



INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALÚRGICO DE MOA
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMÉNEZ

Facultad: Geología y Minería

Departamento de Geología

Trabajo de Diploma

Para optar por el Título de

Ingeniero Geólogo

**Título: Riesgos ambientales por contaminación
en las aguas superficiales del río Moa**

Autor: Yalennys Yolanda Fernández Fis

Tutor (es): Ms.C Moraima Fernández Rodríguez

Moa 2015 "Año 57 de la Revolución"



Pensamiento:

*“No son los golpes ni las caídas las que hacen
fracasar al hombre, sino su falta de voluntad
para levantarse y seguir adelante.”*

Agradecimiento:

Agradezco...

En primer lugar a dios por haberme permitido llegar hasta aquí, aun cuando nadie creía en mí.

A mi mama en especial por ser mi guía en todo momento.

A mi novio Urnifred Gregory Naval, por ser la persona con más paciencia y valores que he conocido jamás, por su dedicación y entrega para que hoy llegara hasta aquí.

A todos mis compañeros de aula por enseñarme a levantarme las veces que fueran necesarias y seguir adelante en especial a Dailena, Mariana, Miguel Ángel Goris, Orlando, Raquel, David y Dihosvanis.

A mis amigos: Josias, Laurent, Benito, Arsenio e Indira por haber influido de una manera u otra en mi desempeño educacional, por sus consejos y preocuparse por mí.

Al departamento de profesores en general por haber formado parte en mi formación como ingeniera.

A mi tutora por su entrega y dedicación para la resolución de este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de diploma

A mi familia

A Ilíanet y Michel por recordarme cada día que debo ser su ejemplo.

A todos mis compañeros y amigos.

RESUMEN

El presente trabajo titulado “Riesgos ambientales por contaminación de las aguas superficiales del río Moa, tuvo como objetivo, evaluar los riesgos por contaminación hídrica y su incidencia en el medioambiente. Para la evaluación se tomaron 6 muestras en un tramo de 9 Km hasta la desembocadura y se detectaron las principales fuentes contaminantes. Se midieron parámetros físicos tales como el pH, la conductividad eléctrica, turbidez y color, elementos químicos mayoritarios: Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, Cl^- , Na^+ , K^+ , y metales (Ni , Co , Fe , Zn , Cr_6^+). Se realizó una clasificación de las muestras para diferentes usos como potables y uso en la agricultura. Las muestras estudiadas están caracterizadas por la dureza como aguas blandas hasta aguas muy duras, dulces por mineralización y muy salinizadas a partir de la confluencia con el río Cabaña. Se evaluó la peligrosidad de los diferentes contaminantes y los riesgos a la salud y al medio ambiente, se proponen acciones para la mitigación de la contaminación y se dan a conocer conclusiones y recomendaciones de interés.

ABSTRACT

The present titled work environmental “Riesgos for contamination of the superficial waters of the river Moa, had as objective, to evaluate the risks for contamination hídrica and its incidence in the medioambiente. For the evaluation they took 6 samples in a tract of 9 Km until the outlet and the main polluting sources were detected. Such physical parameters were measured as the pH, the electric conductivity, turbidez and color, majority chemical elements: Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, CL^- , Na^+ , K^+ , and metals (Ni, Co, Fe, Zn, Cr 6+). It was carried out a classification of the samples for different uses like drinkable and to use in the agriculture. The studied samples are characterized by the hardness like soft waters until very hard waters, sweet for mineralización and very salinizadas starting from the fork with the river Cabin. It was evaluated the danger of the different pollutants and the risks to the health and the environment, they intend actions for the mitigation of the contamination and they are given to know conclusions and recommendations of interest.

Índice

Introducción.....	1
Estado del arte:	5
CAPITULO I: LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICO GEOGRÁFICAS, CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	15
1.1. Caracterización socioeconómica de la región.....	15
1.1.1 Clima:.....	16
1.1.2 Características hidrográficas:	18
1.1.3 Geomorfología:	20
1.1.4 Flora y Fauna:.....	23
1.2. Características geológicas e hidrogeológicas de la región de estudio...	24
1.2.1. Características geológicas del área de estudio	24
1.2.2. Características hidrogeológicas del área de estudio.....	26
1.2.3 Tectónica:	28
1.2.4 Estratigrafía y Magmatismo	32
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....	40
2.1 Introducción	40
2.2 Levantamiento hidrogeológico del área de estudio	41
2.3 Reconocimiento de las principales fuentes de contaminación natural y antrópica	41
CAPITULO III. Analisis de resultados.....	49
3.1. Introducción.	49
3.2. Evaluación de las aguas por su composición química y para uso en la agricultura.	51
3.3. Valoración de las propiedades físicas de las aguas del río el trayecto estudiado	53

3.4 Análisis de los resultados de las propiedades físicas-químicas de las aguas del Río Moa. (Tabla 3.2, 3.3 y 3.4)	55
3.5 Análisis de la peligrosidad	78
3.6 Mapa de peligrosidad.....	79
3.7 Efectos tóxicos de los contaminantes críticos. Incidencia en la salud. ...	80
3.8 Riesgos hidrogeológicos provocados por los contaminantes de diferentes categorías que afectan la calidad natural del agua.....	80
3.9 Valoración económica de los trabajos realizados.	81
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFÍA	76
Anexos	72

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales fundamentales, y junto con el aire, la tierra y la energía constituye los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo.

La importancia de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo. Hasta finales del siglo XIX no se reconoció el agua como origen de numerosas enfermedades Infecciosas. Hoy en día, la importancia tanto de la cantidad como de la calidad del agua esta fuera de toda duda.

Constituye parte integrante de todos los tejidos animales y vegetales, siendo necesaria como vehículo fundamental para el proceso de las funciones orgánicas, pero, además, es indispensable para toda una serie de usos humanos que comportan un mayor bienestar, desde la salud y la alimentación, a la industria y al esparcimiento.

El agua se encuentra en la naturaleza con diversas formas y características y cada una de ellas tiene su función dentro del gran ecosistema del planeta Tierra.

En algunas regiones, de todas las actividades antrópicas que afectan al medio ambiente, es la minería la que provoca mayor efecto contaminante sobre las aguas superficiales y subterráneas, seguida de la agricultura. La industria minera genera un gran número de problemas medioambientales, entre los que merecen destacarse, la contaminación de las aguas superficiales por drenaje de aguas ácidas y lixiviado de las minas y las escombreras de residuos mineros ricos en metales pesados. Generalmente la acumulación de estos residuos en las escombreras y presas de estériles se realiza sobre la superficie del terreno provocando una variación de las condiciones hidrogeológicas locales. El agua del residuo, al elevar el nivel freático y consecuentemente las condiciones de recarga y flujo, provocan el desarrollo de un gran número de procesos y reacciones químicas de los diversos contaminantes modificando el equilibrio geoquímico y pueden dar lugar a procesos de oxidación/reducción, especiación/complejación, disolución/precipitación, adsorción/desorción, floculación y digestión de coloides.

En el caso del impacto ambiental de la minería, que constituye la razón de este trabajo, se han realizado importantes investigaciones sobre los efectos

contaminantes provocados por el drenaje de aguas ácidas ricas en metales pesados procedentes del lixiviado de las escombreras y las presas de residuos mineros.

El presente trabajo de diploma se desarrolla en el municipio de Moa, región afectada fundamentalmente por las actividades minero metalúrgicas, causa que a través de los años ha dañado la calidad de los recursos hídricos aquí localizados. El estudio se enmarca en la cuenca del río Moa, por ser área de ubicación de las dos fuentes de abasto. Por una parte las aguas de la Presa Nuevo Mundo y por otra las aguas del río Moa.

