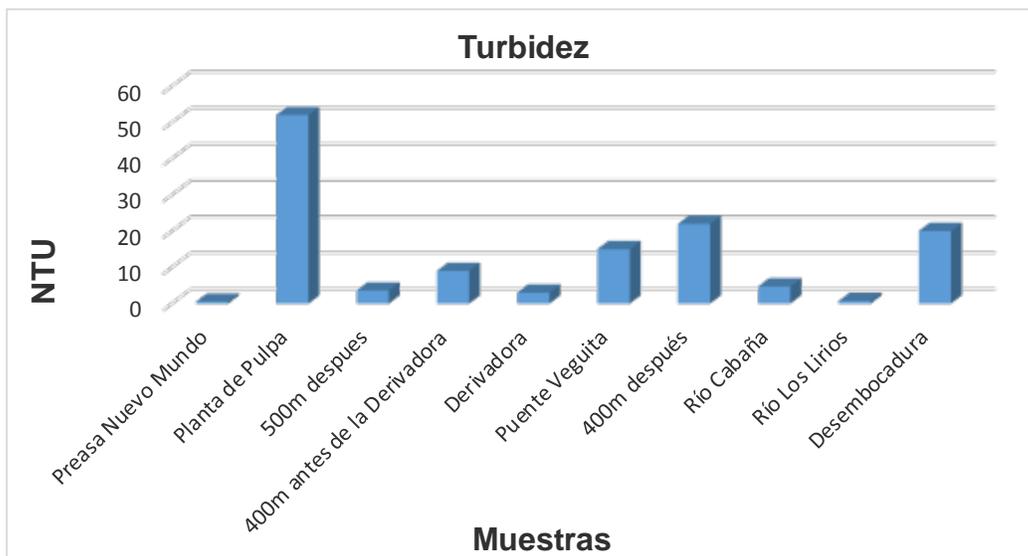


Gráfico 3.4. Comportamiento de la turbidez en el agua del río Moa.

La transparencia puede cambiar estacionalmente conforme a las variaciones de los sólidos en suspensión o por los cambios en las tasas de crecimiento, que son el resultado del drenaje del agua de precipitación y de otras razones. La mayor turbidez se encuentra entre las muestras (M7) por ser un residual cargado de sólidos en suspensión y la muestra (M10) por el arrastre de cierta cantidad de



sólidos suspendidos y otros contaminantes hasta la zona cercana a la desembocadura. Ver (Gráfico 3.4).

Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad, puede proporcionar una visión clara de la concentración de iones en el agua, pues esta es naturalmente resistente a la conducción de la energía.

Con un valor medio de conductividad de $422 \mu\text{S}/\text{cm}$, se concluye que el agua analizada tiene un contenido de sales disueltas entre bajo, medio y altos, en las muestras (M2) y (M10) observamos que tienen mayor relevancia no se cumple lo establecido y tampoco pueden ser utilizadas para muchas aplicaciones. Conocemos que la muestra (M2) es un agua residual por lo que tiene mayor conductividad por la cantidad de sales y otros elementos presentes metálicos. Ver Gráfico (3.5)

La conductividad eléctrica de las aguas continentales superficiales oscila entre 15 y $3300 \mu\text{S}/\text{cm}$. La norma europea considera que las aguas superficiales destinadas a ser potables no deben tener una conductividad superior a $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ y el agua potable no debe tener una conductividad superior a $400 \mu\text{S}/\text{cm}$. Aguas de conductividad superior a $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$ se consideran no utilizables para el riego. Las aguas analizadas según esta norma tienen valores de 25200 y $141200 \mu\text{S}/\text{cm}$.

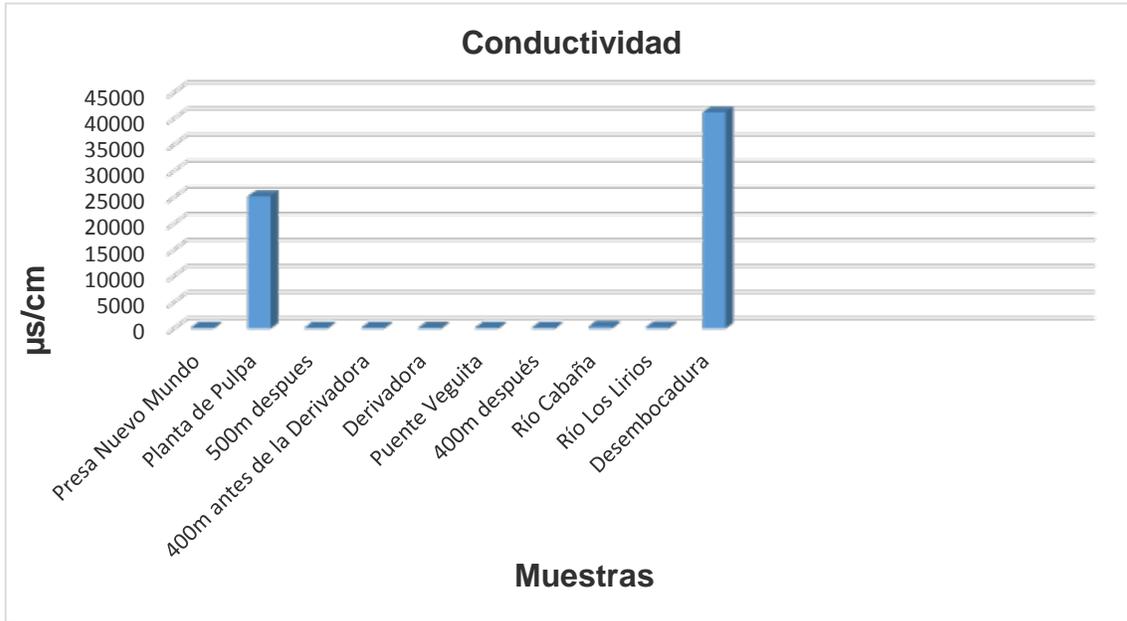


Gráfico 3.5 Comportamiento de la conductividad de las aguas.

Análisis de las propiedades químicas (Elementos mayoritarios)

Se realiza un análisis general de las propiedades químicas de las aguas del río Moa. Para el estudio se evaluaron los elementos Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- y SO_4^{2-} . (Tabla 3.7)

Tabla 3.7 Análisis de las propiedades químicas en cada muestra. Ver anexo

Carbonatos (CO_3^{2-}) e Hidrocarbonatos (HCO_3^-)

Los carbonatos precipitan fácilmente en presencia de iones de calcio. Estos iones contribuyen fundamentalmente a la alcalinidad del agua, que es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos. Los contenidos de carbonatos e hidrocarbonatos en la muestra de la desembocadura son nulos debido al pH ácido de las aguas del afluente Cabaña. Los valores se representan en el gráfico 3.6.

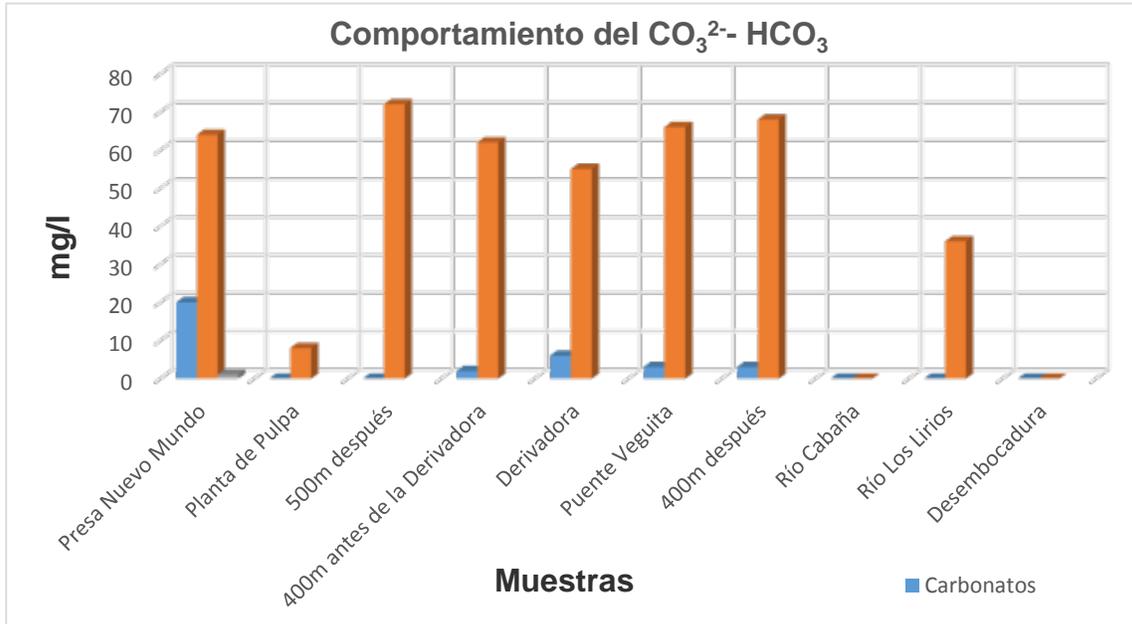


Gráfico 3.6. Comportamiento del Hidrocarbonato y Carbonato en las aguas

El alto contenido de cloruros (Cl) impide que el agua sea utilizada para el consumo humano o los animales como ganados. Los altos porcentajes de este elemento en los cuerpos de agua pueden matar a la vegetación circundante. Este en forma de ión (Cl^-) es uno de los aniones inorgánicos principales en aguas naturales y residuales. Un contenido elevado de cloruro puede dañar las condiciones y estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal.