Problema:

Afectaciones de las aguas de la cuenca del río Moa por actividades antrópicas que pueden provocar riesgos ambientales y a la salud de los pobladores.

Objetivo general:

Evaluar los riesgos por contaminación hídrica y su incidencia en el medio ambiente.

Objetivos específicos:

Determinar las principales fuentes de contaminación que afectan la calidad de las aguas.

Evaluar las propiedades físicas químicas y bacteriológicas de las aguas del río.

Determinar los posibles riesgos ambientales.

Propuesta de medidas correctoras o de mitigación.

Objeto de estudio:

Las aguas del río Moa.

Hipótesis:

Si se conocen las características físicas químicas y bacteriológicas de las aguas del río Moa, se pueden evaluar los riesgos ambientales producto a la contaminación y proponer un plan de medidas correctoras o de mitigación de la contaminación y las principales zonas vulnerables. Marco teórico conceptual

Peligrosidad: Es la susceptibilidad de un sujeto o elemento expuesto a sufrir pérdidas o daños de los elementos bióticos y abióticos expuestos al impacto de un peligro o fenómeno perturbador de determinada severidad (lluvia, viento, contaminación, incendio, escape de gases, temblor de tierra, entre otros).

Riesgo

Pérdidas esperadas, causadas por uno o varios peligros que inciden simultánea o concatenadamente sobre uno o más elementos vulnerables en un tiempo, lugar y condiciones determinadas.

Contaminación

Es la alteración nociva del estado natural de un medio como consecuencia de la introducción de un agente totalmente ajeno a ese medio (contaminante) causando inestabilidad, desorden, daño o malestar en un ecosistema, el medio físico o en un ser vivo.

Contaminación del agua

Es una modificación de esta, generalmente provocada por el ser humano, que la vuelve impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales y la vida natural.

Agua

Es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Se puede encontrar en estado líquido, sólido y gaseoso. Inodora, insípida, en pequeñas cantidades incolora. Es el componente que más abunda en la superficie terrestre. Es esencial para la mayoría de las vidas, fundamentalmente la humana.

Rio

Es una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado, rara vez es constante a lo largo del año y desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denomina afluentes.

OMS: Organización Mundial de Salud

NC: Norma Cubana

RH: Recursos Hidráulicos

EAA: Empresa de Acueducto y Alcantarillado

ECI: Empresa Constructora Integral

MINAGRI: Ministerio de la Agricultura

ESTADO DEL ARTE:

El estudio de la calidad de agua, tanto subterráneas como superficiales es de suma importancia. En los últimos años se han realizado varios trabajos hidrogeológicos acerca de estos temas. Como fundamentos para estos estudios, se encuentran las investigaciones realizadas por:

Cardona, AJ. 2003. Calidad y riesgo de contaminación de las aguas superficiales en la microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. Este estudio fue realizado para analizar la calidad y riesgo de la contaminación del agua en la microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. En nueve unidades de drenaje fue subdividida la microcuenca, e igual número de estaciones de muestreo fueron establecidas. Durante los meses de mayo a junio dos muestreos se realizaron, en época seca y lluviosa, en los cuales, nitratos, fosfatos, coliformes totales y fecales, temperatura, pH, turbidez, sólidos suspendidos, disueltos y totales, fueron medidos y posteriormente ajustados a un Índice de Calidad de Agua (ICA).

Villalobos, (2010) et-al., en el estudio del ion sulfato como indicador de sustentabilidad en la cuenca del río Guasare, estado Zulia. Este trabajo está orientado en la identificación y construcción de tendencias de medición del ión sulfato en la cuenca media del río Guasare, para establecer un diagnóstico de los impactos acumulados y proyectar, qué cantidad de sulfatos estará presente en este cuerpo de agua. El ión sulfato es un importante indicador de sustentabilidad, porque permite tomar decisiones referentes a la gestión ambiental minera, dado su potencial de acidificar el medio, garantizando el desarrollo sustentable de la actividad en la zona de estudio. Se recolectaron muestras estratificadas en diversos puntos del área seleccionada bajo estudio, evaluando las concentraciones del ión sulfato (SO_4^{-2}) y los cationes de calcio y magnesio (Ca^{+2} y Mg^{+2}), pH, temperatura y turbidez. Se encontró que las cantidades presentes en el agua del río no superan los límites establecidos para este parámetro en la norma nacional.

Pérez, E. (2011), realiza determinaciones de los parámetros que afectan la calidad de cualquier tipo de agua, rigiéndose por las más estrictas

metodologías estandarizadas para los ensayos de laboratorio y calibración a fin de proporcionar resultados de análisis confiables. Los parámetros a analizar en una muestra de agua son los indicados en la Gaceta oficial 36.395 para aguas potables y el decreto No. 883 para aguas residuales. Es por ello que la Fundación Tecnología de Seguridad Integral (FUNSEIN) cuenta con el laboratorio de aguas y caracterización de efluentes en el cual toma en cuenta las exigencias de las leyes para asegurar la calidad de las muestras de aguas que son analizadas.

En octubre de 2002, la licenciada en química Ana María Sancha presenta un informe acerca de la evaluación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas con compuestos orgánicos volátiles en la ciudad de Santiago de Chile, donde se presentan los resultados más relevantes de un estudio en el que se evaluó el riesgo potencial de contaminación de las aguas subterráneas del sistema acuífero de esta ciudad.

Tejedor, Leyda (2011), en su estudio de calidad de las aguas asociadas con la cuenca alta del río Morichal Largo. Estados Anzoátegui y Monagas consideraron herramientas de calidad, hidrogeológicas e hidrogeoquímicas, con el propósito de describir los principales mecanismos que condicionan las características e interacción entre las aguas asociadas con la cuenca alta de dicho río. La información recopilada fue organizada y depurada para luego delimitar el área y las variables estudio.

El cauce principal del río Morichal Largo está ubicado sobre un acuífero libre de alto rendimiento que se extiende hasta las cuencas de los ríos Caris y Tigre. Los patrones de flujo se mantuvieron relativamente constantes en el tiempo, con un movimiento en dirección sur este y un recorrido que parte de las cuencas de los ríos Tigre y Caris. Por otro lado, se reportaron los mayores valores de concentración de especies iónicas en la cuenca de los ríos Caris y Tigre.

Asimismo, las aguas estudiadas son bicarbonatadas sódicas, cálcicas y magnésicas tanto en la cuenca alta del río, como en la cuenca de los ríos Caris y Tigre. Por su parte, el mecanismo principal que gobierna la composición química de las aguas superficiales es la precipitación atmosférica.

Francisco Suarez y Rubén J. Lombardo (2012) realizaron un trabajo acerca de la amenaza, vulnerabilidad social y riesgo, la construcción de la demanda social en las aguas del delta del Paraná en Buenos Aires. En este sistema de compleja dinámica hídrica fuertemente influenciado por el régimen mareal del Río de la Plata, la derivación de la mayor parte del caudal del río Reconquista a través del Canal Aliviador (volcando sus aguas al río Luján 5 km aguas arriba de su desembocadura natural) tiene como consecuencia la intrusión de masas de agua del río Reconquista en el sector de islas del Delta, a través de los ríos Caraguatá y Carapachay. El resultado es que masas de agua del Reconquista con alta carga de contaminantes circulan en este sector de islas con un nivel variable de dilución debido a los aportes del río Luján.