En el gráfico los valores más elevados por el cloruro se encuentran en la muestra (M2) y (M8) esto sucede por las descargas de aguas residuales industriales hacia las aguas superficiales y también pueden proceder de las disoluciones de los suelos y rocas que contengan este elemento químico que están en contacto con el agua. Ver (Gráfico 3.7)

Los sulfatos (SO_4^{2-}) se presentan de forma natural en numerosos minerales, su distribución en la naturaleza es muy amplia y pueden presentarse en aguas naturales en concentraciones que van desde unos pocos a varios miles de miligramos por litro. Se utilizan comercialmente, sobre todo en las industrias químicas. El gran contenido de este elemento que están representados nos muestran que las muestras M (2) y



(M10) se debe a las descargas a través de los desechos industriales de las industrias del níquel que se encuentran dentro del municipio, también por los residuos del drenado de minas aportando grandes cantidades de SO_4^{2-} debido a la oxidación de la pirita.



Gráfico 3.7 Comportamiento del Cloruro y los sulfatos en las aguas

El sodio (Na^+) El intercambio iónico entre en calcio y otros cationes se debe al sodio, fundamentalmente que están retenidos en la superficie e minerales con los que entra en contacto con el agua, se potencia notablemente en los terrenos arcillosos de baja permeabilidad. En el gráfico se muestran que las muestras con mayor contenido de este elemento son la (M2), (M8) y (M10), debido a la liberación por efecto de la meteorización de los silicatos y disolución de rocas sedimentarias. Una fuente importante para estas muestras con altos contenidos de este elemento lo constituyen los aportes de las aguas marinas, tanto por intrusiones marinas como por la infiltración de las aguas de lluvias provenientes del mar, por lo que se percibe en la muestra (M10) por estar cerca de la desembocadura. (Gráfico 3.8)

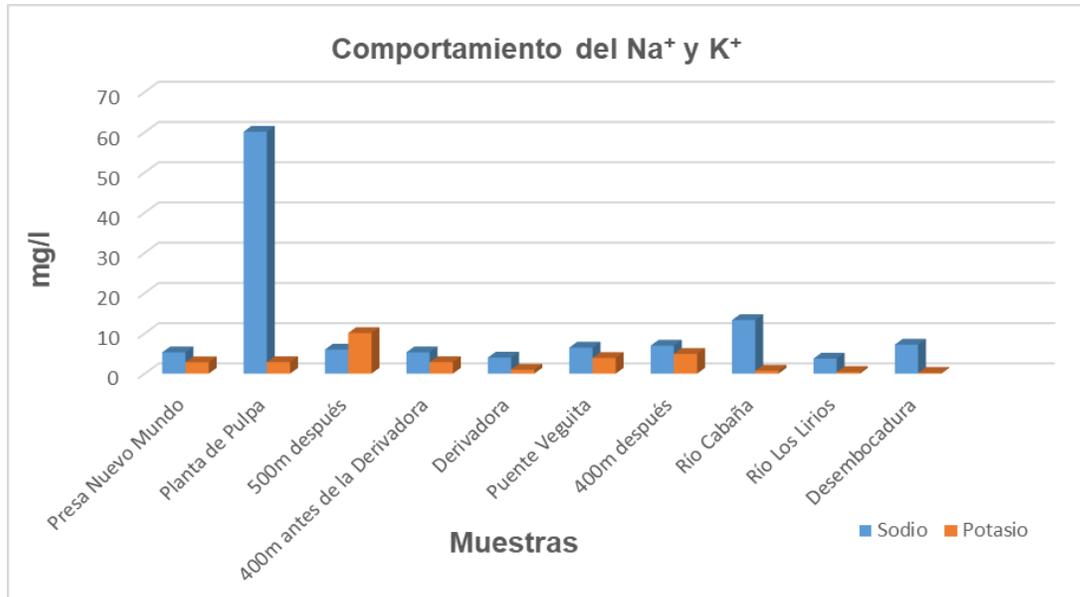


Gráfico 3.8 Comportamiento del Sodio y el Potasio en el agua

El potasio (K) procede de la meteorización de los feldespatos y ocasionalmente de la solubilización de depósitos de evaporitas, en particular de sales tipo silvina (KCl) o carnalita ($KMgCl_2$). Este debe ser fijado irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de adsorción en la superficie de minerales con alta capacidad de intercambio iónico. En ocasiones, las altas concentraciones pueden ser indicio de contaminación por vertidos de aguas residuales. En la muestra (M3) se observa una mayor concentración de (K) que en las demás

Evaluación de los resultados analíticos de los elementos metálicos.

Los resultados de los análisis de elementos metálicos aparecen reflejados en la tabla 3.8.



Tabla 3.8. Resultados analíticos de elementos metálicos

Muestras	Concentración en mg/l				
	Fe	Ni	Co	Zn	Cr
M1	0,012	0,005	0,018	0	0,028
M2	0,024	5,46	0,324	0,013	0,789
M3	0	0	0	0,013	0
M4	0,045	0,178	0,066	0,013	0,056
M5	0,032	0,143	0,058	0,011	0,046
M6	0,140	0,18	0,089	0,045	0,06
M7	0,156	0,197	0,093	0,058	0,076
M8	0,115	0,319	0,056	0	0,038
M9	0	0,410	0,069	0	0,117
M10	3,98	0,552	0,128	0,080	1,78

Comportamiento del Hierro (Fe) y el níquel (Ni) en (mg/L)

En el gráfico observamos un alto contenido del hierro (Fe) en la muestra (M10) por ser un agua muy contaminada con respecto a las demás esto quiere decir que en el área de estudio en el periodo de lluvia este elemento se encuentra con valores entre 0,156 y 3,98 mg/l, los mayores valores son debido al escurrimiento o deslizamiento superficial por procesos de erosión y meteorización del suelo el cual provoca la oxidación de este por la acción de agentes que intervienen en los procesos mencionados .



El Fe es un elemento metálico pesado y a veces cuando sobrepasa en grandes cantidades este puede afectar la calidad del agua, por tanto, estas aguas no son aptas para el consumo. Su origen puede deberse a la disolución de silicatos.

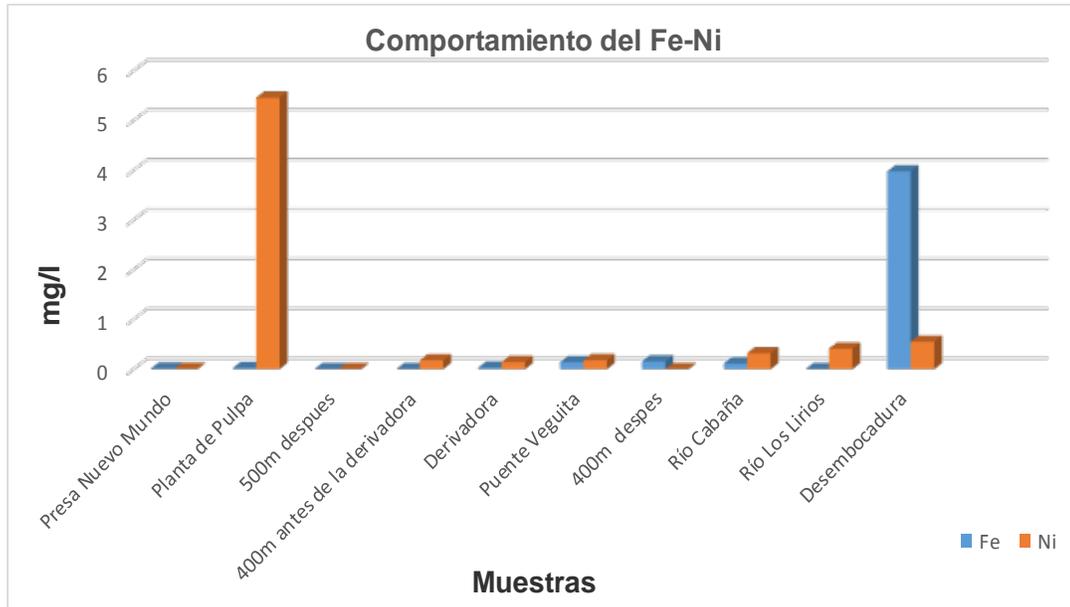


Gráfico 3.9 Comportamiento de los elementos Ni y Fe

El níquel (Ni) aparece con mayor relevancia en la muestra (M2) y (M10). Este elemento se encuentra entre 0,552 y 5,46 mg/l, esto pasa cuando tenemos un agua residual las cuales pueden contener gran cantidad de metales muy pesados en este caso, el Ni es uno de ellos y en el caso de la otra muestra puede ocurrir, porque a medida que estas aguas por las precipitaciones atmosféricas se acercan a la desembocadura aumentando los valores debido a las penetraciones del mar en estas aguas. (Gráfico 3.10)

Comportamiento del Co y Zn en (mg/L)

El Cobalto (Co) según la norma 827-2012 para aguas potables se encuentra con valores por debajo de 2,0; es decir que cumple con el rango establecido, aunque en la muestra (M2) se observa con mayor valor debido a que es un agua residual



proveniente de Planta de Pulpa de la empresa Pedro Soto Alba, la cual contiene varios elementos metálicos dentro de ellos el Co.

Es evidente que el Zn es más soluble en suelos y disoluciones ácidas, pues la solubilidad de este desde el punto de vista de su disponibilidad, disminuye a medida que el pH del suelo se incrementa desde pH 4 hasta un pH 7 (Parker *et, al* (1990).

En este gráfico se observa el Zinc (Zn) como uno de los parámetros con menos notabilidad que los demás, excepto la muestra (M10) se encuentra en mayores concentraciones debido a la incidencia de los contaminantes provenientes del afluente Cabaña, y el escurrimiento superficial desde las zonas de minerías. (Gráfico 3.10).

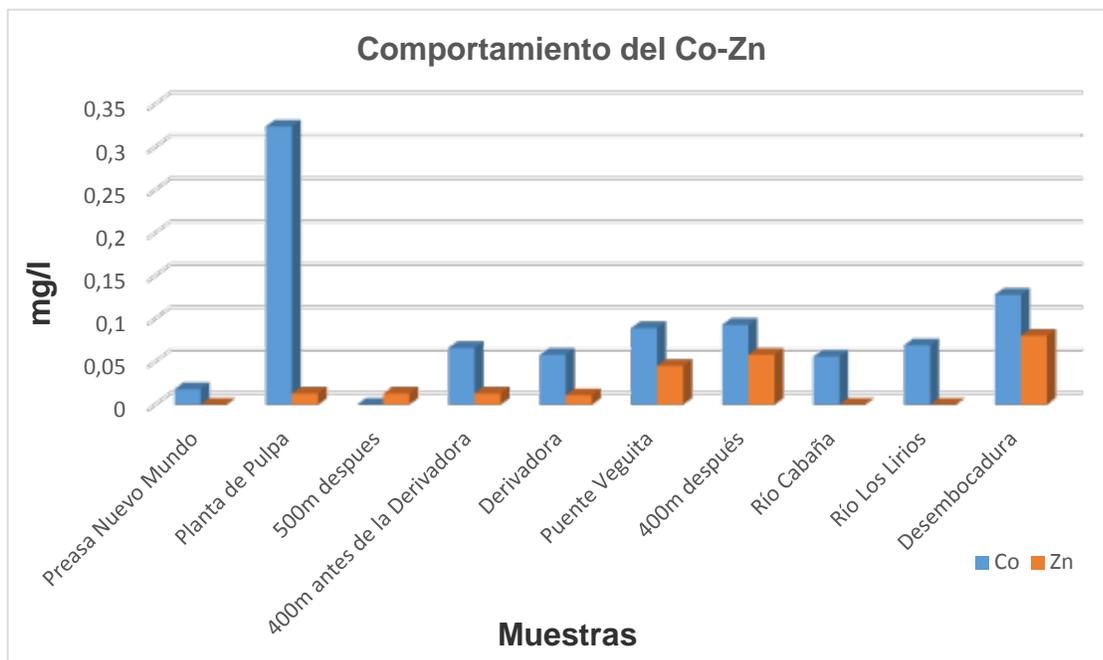


Gráfico 3.10 Comportamiento de los metales (Co-Zn).

Este elemento en el agua se encuentra en forma disuelta y la mayor parte que ingresa al medio natural acuático es depositado en los sedimentos y fuente que intervienen de los procesos mineros, el drenaje de las minas, la cual aportan gran



cantidad de aguas residuales de las industrias cercanas al Río Moa con gran contenido de Zn.

Comportamiento del Cr en (mg/L)

El cromo (Cr) tiene una gran variedad de aplicaciones que abarcan: procesos aleaciones, catalizadores, agentes anticorrosivos, baterías, recubrimientos metálicos etc. Las aguas residuales procedentes de estos procesos están contaminadas con este metal. El cromo (Cr) en el gráfico se observa con mayor preeminencia en las muestras (M2) y (M10) Con 0,128 y 0,1324 este tiene contacto con el agua producto a través de los procesos naturales y la actividad humana que son aplicadas en las labores industriales. (Gráfico 3.12)

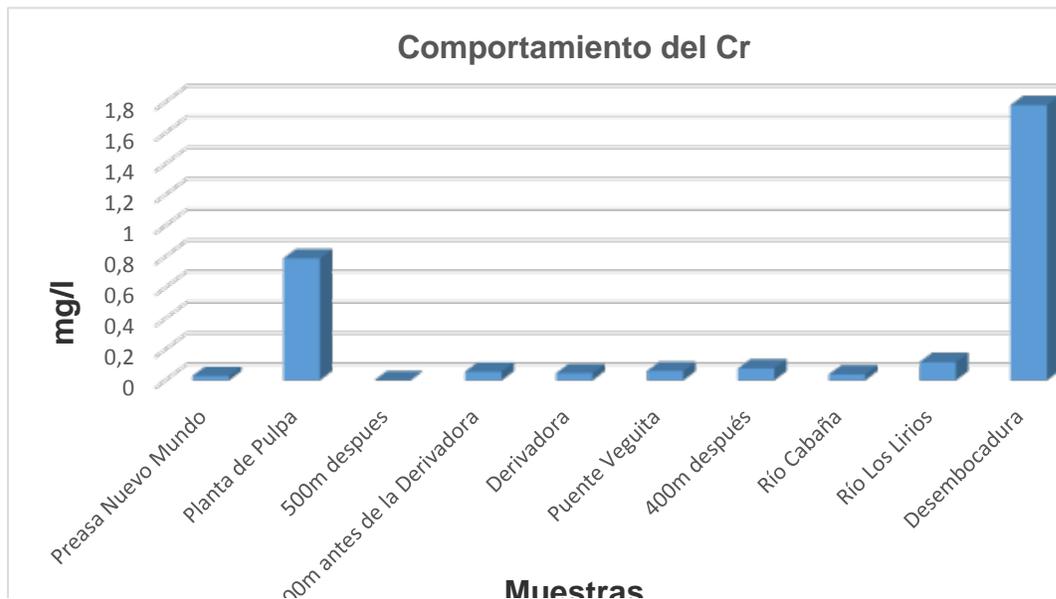


Gráfico 3.11 Comportamiento del Cr en las aguas del río Moa

3.3. Clasificación de las aguas por su composición química.

3.3.1. Clasificación de las aguas por su Dureza total. (mg-eq /l)

No existen efectos perjudiciales para la salud por consumir agua dura o blanda, pero de la presencia de aguas duras resultan dos consecuencias económicamente importantes: (1) las aguas duras requieren considerablemente más cantidad de



jabón para formar espuma y limpiar materiales en comparación con las aguas blandas, y (2) las aguas duras normalmente precipitan a los carbonatos en los sistemas de tuberías a temperaturas altas. En el gráfico se observa que las muestras con mayor dureza son las (M2) y (M10) por el grado de contaminación (descargas de aguas residuales). Las muestras del río analizadas presentan una baja dureza, debido a la litología de la zona por cual circulan aguas en suelos con contenidos altos de hierro. La dureza baja es ocasionada fundamentalmente por los bajos contenidos de calcio. (Gráfico 3.13)