Patricia Rojas (2010) realiza un informe titulado: 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. La investigación encuentra que la GRH en el Perú no responde a las necesidades y a la problemática de las cuencas con minería principalmente por cuatro motivos: la GRH no reconoce que la moderna minería amenaza las zonas de recarga hídrica de las cuencas, los instrumentos de gestión no pueden abordar el nivel de impactos ambientales que la minería genera, las escalas territoriales de gestión difuminan las problemáticas de las cuencas menores con minería; y, los usuarios del agua afectados por minería, difícilmente pueden acceder a los espacios formales de gestión.

En mayo de 2014 fue preparado un documento por Rebecca Darling y Verónica Nyhan Jones (IFC), Jelena Lukic (Banco Mundial) y Laura Read (Universidad Tufts). Este documento está basado en la experiencia de la Corporación Financiera Internacional (IFC) con clientes, en el intercambio de información durante tres años de mesas redondas sobre agua y la industria minera, en discusiones con informantes clave y en la investigación de publicaciones pertinentes.

En el año 2010 Helen Calla LLontop y Carlos Cabrera Carranza presentaron una tesis de investigación con el título Calidad del agua en la cuenca del Río

Rímac, sector de San Mateo, en Lima, Perú, afectado por las actividades mineras. Aquí 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 Huarochiri del departamento de Lima. Se realizó un análisis en las aguas del río y se obtuvo que el cadmio, plomo, manganeso, arsénico y fierro 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.

En el 2009 Díaz, E. L, Romero, E. C, Boschetti, N.CY Duarte, O.C realizan un trabajo titulado Vulnerabilidad del agua subterránea en la cuenca del Arroyo Feliciano. Entre Ríos. Argentina. Donde se ha planteado como objetivo estimar la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos destinados a suministrar agua para consumo humano a las localidades en el interior de la cuenca, abastecimiento para riego y abrevado de animales, fundamentalmente ganado bovino. Para ello se han aplicado dos métodos que internacionalmente son considerados y buscan establecer la capacidad de atenuación de contaminantes por eliminación, retardación y dilución, para cargas impuestas en la superficie, DRASTIC Y GOD. Los resultados obtenidos indican que las áreas de mayor vulnerabilidad a la contaminación se limitan a las cercanías de los cauces menores y el curso principal del Arroyo Feliciano, donde la profundidad al acuífero es mínima. En el resto de la cuenca el efecto de protección que brinda el espesor de los limos y arcillas de la Formación Hernandarias actúa como una protección al mismo.

En el año 2009, Yolaine Delgado Gómez y M.E. Miravet Regalado realizan un artículo titulado Metodología para la evaluación de riesgos sanitarios ante la contaminación fecal en Cuba. El trabajo tenía como objetivo proponer una metodología que permita estimar el nivel de peligro, vulnerabilidad y riesgo ante la contaminación fecal en la zona marina costera.

El Dr. Constantino de Miguel Fernández realiza un trabajo acerca del origen de los nitratos (NO_3) y nitritos (NO_2) y su influencia en la potabilidad de las aguas en Cuba, donde se reflejan los principales factores de origen antrópicos, geológico y climáticos que pueden originar contaminación por nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-) y que más influyen en las condiciones de Cuba. Se ejecuta un

análisis de esta contaminación en territorios del Sur del Valle del Cauto y la provincia de Holguín así como de territorios en otros países.

En 1998 Rodríguez Pacheco, Roberto L. y Candela Lledó, Lucila llevan a cabo una investigación acerca de la contaminación de las aguas subterráneas en Moa.

En los últimos años se han realizado varios trabajos hidrogeológicos sobre las aguas subterráneas y superficiales en el municipio de Moa, las cuales son utilizadas para distintos usos.

En Cuba se destinaron los estudios de contaminación por nitrito fundamentalmente realizados por Gutiérrez y Molerio. 1971 estudian los factores que influyen en la vulnerabilidad de los acuíferos por nitrificación y en 1982 los mismos autores se destacan en el estudio sobre contaminación de acuíferos cársicos por nitrógeno.

En 1985 se confeccionó el mapa de calidad de las aguas de la República de Cuba en el mismo quedan establecidas los problemas de contaminación por nitrito y nitrato, se destacan Joaquín Gutiérrez y el Dr. Constantino de Miguel.

En los años 1980_1981 comienzan las primeras investigaciones sobre el deterioro de la calidad de las aguas producto a la influencia de la actividad minero metalúrgica.

En los últimos años se han realizados varios trabajos hidrogeológicos sobre las aguas subterráneas y superficiales en el municipio de Moa y con las evidencias ya existentes sobre el deterioro de la calidad de las aguas, bajo la influencia de la actividad minero metalúrgicas fundamentalmente comienzan las primeras investigaciones al respecto:

El trabajo: Cálculo de las reservas de aguas subterráneas de las terrazas del Río Moa. (Toirac, 1983). Sirve de punto de partida para las posteriores investigaciones medioambientales en el municipio. Se estudiaron las principales afectaciones de las aguas y se clasificaron según su tipo.

Después de conformarse el CEMA (Centro de estudios de Medio Ambiente) se desarrollan otros trabajos como: Evaluación Hidroquímica e Hidrogeológica de las aguas subterráneas de los yacimientos aluviales de las terrazas del Río

Moa. (Turro, 1992). Ya es un estudio más sólido en este sentido llegándose a conclusiones más certeras, son comprobadas las evidencias que de antemano existían sobre la contaminación de las aguas.

Posteriormente se desarrollan otros trabajos donde se destaca el Estudio de Impacto Ambiental en el entorno de la Planta de níquel Pedro Soto Alba con propuestas de medidas preventivas y correctoras para minimizar la contaminación.(1993) son utilizadas metodologías novedosas, se obtienen resultados interesantes y se proponen medidas preventivas y correctoras en cada caso, se realiza la evaluación de impacto ambiental demostrando que las aguas fueron afectadas por la actividad minera y aguas residuales del proceso tecnológico.

En el año 1995 con la experiencia adquirida durante la realización de estos trabajos el grupo de estudios de las aguas del CEMA desarrolla un proyecto sobre “Evaluación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en el entorno de la futura planta de Níquel Las Camariocas, donde se establece la línea base sobre el estudio actual de los recursos hídricos allí localizados, donde se demostró alteraciones en la composición de elementos como nitrito y algunas sales por la influencia e interrelación de las aguas del mar al manto freático.

Posteriormente se desarrollaron como otras investigaciones:

Estudio preliminar de las características hidroquímica, hidrogeológicas y bacteriológicas de las aguas subterráneas en la Ciudad de Moa. (Fernández, 1996). Se demostró la contaminación de los pozos criollos ubicados dentro del municipio de Moa por elementos nitrogenados y compuestos metálicos, producto a la contaminación antrópica y la litología por la cual circulan las aguas.

En 1997 se realiza la valoración preliminar de la calidad de las aguas subterráneas en el área desde los indios hasta la Veguita. Este estudio tiene como fin evaluar las aguas para consumo humano, se detectaron presencia de elementos no deseables en el agua y contaminación bacteriológica de algunos puntos monitoreados.

(Velásquez, 1999), realiza un estudio sobre la calidad natural de los recursos hídricos en el entorno de la zona minera de Moa, mostrando una panorámica general sobre el estado de la calidad de una parte considerable de los recursos hídricos localizados en la zona urbana y rural de municipio.