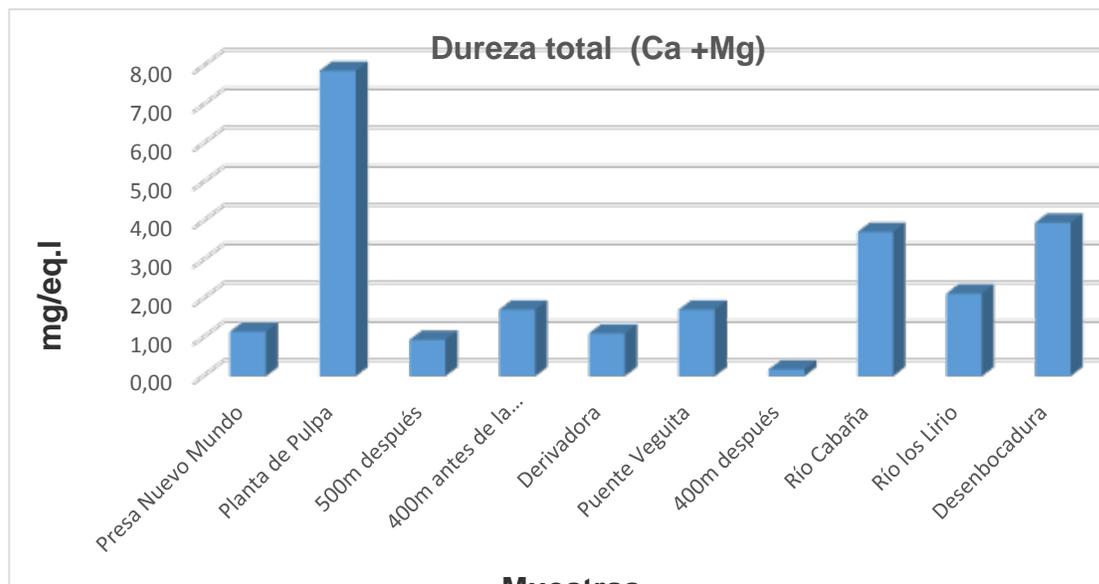


Gráfico 3.12. Dureza Total de las aguas del río Moa

Los carbonatos de calcio y de magnesio son sales comunes cuya solubilidad disminuye con el aumento de la temperatura. No existe efecto perjudicial para la salud por consumir agua dura o blanda, pero de la presencia de las aguas duras resultan consecuencias económicamente importantes. Las aguas duras requieren considerablemente más cantidad de jabón para formar espuma y limpiar materiales en comparación con las aguas blandas.



3.3.2. Clasificación de las aguas por el Índice de Salinidad Marina

En el gráfico observamos el índice de salinidad de cada una de las muestras, y se puede afirmar según los resultados que las aguas que más salinizadas están son las muestras (M4) y (M10) que según su clasificación son aguas salinizadas y están entre los rangos (5,9 - 17,7).



Gráfico 3.13. Clasificación de las aguas por el Índice de Salinidad Marina (ISM).

Estas sales son debidas a las descomposiciones de las rocas donde estas mismas aportan las sales contienen en su interior, y también se debe al contacto de aguas dulces con aguas saladas por procesos marinos que ocurren, también químicamente sabemos que el ion sulfato contribuye a la salinidad de las aguas y se encuentra presente en la mayoría de las aguas naturales, este también forma sales junto con los metales pesados que van disolviéndose poco a poco.

3.3.3 Clasificación de las aguas por su mineralización en el río Moa

La mineralización representa la cantidad de aniones y cationes en el agua es decir su composición iónica.



Los suelos son portadores y productores de las sales minerales. El funcionamiento eficiente de la biosfera artificial a través de la irrigación libera sales buenas y malas del suelo; las sales buenas se van incorporando a la biósfera, mientras que las malas son desechadas junto a las sales antiguas artificiales. En el gráfico la muestra que más salinidad tiene es la muestra (M10), por la cantidad de sales amoniacales procedentes de las aguas contaminadas y por la influencia del mar. Todas estas aguas se clasifican como aguas muy dulces con excepción de la última muestra, que es un agua con salinidad relativa. Estas aguas para la agricultura no son buenas en excepción de la primera muestra que se encuentran en buen estado las demás están expuestas a la contaminación, por lo que dañarían los cultivos.

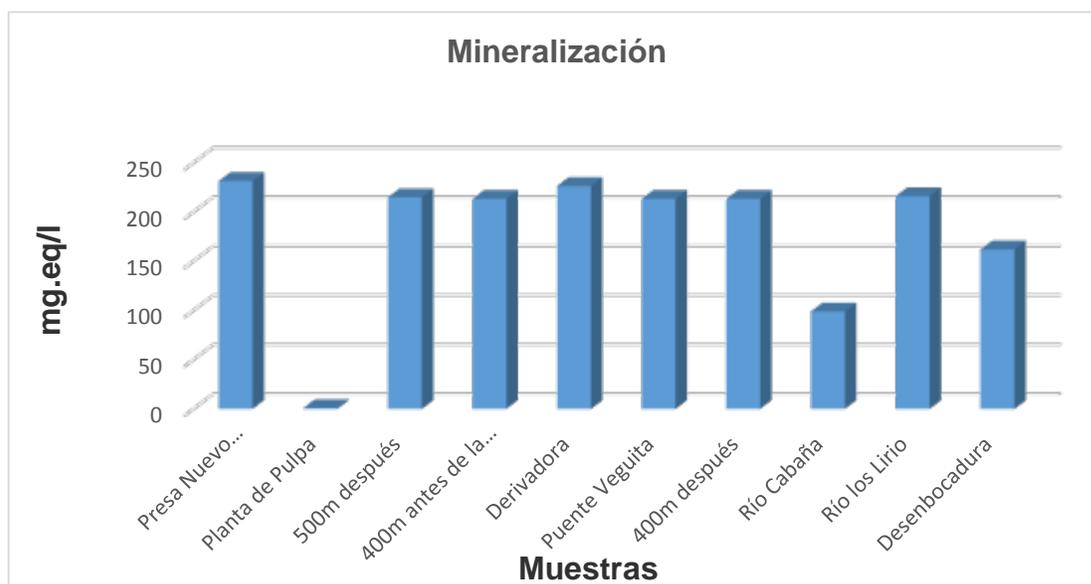


Gráfico 3.14 Clasificación de las aguas por su mineralización según A.M. Ovchínikov.

3.3.4 Clasificación de las aguas del río Moa para su uso en la agricultura por el coeficiente de irrigación (C.I) (Gráfico 3.16)



Gráfico 3.15 Clasificación de las aguas por el coeficiente de irrigación (Ci) de Stables.

En este se observa que todas estas aguas son buenas para la agricultura excepto la de la muestra (M2) que está por debajo del rango establecido, reconociendo que es un agua residual. Evidentemente todas las aguas con excepción de la muestra (M2) son buenas para la agricultura. Estas pueden utilizarse durante largo periodo sin necesidad de tomar medidas especiales contra la acumulación de sales dañinas al suelo, según Stables.

3.4. Evaluación del Índice de calidad del Agua (ICA_{sp})

La evaluación realizada para determinar el Índice de Calidad de las Aguas (ICA) del río Moa, realizado a través de la metodología del ICA de Montoya et. al. (1997). arrojó los siguientes resultados.



Tabla 3.9 Índice de la Calidad del Agua del río Moa por la metodología (Montoya et. 9al. (1997)).