En este estudio se destacó la interrelación hidráulica directa entre las aguas subterráneas localizadas en el área de emplazamiento de la futura planta de níquel Las Camariocas, las aguas de la presa de colas y el mar, además los principales focos de contaminación que afecta la calidad de las aguas superficial y subterráneas en el área de estudio son los que provocan: las actividades mineros metalúrgicas, las actividades humanas, y en menos medida las actividades de la Empresa Municipal Agrícola, (EMA), destacándose una marcada diferencia entre los sectores este y oeste, siendo este último el más afectado, donde puede apreciarse un deterioro casi total de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, en algunos casos irreversibles.

Fue un trabajo preliminar, no se estudiaron los posibles impactos que provocaron algunas alteraciones en los elementos estudiados y se realizaron varias recomendaciones en vista a estudiar detalladamente algunas fuentes de agua y algunas cuencas hidrográficas como Cabaña y Moa, no así el río Cayo Guam.

Caracterización de las aguas de consumo humano en los asentamientos rurales del suroeste del municipio de Moa Holguín. (Pérez, 1999). Se evidenció contaminación bacteriológica y físico - química de las aguas, se orientaron medidas correctoras para la disminución de la contaminación y las mismas no se han implementado por parte de las entidades correspondientes. No realizaron evaluaciones de los principales contaminantes y su impacto en la comunidad.

En el año 2001 se realizó una reevaluación de las reservas de explotación de las aguas subterráneas de las terrazas del Río Moa. Según las comparaciones realizadas tomando como base el trabajo precedente es notable una discreta disminución de la mineralización, dureza total, conductividad, color, sulfato, metales pesados y las normalizaciones del pH a partir de las medidas correctivas tomadas y los mayores valores de concentración se evidencian en

tiempo de lluvia y los pozos más cercanos a la presa de cola de la empresa Mixta Comandante Pedro Soto Alba, (pozos 49 y 51).

Este estudio sirvió de base para continuar detalladamente un estricto control de la calidad de las aguas de los pozos, tenerlos identificados de acuerdo al grado de contaminación, y a pesar de estudios de impactos ambientales en la zona no se han evaluado los impactos que pueden generar al medio ambiente.

Características físico-químicas y bacteriológicas de las aguas subterráneas en el municipio de Moa. (Bauza, 2003). En este trabajo se realiza una evaluación de las aguas que sirven de abasto a la población de Moa, en los repartos Coloradas, Moa Centro, Los Mangos, Atlántico, en el mismo se evidencia contaminación por roturas en la red de distribución y malas condiciones higiénicas sanitarias de los depósitos de agua, se evaluaron las principales fuentes afirmando que las mismas tenían contaminación por la influencia de la litología de la zona por la cual circulan las aguas principalmente presencia de metales en concentraciones trazas. No se realizó la evaluación de posibles impactos a la salud.

Se realiza un estudio sobre la calidad natural evaluación de la calidad de las aguas de consumo humano en la zona urbana del municipio de Moa. (Fernández, 2003). En el trabajo la autora realiza una evaluación de las aguas de las principales fuentes de abasto, 5 pozos del complejo acuífero de la Veguita en cuatro campañas de muestreo, muestras de aguas tratadas en la planta potabilizadora procedentes del río Moa y agua cruda, aguas en diferentes puntos de la red de distribución, que algunos son controlados por el Dpto. de Higiene y Epidemiología del municipio, y 29 pozos criollos pertenecientes a los pobladores, a los que se les realizó mediciones de diámetro de pozo, profundidad del pozo, profundidad del nivel estático, cota del terreno. etc.

Se evidenció que la mayor contaminación es producto de la actividad antrópica, se realiza un estudio de su posible influencia sobre la salud del hombre, se hace referencia a las distintas enfermedades ocasionadas por contaminación de las mismas al ser consumidas y una evaluación de los principales contaminantes que llegan a las mismas.

En este estudio no se hace referencia a una evaluación cuantitativa y calitativa del impacto ambiental que pueden provocar las aguas consumidas contaminadas y que afectaciones han provocado a la salud de la población, no se identificaron estudios de caso.

Evaluación de la calidad de las aguas del Río Moa. (Montero, 2004). El estudio de evaluación de las aguas del río Moa se determinaron los principales contaminantes que llegan al río Moa, determinando que su mayor influencia es la actividad de la minería alterando las propiedades físicas como color, turbidez y sólidos en suspensión por el escurrimiento superficial, los escombros depositados en zonas cercanas al río, así como aguas contaminadas del río Cabañas proporciona cambios en el pH y otras propiedades. No se valoró el impacto ambiental sobre la calidad de los recursos hídricos en la zona evaluada.

Evaluación físico-química y bacteriológica e impacto ambiental de las aguas del río Aserrío. (Ricardo, 2006). En este estudio se concluyó que las principales fuentes de contaminación que afectan las aguas del río Aserrío la constituyen los vertimientos incontrolados de residuales urbanos, letrinas sanitarias, aguas albañales que lo afectan en gran medida y su aumento progresivo. El impacto ambiental ocasionado es moderado por lo que produce daños de poca magnitud y su importancia comienza a ser considerable. Culminada la acción impactante las condiciones originales se restablecen con la acción de los mecanismos naturales del acuífero, aunque la recuperación es larga. Actualmente se realizan trabajos de monitoreo de agua y ambientales para el control sistemático del área.

La Evaluación de la contaminación microbiológica y calidad físico-química de las aguas de abasto en los Centros Educativos en el municipio Moa. (Lobaine, 2008) y la Evaluación de la Materia Orgánica, el Cloro Residual en las aguas de consumo humano de la ciudad Moa. (Puebla, 2009) demostraron alteraciones en el agua por falta de higienización en los depósitos y roturas en la red de distribución.

Tomando como referencias nuevas metodologías internacionales, nacionales como las planteadas en el Libro de hidrogeología subterráneas de Custodio y Llamas. Donde se trata sobre el origen de la composición de las aguas

subterráneas, los factores que influyen y las causas que provocan contaminación, métodos de análisis, muestreo, formas de evaluar la calidad de las aguas subterráneas, normas vigentes nacionales e internacionales.

CAPITULO I

CAPITULO I: LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICO GEOGRÁFICAS, CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

1.1. Caracterización socioeconómica de la región

El municipio de Moa se encuentra ubicado en el noroeste de la provincia de Holguín, limitando al norte con el Océano Atlántico, al sur con el municipio Yateras, al este con el municipio de Baracoa y al oeste con los municipios Sagua de Tánamo y Frank País. La misma abarca un área de 465 km² y según

el sistema de coordenadas Lambert se localiza entre las coordenadas: X: 690000 – 717000 Y: 206000- 230000.