No	Muestra	Clase	Puntuación	Clasificación de las aguas
1	Presa Nuevo Mundo	I	101-120	Agua muy limpia
2	Planta de Pulpa	V	<16	Fuertemente contaminada
3	500m después de la Planta	II	61-100	Inicio de contaminación
4	400m antes de la Derivadora	II	61-100	Inicio de contaminación
5	Derivadora	II	61-100	Inicio de contaminación
6	Puente Veguita	II	101-120	Agua limpia
7	400m después del puente	II	61-100	Inicio de contaminación
8	Río Cabaña	III	36-60	Contaminada
9	Río Los Lirios	II	61-100	Inicio de contaminación
10	Desembocadura	IV	<16	Muy contaminada

Tabla tomada de la revista: Ingeniería hidráulica y ambiental para evaluar los Índices de Calidad del Agua Superficiales (ICA_{sp}). (Naranjo et, al, 2015)

En general podemos ver que estas aguas se encuentran en distintos rangos según el rango de clasificación. La 1ra y la 6ta muestra están aptas para el consumo ya que está en el rango establecido según lo muestra la tabla de calidad del agua. En el caso de la muestra (M6) es menos aceptable que la M1.

La 2da y la última muestra M(10) está muy contaminada ya que una de ellas fue tomada de los depósitos de drenaje de la Planta de pulpa, por lo que es un agua residual y la ultima es porque se encuentra cerca de la desembocadura en donde también se unen todos sus afluentes y por su situación geológica, está en áreas de riesgo en donde la contaminación es muy abundante, producto al grado de toxicidad de aguas residuales y sólidos que llegan por sistemas de drenaje al río, debido principalmente a la industria del níquel Ernesto Che Guevara. Las demás muestras se encuentran en principios de una contaminación, en algunos casos se observan más contaminados que otras lo que indica que no fueron extraídas de un mismo sitio, y su contaminación se debe a distintas fuentes que lo provocan.

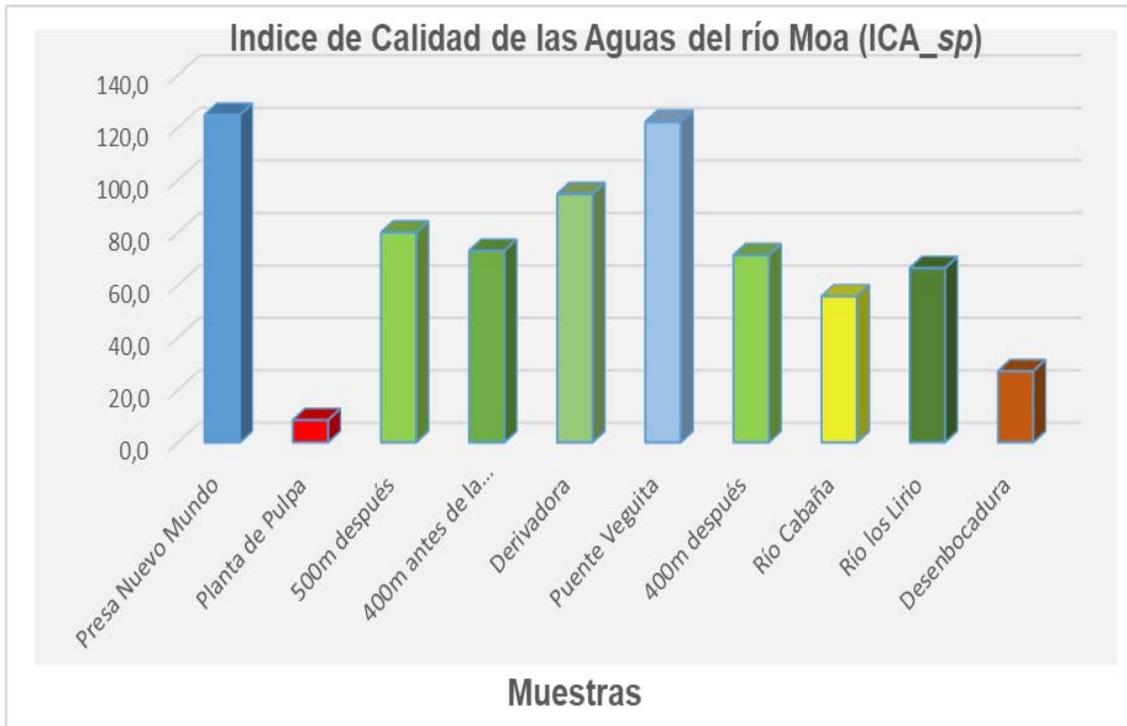


Gráfico 3.16. Evaluación del Índice de Calidad de las Aguas Superficiales (ICA_sp) en la cuenca del río Moa.

A continuación, se observan cada uno de los puntos de monitoreo y focos contaminantes representados en el Mapa hidroquímico 3.1

En este mapa aparecen representados las zonas de contaminación pertenecientes a las áreas de labores mineros, cuyos suelos se encuentran deformados por el proceso de la extracción de minerales.



3.4 Plan de acción de medidas de mitigación en la cuenca del río Moa.

Tabla 3.9. Plan de acción de medidas de mitigación en la cuenca del río Moa.

FUENTES CONTAMINANTE	SITUACIÓN QUE PRESENTA	ACCIONES	RESPONSABLE	EJECUTA	FECHA CUMPLIMIENTO
Asentamientos Urbanos y Rurales. (afecta río Moa, la presa Nuevo Mundo y la bahía)	No cuenta con sistema de tratamiento adecuado	Construcción de 268 letrinas, ubicadas en los siguientes Consejos Populares (Farallones y Calentura). Construcción de 62 letrinas ecológicas	UEB ACUEDUCTO , DMV Y IPF	Umbrales, ECOPP y Brigadas. Constructora ECI- 3	2020
		Construcción de Registros de Alcantarillado y tapas para registros.	EAAH	Brigada Mantenimiento UEB Acueducto y Alcantarillado.	Plan de inversiones 2019
		Mantenimiento a redes de Alcantarillado, desobstrucciones, Sustitución tramos de redes en mal estado.	EAAH, UEB Acueducto y Alcantarillado.	Brigada Mantenimiento UEB Acueducto y Alcantarillado.	Plan de inversiones 2019
Despulpadora de café ubicada en Farallones. (afecta río Moa y la	Deterioro del sistema de tratamiento de residuales.	Inversión de la laguna de estabilización (muro de contención y lechos filtrantes).	MINAGRI	MINAGRI	2018



presa Nuevo Mundo					
-------------------	--	--	--	--	--

Continuación. Tabla 3.9. Plan de acción de medidas de mitigación en la cuenca del río Moa.

FUENTES CONTAMINANTE	SITUACIÓN QUE PRESENTA	ACCIONES	RESPONSABLE	EJECUTA	FECHA CUMPLIMIENTO
Che Guevara Residuales Planta de Hornos y Termoeléctrica	Descarga directa al río Moa y la bahía sin tratamiento	Inversión en preparación	Cubaníquel	Fca. Che Guevara	2018-2020
		Secador de Sulfuro en proceso de ejecución	Cubaníquel	Fca. Che Guevara	2016-2018
Deforestación	Áreas deforestadas por las actividades mineras	Trabajo de reforestación de las áreas afectadas	Cubaníquel	Empresas involucradas y otros organismos	2016-2020
		Educación ambiental a los trabajadores y pobladores			

3.10 Valoración económica de los trabajos realizados.

El costo de los análisis realizados en el laboratorio del Centro de Investigación de las lateritas de la potabilizadora de la E.C.G se muestra en la Tabla 3..

Tabla 3.11 Costo en CUC y MN de los análisis realizados en el Laboratorio del Centro de Investigaciones del Níquel.

Parámetros	Costo de los Análisis en CUC.	Costo en MN	Cantidad de muestra	Costo de las muestras en CUC.	Costo Total MN
Color	0,45	2,00	10	4.50	20.00
Turbidez	0	0,35	10	0	3,50
Calcio	2,31	2,50	10	23.10	25.00
.Magnesio	0	5,55	10	0	55,5
pH	0,47	2,10	10	4.70	21,10
Cloruro	0,46	17,75	10	4.60	177,5
Sulfato	2,07	5,25	10	20,7	52,5
Hierro	1,99	9,45	10	19,9	94,5
Sodio	1,57	9,20	10	15,7	92,0
Potasio	0	8,30	10	0	83,0
Nitrito	1,25	16,10	10	12,5	161,0
S.T.D	0,35	10,40	10	3,50	104,0
DQO (Materia	3,75	17,95	10	37,5	179,5
Conductividad	0,35	1,80	10	3,50	18,00
Costo total	15,02	108,7		150,2	1087.00



Tabla 3.3 Tabla de costo de los trabajos realizados.