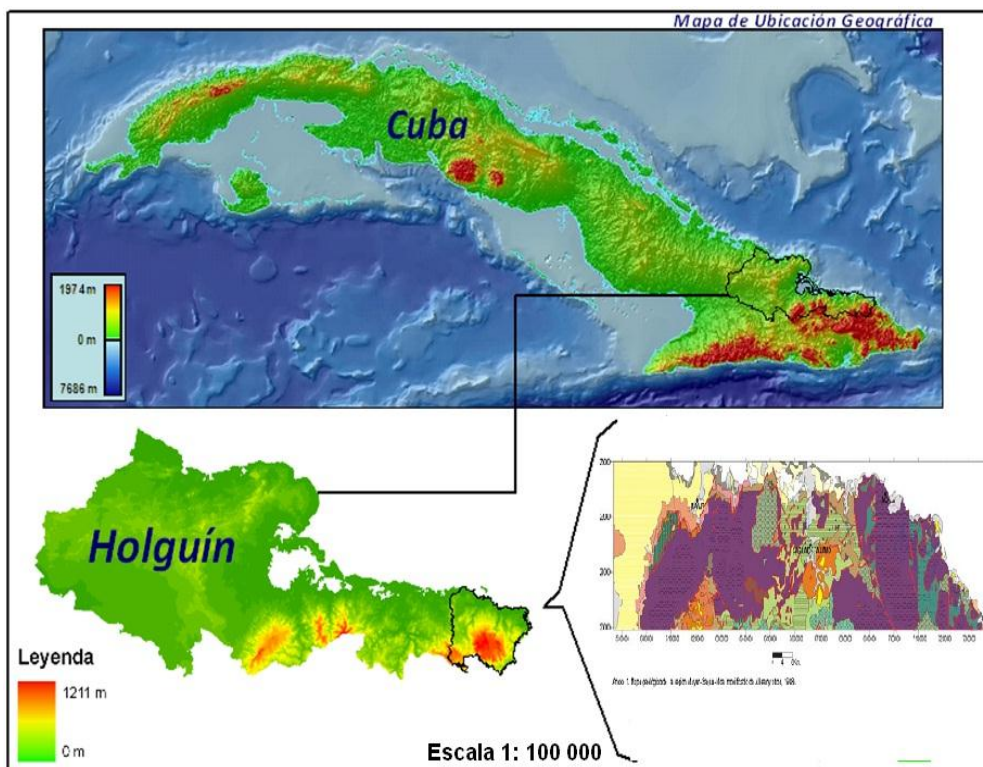


Figura 1.1: Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.

Económicamente la región se encuentra dentro de una de las más desarrolladas del país debido a que cuenta con plantas procesadoras de níquel Comandante Pedro Soto Alba y Comandante Ernesto Che Guevara que impulsan el desarrollo de la industria minero – metalúrgica. Además existen otras entidades tales como: La Empresa Mecánica del Níquel, la Empresa constructora y reparadora de la industria del níquel (ECRIN) y el centro de proyectos del níquel (CEPRONIQUEL)

1.1.1 Clima:

El clima es tropical húmedo, siendo una de las áreas de mayor pluviométrica del país. El cual está influenciado por la orografía, ya que las montañas del grupo Sagua –Baracoa sirven de pantalla a los alisios del noreste que

descargan abundantes lluvias en la parte norte. La zona se encuentra bajo el régimen de brisas y terrales. Desde el punto de vista meteorológico el municipio se sitúa como una zona costera con predominio de las condiciones tropicales marítimas – costeras.

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

El comportamiento de las precipitaciones de la región de Moa no coincide con la del resto del territorio nacional, los mayores promedios anuales se reportan en noviembre –abril considerado para Cuba como período seco, siendo en Moa la época de mayores precipitaciones con valores de 2300 a 2600 mm y más. En el período lluvioso cubano ocurre lo contrario. En el territorio es considerada etapa de seca con 1600–1800 mm de lluvia. Las precipitaciones son abundantes todo el año, alcanzando de 2000–2400 mm. En general se puede plantear que existen dos máximas, una principal en los meses correspondientes a octubre–enero y la segunda en el mes de mayo. El valor mínimo principal se registra en el periodo de marzo a abril y el secundario, de junio a septiembre.

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

El régimen de los vientos en la región es de moderada intensidad. Casi todo el año soplan vientos alisios, provenientes de la periferia del anticiclón oceánico de las Azores –Bermudas, provocando que el viento en superficie tenga una dirección NE–E. Se caracteriza el viento por ser muy variable, presentando una velocidad máxima de 10 m/s, el valor medio anual es de 2 m/s predominando las direcciones antes mencionadas. El viento es un parámetro importante en la región de Moa, pues controla el movimiento de las emanaciones industriales vertidas a la atmósfera (Pérez et al., 1991).

1.1.2 Características hidrográficas:

Contamos en el municipio con una red hidrográfica bien desarrollada que corre de Sur a Norte, (ver figura 1.2), la misma es de tipo dendrítica, aunque en algunos casos se observa la red subparalela. La región cuenta con una red hidrográfica bien desarrollada representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se encuentran de Este a Oeste: Yamanigüey, el Medio, Semillero, Quesigua, Cayo Guam, Punta Gorda, Yagrumaje, Moa, Cabañas, y Aserrío, los cuales son de carácter permanente, drenando en el mismo sentido que presenta la red. Estos ríos desembocan en la Bahía de Moa, formando deltas cubiertos de mangles, apreciándose en los mismos una zona de erosión y otra de acumulación. Ellos forman terrazas al llegar a la zona de pie de monte y presentan numerosos meandros, sus orillas son abruptas y erosionadas en las zonas montañosas, mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas. Son alimentados por las precipitaciones atmosféricas teniendo como origen las zonas montañosas del grupo Sagua - Baracoa. Los mismos sobrepasan los 1,5 m/seg de velocidad y los gastos oscilan entre 100 y 200 l/seg (Fernández M 2003). Algunos pueden tener gastos inferiores.

Podemos decir que el nivel de los ríos cambia en dependencia con las precipitaciones, los niveles más bajos se observan en el período de seca, correspondiente a los meses de julio a septiembre y los más elevados en la época de lluvia, la cual está comprendida entre los meses de octubre a enero. Producto que los ríos anteriormente mencionados conforman las reservas naturales del municipio, además de constituir las principales fuentes de abasto de los asentamientos poblacionales. A continuación se mencionan las características de los principales.

Rio Moa

El rio 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., (Ver figura 1.3)

Rio Cabaña

Su formación parte de la cota 320 m, se une al rio 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.

Rio Yagrumaje

Situado al suroeste del yacimiento Punta Gorda, su formación parte de la cota 620 m, desembocando en el Océano Atlántico. Forma barrancos casi verticales, su longitud es de 11 km, presentando una cuenca con un área de aproximadamente 2312 km², el mismo tiene un gasto de 0,2 m³ /seg.



Figura 1.2: Red hidrográfica de la región de estudio

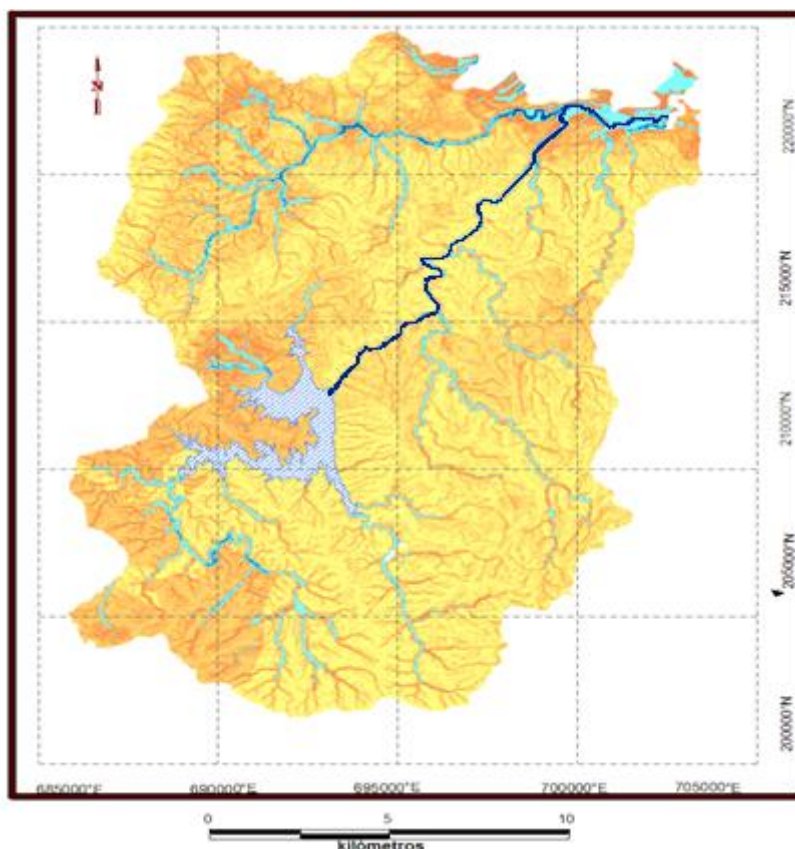


Figura 1.3: Mapa de ubicación del Río Moa

1.1.3 Geomorfología:

El relieve de Cuba oriental, al igual que el relieve cubano en general es el reflejo de la alta complejidad geológico estructural resultante de la acción de procesos compresivos durante la etapa Mesozoica y el Paleógeno, a los cuales se han superpuesto desplazamientos verticales, oscilatorios, diferenciados e interrumpidos así como la separación en bloques del territorio (Rodríguez, A.1998)

Genéticamente el relieve de Moa y sus áreas adyacentes está clasificado dentro del tipo de Horst y bloques que corresponden a los cuerpos de rocas ultrabásicas elevadas en la etapa neotectónica a lo largo de dislocaciones antiguas y rupturas nuevas, poco o ligeramente diseccionados. El territorio se clasifica en dos zonas geomorfológicas fundamentales: la zona de relieve de llanura y la zona de relieve de montañas, con subtipos específicos que se describen a continuación: (Ver figura1.4)

Zona de Llanuras: Se desarrolla en toda la parte norte del área ocupando la zona comprendida desde la barrera arrecifal hasta los 100 -110m de altura hacia el sur. La formación de estas llanuras está relacionada con la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos que en ella han actuado, predominando los procesos fluviales y marinos.

Las llanuras acumulativas marinas ocupan el área comprendida entre la barrera coralina y el litoral, llegando a formar parte en algunos sectores de la zona litoral como ocurre en el extremo noreste de Cayo Moa Grande, Punta de Río Moa, Quemado del Negro, Punta del Mangle y Punta Guaríco de Yamanigüey.

Las llanuras fluviales fueron clasificadas en acumulativas y erosivo-acumulativas en dependencia del proceso predominante en su morfogénesis. Las primeras, las llanuras fluviales acumulativas se desarrollan en toda la franja norte del área, entre la línea litoral al norte, hasta los 100-110 m de altura hacia el sur, en la zona correspondiente a la base del escalón inferior de las tierras emergidas y en las que se encuentran los cauces inferiores y desembocaduras de los ríos Moa, Cayo Guam, Cananova, Yamanigüey y Quesigua. Las zonas de llanuras fluviales erosivo-acumulativas se localizan en los valles de los ríos Cananova, Cabaña y Centeno, así como en la zona comprendida entre Quesigua y Cupey. En estas zonas la superficie topográfica pierde su regularidad al aparecer sectores de hasta 9° de pendiente, condicionando la existencia de procesos erosivos. La disección vertical oscila de 10 a 90 m/km², mientras que las isobasas marcan hasta 100 m y 50 m para el segundo y tercer orden respectivamente. La cota más alta para esta zona es de 126 m. En ninguna de las numerosas fallas que cortan estas zonas llanas se aprecian saltos verticales pronunciados, lo que da una idea de la agresividad denudativa y del carácter rumbo deslizante predominante para los movimientos novísimos de la región, y sólo movimientos verticales como reajuste.

Zona de Montañas: Esta zona geomorfológica es la más extendida dentro del área de las investigaciones ocupando toda la parte sur y central, además del Cerro de Miraflores y las zonas nordeste y noroeste del poblado de Cananova. Esta zona de relieve de montaña fue clasificada en cuatro subtipos:

Zonas nordeste y noroeste del poblado de Cananova. Esta zona de relieve de montaña fue clasificada en cuatro subtipos: disección vertical alcanza 100-150

m/km². Este tipo de relieve en algunos sectores aparece cubierto por la actividad socioeconómica.

Zona de submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas: Se localiza en el área comprendida entre Cañamazo y Calentura, apareciendo en sectores aislados en las localidades de Cananova, El Cerro y Yamanigüey con elevaciones y cerros relativamente aislados de cimas redondeadas con pendientes variables que pueden alcanzar hasta los 15° y los valores de disección vertical llegan hasta los 130 m/km². Las formas de relieve aquí desarrolladas son relictos de la erosión fluvial de las zonas montañosas periféricas.

Zona de montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas: Esta forma de relieve es la que adquiere mayor importancia en el estudio de la región por el área que abarca y por estar a ella asociados los mayores yacimientos ferroniquelíferos. Se desarrolla en toda la parte central y sudeste del área y corresponde al segundo nivel de la estructura escalonada que caracteriza la zona.

Los procesos de intemperismo son predominantes y están condicionados no sólo por la litología y el grado de agrietamiento de las rocas sobre las cuales se desarrolla, sino también, por la posición hipsométrica que estas ocupan. Al mismo tiempo, al ser las pendientes de bajo ángulo - de cero a seis grados - existe una excelente conservación del producto meteorizado, siendo erosionado sólo en los barrancos y escarpes asociados al sistema fluvial que se encuentra controlado por dislocaciones tectónicas.

Zona de montañas bajas diseccionadas: Esta zona se localiza en los extremos sudeste y sudoeste del área y en el Cerro de Miraflores. Las elevaciones que constituyen esta zona se caracterizan por presentar cimas alargadas de orientación predominantemente nordeste con vertientes de paredes abruptas altamente diseccionadas por los sistemas de fallas que cortan y desplazan tanto las divisorias principales como secundarias.

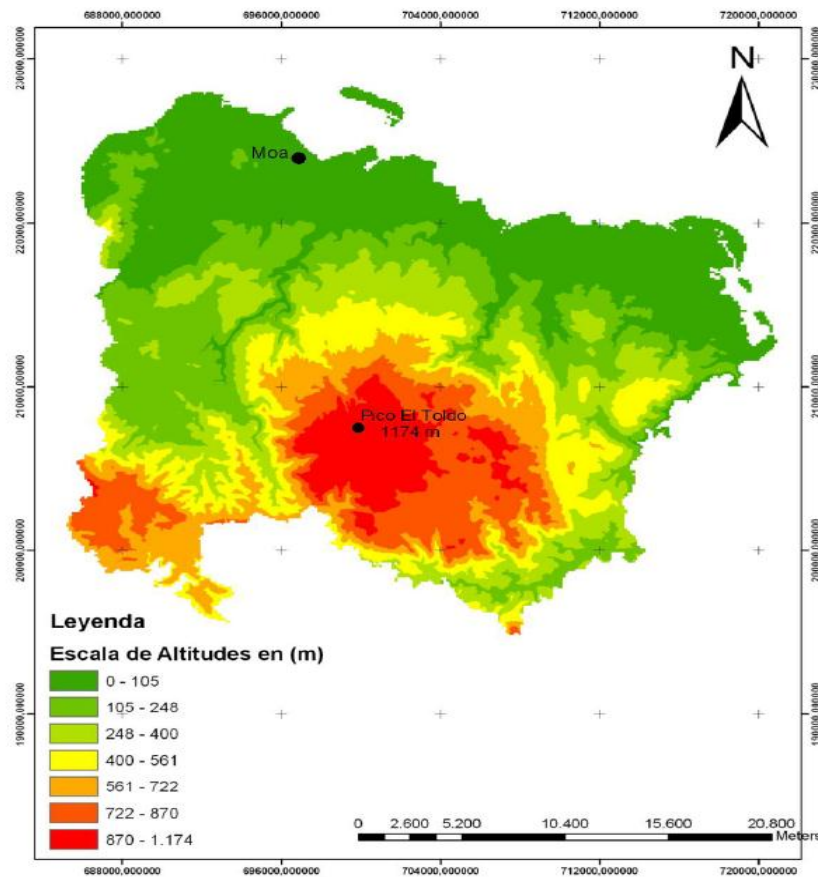


Figura1.4 Mapa geomorfológico de la región de Moa. (Bicera C. 2014)