Actividad	Norma (Días)	Precio MN
Recopilación de la información	3,46	155,7
Programa de investigación	1,73	43,25
Recorrido de campo (rutas)	14,59	1094,25
Muestreos	5,5	2497
Trabajos de Gabinete	11,54	807,8
Informe final	2,89	89,59
Total	39,71	4687,59



CONCLUSIONES

1. Las principales fuentes de contaminación que afectan las aguas del río Moa, según los resultados obtenidos lo constituyen los vertimientos de residuos sólidos de las industrias del níquel, aguas amoniacales y ácidas (licor wl), residuales (aguas y lodos) de Planta de Pulpa de la Empresa Pedro Soto Alba Moa Níquel SA. Además, arrastre de sólidos en suspensión debido a la deforestación de grandes áreas por la minería. Otra fuente de contaminación la constituyen los viales cercanos a la cuenca y la presa de residuos.
2. Las aguas según su composición química por su dureza total se clasifican en aguas blandas y aguas algo duras, por su pH son aguas neutras y básicas con excepción de la muestra (M10) que se caracteriza por ser un agua ácida de pH=3. Por su mineralización se clasifican en aguas dulces, excepto la muestra (M2) cuya agua es residual de la Planta de Pulpa. Según el Coeficiente de Irrigación son buenas para la agricultura y pueden ser utilizadas durante largos periodos. No existe contaminación bacteriológica, se necesita tratamiento de potabilización con los diferentes procesos de cloración, coagulación, sedimentación, clarificación y desinfección para ser utilizada como aguas de consumo humano.
3. La metodología empleada para evaluar la calidad del agua es un método eficaz en caracterización del objeto de estudio. Por el Índice de Calidad del Agua (ICA) son aguas que en su mayoría son de clase II, que corresponde según la clasificación a los "inicios de contaminación". El agua de la Presa Nuevo Mundo es un agua de clase I y se clasifica en "agua limpia o no contaminada". Las aguas cercanas al Puente Che Guevara se encuentran "muy contaminada" según los resultados del ICA se llegó a la conclusión de que no pueden ser usadas en la comunidad.
4. Se elaboró un plan de medidas con acciones a cumplir por las entidades involucradas para la mitigación de la contaminación del área en las aguas



del río Moa. Y los gestores de cuencas hidrográficas, el Gobierno y las empresas tengan un accionar y cumplir con la Estrategia Ambiental Municipal.



RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar controles sistemáticos mensuales de las características físicas-químicas que definen la calidad del agua y continuar realizando muestreos en las aguas en los puntos establecidos.

- ❖ Realizar inspección higiénica sanitaria en estas aguas, con el fin de tomar las medidas necesarias y profundizar sobre las causas que provocan el deterioro de su calidad.

- ❖ Realizar trabajos de educación ambiental en la comunidad mediante proyectos de extensión universitaria con la participación especial de estudiantes de geología.



BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Alex Javier Cardona Turrialba (noviembre, 2003). Calidad y riesgo de contaminación de las aguas superficiales en la microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. Costa Rica, Escuela De Posgrado Manejo Integrado De Cuencas Hidrográficas. Magister Scientiae.
- ❖ APHA, AWWA, WEF. Standard methods for examination of wastewater descried. I.S.A.E. Greenberg y A.D.S. Eaton (editors). 9 ed., 1995
- ❖ Aldana Aguilar, M. L. (2013). Determinación de los índices de calidad de agua del río Cucaba y la influencia en los costos de tratamientos de potabilización.
- ❖ Calla, C. (2008). "Calidad del agua en la cuenca del río Rímac."
- ❖ BATISTA, J.A. Características geológicas y estructurales de la región de Moa a partir de la interpretación del levantamiento aereomagnético 1:50 000. Tesis de Maestría. Dpto. de geofísica. ISPJAE. La Habana, 1998.
- ❖ BEVERLY L., HERZOG. Hydrogeology and Groundwater Availability in Southest mclen and Sauthest Tazeuell Counties. Part 1: Aquifer Characterization. Illinois: Illinois State Water Survery, 1995. 70p.
- ❖ BRASSINGTON, R. Field Hydrogeology. London: Geological Society of London, 1996. 175 p.
- ❖ Calidad de las aguas superficiales. [2010-03-15]. Disponible en: http://www.mma.es/info_amb/estado_ma/coyunt/sintesis02/pdf/pto33_sintesis
- ❖ Carreño-Vega. B; González-Febles M.J (2005) Universidad Agraria de La Habana. La investigación de suelos erosionados: Métodos e Índices de Diagnóstico. ISSN 0258 5979 Minería y Geología v. 21 n. 2, 2005.
- ❖ CHACON, IBETTE. Características hidrogeológicas, hidroquímica, y bacteriológicas de la ciudad de Moa. Trabajo de Diploma. ISMM. Moa, 1991
- ❖ CITMA 2002B. Proyecto de Gestión integrada de cuencas hidrográficas (resumen). La Habana, CIGEA.



- ❖ Diccionario enciclopédico del agua. [2010-03-25]. Disponible en: <http://www.aguamarket.com/diccionario/resultados>
- ❖ DOCAMPO, L. Calidad física de las aguas del Río Vasco. Tecnología del agua, mayo 1997, 164: 26-34
- ❖ ENTREMERA PALACIOS, J. Calidad del agua en la cuenca alta del río Miño. Tecnología del agua, octubre 1996, 158: 64-71
- ❖ Estudio Diagnóstico de la cuenca del río San Juan y lineamientos del plan de acción. [2012-03-15]. Disponible en:
<http://www.oas.org/usle/publications/unit/oea05s/beging.htm>
- ❖ Fadel–Morabish. Evaluación preliminar y caracterización de la manifestación de caolinitas en la zona de Cayo Guam, Moa. Tesis de diploma. 2009.
- ❖ FERNANDEZ, M. Evaluación de la calidad de las aguas de consumo humano en la zona urbana del municipio de Moa. Tesis de Maestría. ISMM. MOA. 2003.
- ❖ FERNANDEZ, M. Impacto ambiental por contaminación de las aguas subterráneas y superficiales en el municipio de Moa. CINAREM' 2013.
Fuentes y mecanismos de contaminación por nitratos. Ingeniería civil y medio ambiente. [2009-03-15]. Disponible en:
<http://www.miliarium.com/socios/boletin.asp>.
- ❖ FERNÁNDEZ- RODRÍGUEZ. Y. Factores que influyen en la desertificación en el sector Cerro Miraflores- Playa La Vaca, municipio Moa. Tesis de Maestría. 2012.
- ❖ García Dannier. Q. Análisis de los factores de degradación de los suelos en la cuenca del Río Cayo Guam. Moa. Tesis de Diploma. 2013. Geología ambiental. Universidad de Atacama. [2010-04-21].
<http://www.lwrn.net/chilee.htm>



- ❖ García, M. d. C. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina).
- ❖ Gascó Montes, J. M. (2007). Estudio Estadístico de la calidad del agua en la cuenca hidrográfica del Ebro.
- ❖ GODÉ LUIS. Redes automáticas del control de la calidad de las aguas Superficiales: Residual Urbana. Tecnología del agua, septiembre 1997, 168: 23-32
- ❖ González Meléndez, V. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINUS y BMWP. Gestión y Ambiente.
- ❖ Gramajo (2004). "Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial."
- ❖ HERRERA, DAVID. Evaluación preliminar de las características físico-químicas y contaminación ambiental de las aguas del río Cabañas. Tesis de Diploma. ISMM. Moa, 2000.
- ❖ JIMÉNEZ, M. A. (2006). Análisis Comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial V. M. Vélez.
- ❖ JOVELA SALDAÑA, PILAR; ERIC LOPEZ GUTIÉRREZ; JESÚS CABRERA GARCÍA. Evaluación de la calidad del agua del río Chalma, Estado de Morelo. Revista de contaminación ambiental, 1993, 9 (3): 32-35
- ❖ LOACHES, J.L.; M.C. AGUILAR. Calidad de las aguas del río Henares en el tramo Guadalajara Azuqueta de Henares. Tecnología del agua, julio y agosto, 1996, 154-155: 33-39
- ❖ Márques Canosa, E. (2008). Fundamentación teórica para el establecimiento de un Índice de Calidad del agua.