1.1.4 Flora y Fauna:

Esta región representa la zona de mayor biodiversidad del país con un 68% de especies autóctonas. 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 es muy característica, por lo que ha evolucionado una flora muy típica que comprende el 33 % de todos los endemismos cubanos, encontrando formaciones vegetales tales como: pinares, bosque en galería, arbustivo xeromorfo subespinoso (charrascal) y vegetación secundaria. Los principales exponentes presentes en la región, se pueden observar en la tabla 1.1

Tabla 1.1: Vegetaciones típicas de la región de estudio. (Jiménez. 2013)

Vegetaciones típicas del territorio
PinusCubensis.
Jacarandá Arbóreo (Abey, Framboyán azul).
Clusia Rosea (Copey).
EuphorbiaHelenae (Jazmín del Pinar).
BactrisCubensis (Pajua).
Arthrostylidiumssp (Tibisi).
CacalobaShafan (Uvilla).

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.

Fauna

La fauna presenta heterogeneidad y abundancia de especies raras con características peculiares desde las pequeñas microrrisas hasta el cocosí, además de poder contar con la vistosa cotorra, lacartacuba, 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 Caémboles, son los grupos más abundantes.

1.2. Características geológicas e hidrogeológicas de la región de estudio

1.2.1. Características geológicas del área de estudio

La geología del área de estudio 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. El macizo Moa-Baracoa se localiza en el extremo oriental de la faja Mayarí-Baracoa, ocupando un área aproximada de 1500 Km. representando un gran desarrollo de los complejos ultramáficos, de gabros 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 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 Vulcano-sedimentario se ha estimado un espesor de 1000 metros.

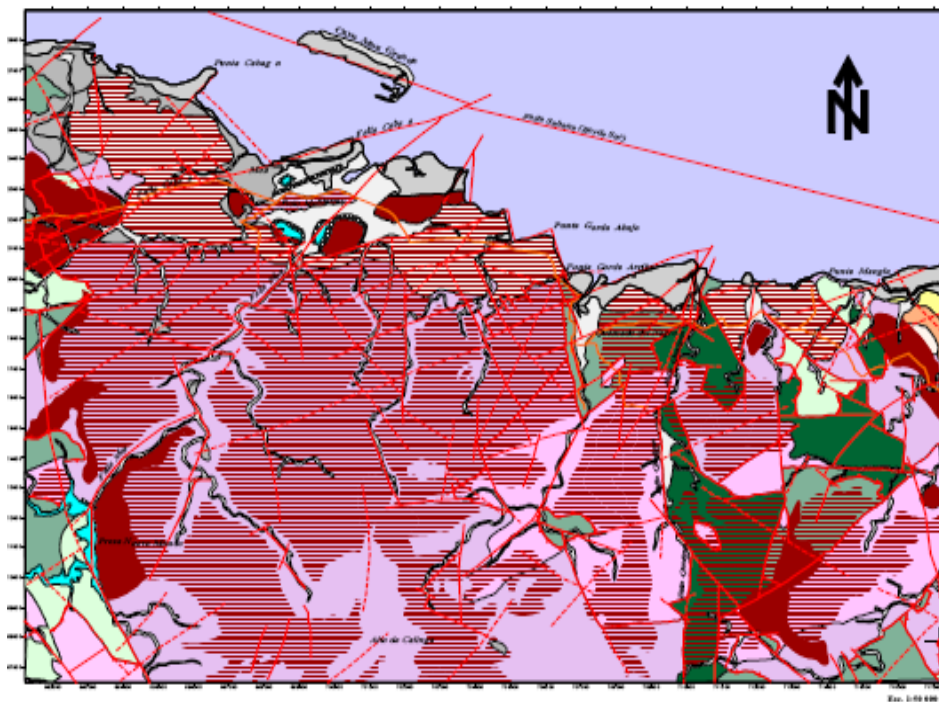


Figura 1.5. Mapa geológico de la región de Sagua-Moa (Jiménez D. 2012)

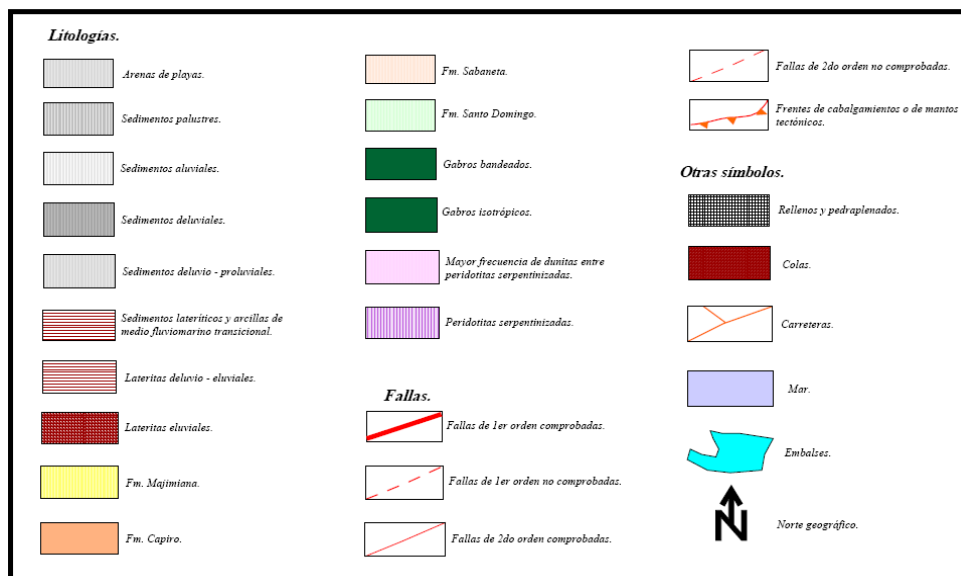


Figura 1.6. Leyenda del mapa geológico de la región Sagua-Moa

1.2.2. Características hidrogeológicas del área de estudio

En esta región son abundantes las precipitaciones atmosféricas, de las cuales una parte se evapora y la otra ingresa en el escurrimiento superficial y la alimentación del manto acuífero. Producto a estas intensas precipitaciones atmosféricas es que los ríos que bañan la zona se alimentan del drenaje de las aguas subterráneas.

En toda la región aparecen numerosos tipos de rocas, fundamentalmente básicas y ultra básicas, las cuales tienen la capacidad de almacenar las aguas subterráneas en mayor grado.

Atendiendo a lo expuesto anteriormente la región se divide en un conjunto de complejos acuíferos según (Fernández M 2003):

Complejo acuífero de las ofiolitas.