- ❖ Methods for chemical analysis of water and waster. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency, 1983.
- ❖ MIGUEL FERNÁNDEZ, C DE. Hidrogeología Aplicada. (2 da. Edic). Edit. Félix Varela, La Habana, 2008. 453p.
- ❖ MIGUEL FERNÁNDEZ, C DE. Hidrogeología Aplicada con Aspectos Ambientales. Edit. EDUM, Moa, ISMM, 2012. 374 p. Disponible en; <http://www.ismm.edu.cu/edum>
- ❖ MIGUEL FERNÁNDEZ, C DE. Hidrogeología General. Moa, ISMM, 2009. 4 p. Disponible en; <http://www.ismm.edu.cu/edum>
- ❖ Milan-Milan.E; Carcases-Ulloa; Krebs-Jornada S.A, Ferrer-Rosario (2012). Procedimiento para la rehabilitación minero-ambiental de yacimientos piríticos polimetálicos cubanos *Minería y Geología* / v.28 n.4 / octubre-diciembre / 2012 / p. 20-40 ISSN 1993 8012
- ❖ MOHAMED, ABDEMULA. Evaluación de las reservas de explotación de las aguas subterráneas de las terrazas del río Moa. Tesis de Diploma. ISMM. Moa.2001.
- ❖ Monografía sobre la contaminación del agua. [2011-03-15]. Disponible en: <http://alipso.com/monografias/contaminaciondelagua>.
- ❖ MONTES DE OCA, A Impactos ambientales producidos por la actividad minera. 2008.
- ❖ MONTES DE OCA, A. Rehabilitación de zonas afectadas por la minería. Impacto al medio acuífero y su mitigación. 2008.

Milan-Milan. E; Carcases-Ulloa; Krebs-Jornada S.A, Ferrer-Rosario (2012). Procedimiento la rehabilitación minero-ambiental de yacimientos piríticos polimetálicos cubanos *Minería y Geología* / v.28 n.4 / octubre-Diciembre / 2012 / p. 20-40 ISSN 1993 8012.



- ❖ MUNNÉ, A; N. PRAT. Calidad y Calidad biológicas de las aguas del río Anoa. Tecnología del agua, enero 1997, 160: 32-46.
- ❖ MUÑOZ, JOSÉ N. Geoquímica y Mineralogía de la Mineralización Cromífera Asociada al Complejo Ofiolítico en la Región de Moa-Baracoa, Cuba. Tesis en opción al grado Científico de Doctor. ISMM. Moa, 2001.
- ❖ NC 827-2010 (CUBA). Agua potable, Requisitos sanitarios. Vigente diciembre 2010.
- ❖ NC -93-02: 1985 (CUBA). Higiene comunal, Agua potable. Requisitos Sanitarios y muestreo. Aprobada octubre 1985. Vigente marzo 1986.
- ❖ NC 93-01-210: 1987 (CUBA). Requisitos generales para la protección de las aguas superficiales y subterráneas por petróleo y sus derivados. Aprobada Junio 1987. Vigente Junio 1988.
- ❖ NC 93-01-206:1988 (CUBA). Franjas forestales de las zonas de protección a Embalses y cauces fluviales. Aprobada marzo 1988. Vigente Sept. 1986.
- ❖ NC 93-03: 1985 (CUBA). Sistemas de abastecimiento de agua. Requisitos sanitarios. Aprobada Dic. 1985. Vigente Sept. 1986.
- ❖ OSCAR A; CLARIBEL GOMEZ. Valoración Preliminar sobre la calidad de las aguas subterráneas y superficiales y la erosión hídrica en la cuenca del río Moa. Trabajo de Diploma. ISMM. Moa. Facultad de Geología-Minería. 1993.
- ❖ Patricia torres, C. H. C., Paola Janeth Patiño*** (julio -diciembre de 2009/150). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Revista ingenierías Universidad de Medellín. Medellín, Colombia vol. 8.
- ❖ Patiño, P. T. C. H. C. P. J. (July 2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Revista Ingenierías Universidad de Medellín vol.8
- ❖ Rodríguez Miranda, J. P. (2014). Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos.



- ❖ "Pedro Soto Alba". Trabajo de diploma. ISMM. Moa. Facultad de Geología y Minería, 1992. Patiño, P. T. C. H. C. P. J. (July 2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Revista Ingenierías Universidad de Medellín Medellín vol.8
- ❖ PEÑA A, ANGIE ESTUPIÑAN. Caracterización físico-química de las aguas Subterráneas que sirven de abasto a los repartos: La Playa, Haití Chiquito, Los Mangos, Joselillo y Pueblo Nuevo de la ciudad de Moa. Trabajo de Diploma. Facultad de Geología-Minería. 2002. ISMM. Moa.
- ❖ PEREZ, A. Caracterización de las aguas de consumo humano en los Asentamientos rurales del suroeste de Moa. Trabajo de diploma. ISMM. Moa. Facultad de Minería y Geología, 1999. 43p.
- ❖ PEREZ R., MARIA ROSA. Evaluación preliminar de los focos contaminantes, escurrimiento superficial e impacto ambiental en el entorno de la fábrica.
- ❖ Rodriguez Miranda, J. P. (2014). Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos.
- ❖ PILETA, A. Estudio de las aguas del Delta del Río Moa. Trabajo de diploma. ISMM. Moa. Facultad de Geología-Minería, 1989.
- ❖ Población ecología y medio ambiente. Universidad de Navarra. Contaminación del agua. [2013-03-13].
<http://www.1.ceit.es/asignaturas/ecologia/hipertexto/ilcagua>
- ❖ QUINTAS, FELIX. Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia de Guantánamo y áreas cercanas.
Tesis de Doctorado. 1989. ISMM. Moa.
- ❖ RIVAS, NIURKA. Estudio morfotectónico del área Moa – Cabañas. Trabajo de diploma. ISMM. Moa. Facultad de Geología y Minería, 1992



- ❖ RODRÍGUEZ INFANTE, ALINA. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de los riesgos de génesis tectónica. Tesis de Doctorado. ISMM. Facultad de Geología y Minería. Moa, 1988
- ❖ REGALADO. Z (2011) "MEDIDAS CONTRA LA DESERTIFICACIÓN Y LA SEQUÍA EN PINAR DEL RÍO",
- ❖ Standard methods for the examination of water and wastewater. 19 ed. New York: American Public Health Association, 1995
- ❖ Sucoshañay, D. J. (2015). Evaluación de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca del río Puyo de la amazonia ecuatoriana a partir de un índice integrador. R. V. Abril Saltos.
- ❖ Sucoshañay, Villalba, D. J. (2017). Evaluación de la calidad de las aguas de los diques turísticos en la subcuenca del río puyo, mediante el uso del ICATEST V1.0.
- ❖ Valcarcel Rojas, L. (2009). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos.
- ❖ Sustancias contaminantes del agua. [2011-03-15]. Disponible en:
<http://www.1.ceit.es/asignaturas/Ecologia/hipertexto/llcagua>
- ❖ TERRERO ABELLA. A. Evaluación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en la cuenca del río Moa, Cuba, por efecto de la actividad minero metalúrgico. En: Aspectos Geológicos de protección ambiental Volumen II. Uruguay: Oficina regional de ciencia y tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe, 1995. p. 143-146.
- ❖ RICARDO, TATIANA. Evaluación físico química y bacteriología e impacto ambiental del río Aserrío. Tesis de grado. 2006. ISMM. Moa.



Anexos

Anexo 1 cap 2 . Descripción de cada uno de los puntos muestreados durante la investigación.

Muestra (M1)

La Presa nuevo mundo constituye ser el mayor embalse de la provincia, contando con un 82 por ciento de la franja hidrorreguladora de cien metros establecida para su protección con terreno virgen. Se puede señalar que al sur a unos 500 metros se realizan labores agrícolas, fundamentalmente en la producción de plátanos, frutas y café, pero no constituyen peligro para la obra. Se encuentra ubicado a 5 km aproximadamente desde la entrada de la industria Pedro Soto Alba, atravesando por medio de las minas y cerca de la Planta de Pulpa. La muestra fue tomada a las 9:40 am. Se observa una litología con la formación de gabros, tobas y serpentinas que se hallan un poco alteradas por efectos erosivos entre otros procesos. Las coordenadas son: X: 698 423 Y: 225 740.



Figura 2.1 Presa Nuevo Mundo

Muestra (M2)

La Planta de pulpa se encuentra ubicada desde la Presa a unos tres km aproximadamente, esta empresa se encarga del proceso y lavado de los minerales que son extraídos, lo que indica que son aguas residuales que podrían llegar a ser un tipo de foco contaminante y afectar a cualquier río cercano a esta zona.



Figura 2.2 Planta de pulpa



Figura 2.3 Pozos por donde circulan las aguas recicladas.

Según los ingenieros y especialistas de este centro afirman que estas aguas no afectan a ríos cercanos ya que durante el proceso de purificación o lavado de sus muestras el agua que queda es reciclada por medio de un sistema de tuberías y pequeños pozos que se encuentran conectados entre sí dirigidos directamente a la empresa suministradora. Hacia los alrededores hay escasa vegetación ya que se encuentra en una zona minada. La muestra fue tomada a las 9:40 am en el dique de la Planta, con el objetivo de probar si en verdad estas aguas pueden afectar al río cercano, que según los compañeros de allí afirman que en tiempos de muy altas precipitaciones podrían llegar al río cabaña. Consideramos que si existe contaminación al río Moa por arrastre de sedimentos con las precipitaciones.

Muestra (M3)

Después de la Planta de Pulpa tomada en río este punto se encuentra a unos 500 m de la Planta de pulpa, en este se observa abundante vegetación, hacia las orillas se observan sedimentos producto a las acumulaciones de materiales arcillosos que son arrastrados por las corrientes del río.



Figura 2.4. En el río a unos 500 m después de la Planta de pulpa.

Muestra (M4) Antes de la Derivadora (400m)

En este punto se observa amplia vegetación por lo que es muy característico de los ríos de la zona. Existe acumulaciones de sedimentos que son arrastrados por el mismo río y se depositan hacia la orilla que llegan de las zonas de los frentes de minería, predomina la litología de la zona. La muestra fue tomada a las 10.02 am.

Muestra (M5) Derivadora

En este punto se encuentran las aguas que son captadas para el consumo humano por la planta potabilizadora perteneciente a la fábrica ECG. Estas aguas son tratadas por los diferentes procesos de tratamiento: captación, coagulación, floculación, sedimentación, clarificación y desinfección. Presenta elevada turbidez, sólidos suspendidos y materia sedimentable que son arrastrados por las intensas lluvias, lo que provoca mayor consumo de reactivos químicos en el proceso de tratamiento.

Esta muestra fue tomada a las 7.00 de la mañana, se aprecia baja turbidez y color aparente, se considera que influyó al horario de la toma de muestra y poca



afectación por precipitaciones. Los viales son una fuente de contaminación importante en este punto.

Muestra (M7) Después del puente Veguita a 400 m.

Encontramos un área con abundante vegetación. En algunas partes del río se observan acumulaciones de sedimentos que han sido depositados por las corrientes de las aguas de este, tales como sedimentos areno-arcillosos. El tipo de cortezas es bien característico comparado con los demás, por la presencia de los suelos serpentinizados con gran contenido de Fe, Cu, y otros metales pertenecientes a este tipo de litología.



Figura 2.5. 400 m después del puente Veguita

Muestra (M8) Río Cabaña

El río Cabaña, aunque no es parte de los puntos de muestreo, pero sabemos que pertenece al río Moa ya que es uno de sus afluentes. Aunque hay que reconocer que estas aguas son contaminadas ya que han sido analizadas en estudios realizados en años anteriores, este punto fue tomado como uno de las fuentes contaminantes del río Moa.



Figura 2.6 Río Cabaña

Muestra (M9) Río Los Lirios

Este se encuentra a uno 2km hacia sw de la empresa Che Guevara, este punto está cerca de un puente pequeño donde se intersectan los dos ríos. Trae contaminación de partículas en suspensión lo que le confiere al agua del río Moa alta turbidez, valores color y conductividad, así como metales pesados.



Figura 2.7 Río Los Lirios

Los Lirios con el río Cabaña dirigiéndose al río principal (rio Moa). Esta zona se encuentra bien erosionada por la gran acumulación de sedimentos que son depositados hacia la orilla. La vegetación solo está presente al otro lado del río. La muestra fue tomada a las 11:00 am tiene coordenadas: 206 381N y 748 983W



Muestra (M10)

Puente Che Guevara en este punto se observa abundante vegetación en las dos partes del río, también vemos la unión de los demás ríos que van hacia la desembocadura, estos traen gran cantidad de materia orgánica y sedimentos de restos de rocas y. Está situado a 100m de la empresa a Ernesto Che Guevara. Fue tomada a las 11:45 am y tiene coordenadas: 206 469N y 748 857W



Figura 2.6. Río Moa. (Desembocadura)



Tabla 2.6. Funciones de los subíndices del ICA utilizado según Montoya *et. al.* (1997). Anexo 2 cap. 2

Parámetros	Ecuación	Ponderación
1.Oxígeno disuelto	$I=(100)(7,86)/14,49-0,384T+0.064T^2$	5.0
Parámetros	Ecuación	Ponderación
2.DBO	$I=120(2,39)^{0,673}$	5.0
3.Coliformes totales	$I=97,5(1,800)^{0,270}$	3.0
4.Coliformes fecales	$I=97,5(5*1,800)^{0,270}$	4.0
5.Conductividad	$I=540(571,6)^{-0,379}$	1.0
6.Cloruros	$I=121^{0,223}$	0.5
7.Dureza total	$I=10^{1,974-(0,00174*238)}$	1.0
8.Alcalinidad	$I=105(176,3)^{0,185}$	0.5
pH<7	$I=10^{0,2336+0,440}$	1.0
9. pH=7	$I=100$	1.0
pH>7	$I=10^{(4,22-0,293(8,2))}$	1.0
10.Aceites y grasas	$I=87,25(17,1)^{0,298}$	2.0
11.Sólidos suspendidos	$I=266,5(446,3)^{-0,37}$	1.0
12.Sólidos disueltos	$I=109,1-0,0175(79,6)$	0.5
13.Detergentes	$I=100-16,68(0,2)+0,161(0,2)^2$	3.0
14. Fosfatos	$I=34,215(0,2)^{0,460}$	2.0
15.Nitrógenos en nitrato	$I=62,2(0,2)^{343}$	2.0
16.Nitrógeno amoniacal	$I=54,8(1,28)^{343}$	2.0
17.Color pt -co	$I=123(25)^{-0,295}$	1.0



18. Turbiedad	$I=108(7,23)^{-0,178}$	0.5
---------------	------------------------	-----

Tabla 3.7 Análisis de las propiedades químicas en cada muestra. Anexo 3 cap. 3

Muestras	Concent.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
M1	mg/l	2,89	12,22	5,29	2,81	9,16	20,0	64,00	0,00
	mg-eq/l	0,14	1,00	0,23	0,07	0,26	0,66	1,05	0,00
M2	mg/l	77,72	48,64	60,1	2,85	33,5	0,00	8,00	1542,4
	mg-eq/l	3,88	4,00	2,61	0,07	0,94	0,00	0,13	32,08
M3	mg/l	0,00	11,37	5,99	10,1	9,40	0,00	72,00	0,00
	mg-eq/l	0,00	0,93	0,26	0,26	0,27	0,00	1,18	0,00
M4	mg/l	4,00	18,47	5,32	2,87	10,1	2	62	15,93
	mg-eq/l	0,19	1,52	0,23	0,07	0,28	0,06	1,02	0,33
M5	mg/l	4,00	11,00	4,00	1,00	7,00	6,00	55,00	0,00
	mg-eq/l	0,20	0,90	0,17	0,03	0,20	0,20	0,90	0,00
M6	mg/l	m,20	18,95	6,48	3,89	9,64	3	66	19,06
	mg-eq/l	0,16	1,55	0,28	0,09	0,27	0,09	1,08	0,39
M7	mg/l	3,25	0,156	6,96	4,93	9,64	3	68	20,58
	mg-eq/l	0,17	0,02	0,31	0,13	0,27	0,09	1,12	0,43
M8	mg/l	25,71	29,67	13,3	0,75	19,2	0,00	0,00	75,46
	mg-eq/l	1,28	2,44	0,58	0,02	0,54	0,00	1,80	1,57
M9	mg/l	7,66	21,29	3,74	0,40	9,88	0,00	36,00	64,21
	mg-eq/l	0,38	1,75	0,16	0,01	0,28	0,00	0,59	1,34



M10	mg/l	10,95	41,49	7,22	0,19	12,0	0,00	0,00	764,7
	mg-eq/l	0,55	3,41	0,31	0,00	0,34	0,00	0,00	15,91