Se extiende en dirección noreste-sureste, al oeste del río de Moa. Litológicamente se encuentra constituido por serpentinitas alteradas, peridotitos serpentinizadas y piroxenitas. La capacidad acuífera se encuentra poco estudiada, su profundidad de yacencia es de 1,3 hasta 12 m. El coeficiente de filtración (K) está comprendido entre valores menores de 1 a 14,7 m/día, el gasto de aforo (Q) desde menos de 1 l/s hasta más de 4 l/s. Según la

clasificación de Kurlov y Aliokin las aguas son del tipo hidrocarbonatadas–clóricas–sódicas e hidrocarbonatadas–magnésicas.

Complejo acuífero de los sedimentos costeros.

Se extiende por casi todo el norte del área, formando una franja estrecha de 1 a 2 km. de ancho. El relieve es costero con cotas de 0 a 2 m sobre el nivel del mar. Su edad es cuaternaria y litológicamente está constituida por depósitos arcillosos con fragmentos angulosos de composición variada. Las rocas acuíferas son calizas organógenas, en menor grado sedimentos no consolidados y depósitos arcillo-arenoso con fragmentos angulosos de composición múltiple. La profundidad de yacencia varía en rango de 1 a 5 m. El coeficiente de filtración puede alcanzar valores aproximados de hasta 64,4 m/día, el gasto de aforo es de aproximadamente 14 l/seg. Los tipos de agua predominantes son de grietas y cársticas y en algunos casos intersticiales. En su mayoría tienen interrelación hidráulica con las aguas de mar, según Kurlov por su composición química son cloruradas–hidrocarbonatadas–sódicas–cálcicas y según Aliokin son cloruradas–sódicas.

Complejo acuífero de las lateritas.

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

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

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

La macroestructura presente en la región, según el Dr. Constantino de Miguel, es un macizo hidrogeológico (H.M) el cual representa la salida de las rocas del fundamento (o basamento) a la superficie, las mismas pueden estar cubiertas por rocas del Cuaternario. Las rocas que forman estos macizos predominantemente corresponden al Paleógeno Inferior y al Cretácico.

1.2.3 Tectónica:

Desde el punto de vista geotectónico, en el área existen cuatro sistemas principales de fallas (Rodríguez, A. 1998), se puede observar en la figura 1.6. El sistema más antiguo de los reflejados actualmente en la superficie tiene su origen asociado al cese de la subducción que generó la colisión entre el arco insular y el margen continental, originando el emplazamiento del complejo ofiolítico, por lo cual las fallas de este sistema se encuentran espacial y genéticamente relacionadas con los límites de los cuerpos máficos y ultramáficos dentro del complejo.

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

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

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

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

Falla Cayo Guam: Con una dirección N15°W, se extiende desde la parte alta del río de igual nombre, siguiéndose con nitidez hasta Punta Yagrumaje. Al

igual que la falla Los Indios, esta estructura aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales.

Falla Moa: Dentro del territorio es la estructura de mayor extensión y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este con el arco mayor en la zona de Calentura, haciéndose más recta hacia el norte con una dirección de N48°E, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo N25°W. En la parte norte esta estructura se bifurca en dos tramos, uno de rumbo N35°E denominado La Vigía y el otro de rumbo N74°E nombrado La Veguita, el que atraviesa la zona marina perilitoral, hasta cortar la barrera arrecifal a la cual limita y afecta, pues en el bloque oriental de la falla la barrera como tal desaparece, quedando reflejada sólo como un banco de arenas, lo que constituye un indicador del sentido de los desplazamientos.

Falla Cabaña: Se extiende desde el extremo centro occidental del área, al noroeste del poblado de Peña y Ramírez hasta el norte de la ciudad de Moa, cortando la barrera arrecifal y limitando el extremo oriental de Cayo Moa Grande.

En su parte meridional presenta una orientación N70°E hasta la zona de Zambumbia donde es truncada por un sistema de fallas submeridionales, aflorando nuevamente con nitidez al nordeste del poblado de Conrado donde inicia su control estructural sobre el río Cabaña. En las cercanías de Centeno esta estructura es cortada y desplazada por la falla Cananova tomando una orientación N56°E la que mantiene hasta penetrar en el océano Atlántico.

Falla Quesigua: Se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, 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.

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

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

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

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

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

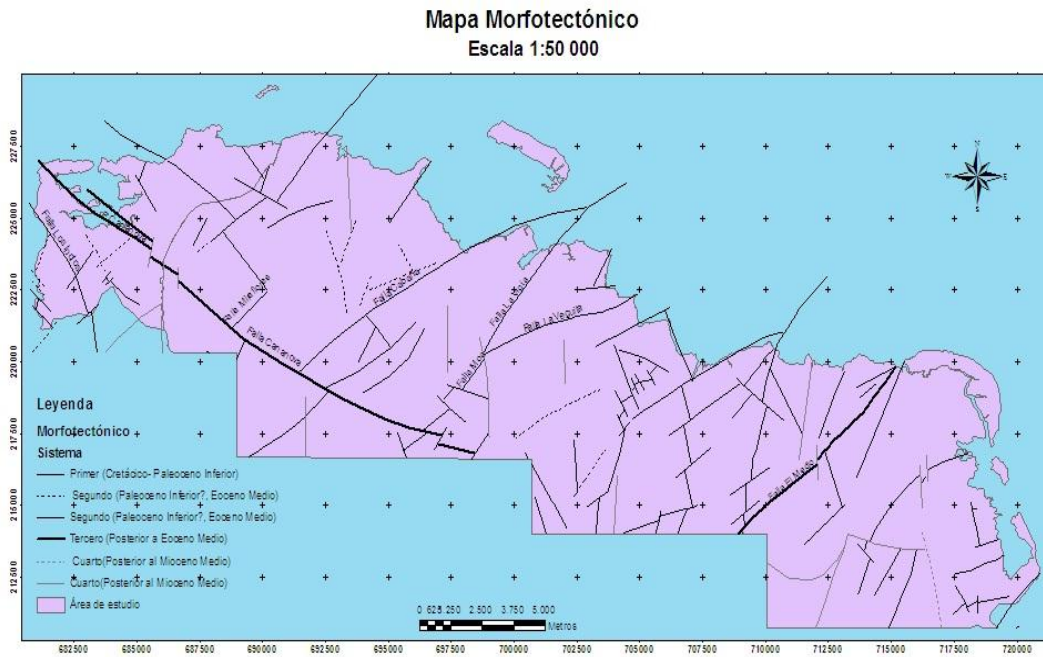


Figura 1.7: Mapa morfotectónico. Escala 1: 50 000 (Modificado de Rodríguez A. 1998). Tomado de Pedro L Polanco Almaguer 2009.

1.2.4 Estratigrafía y Magmatismo

La geología regional de Moa se caracteriza por la presencia predominante de la asociación ofiolítica representada esencialmente en los complejos máficos, ultramáficos y en menor grado por el complejo oceánico. Además de las litologías de la asociación ofiolítica están presentes las secuencias del arco volcánico del Cretácico, las que se encuentran en contacto tectónico con las ofiolitas. Secuencias flyschoides y con características olitostrómicas representadas por las formaciones Mícara y La Picota respectivamente, complementan el marco geológico regional. (Muñoz, 1997), las litologías presentes en la región se observan en la tabla 1.2.

Tabla 1.2: Litologías presentes en el área de estudio según Quintas F., 1989 e Iturralde-Vinent, 1996. Tomado de (Rodríguez, A. 1998).

Litología	Asociaciones Formacionales F Quintas, 1989	Estructuro	Elementos Estructurales Iturralde-Vinent, 1996

Rocas Ultrabásicas serpentinizadas y Complejo básico	AEF de la antigua corteza oceánica	Ofiolitas septentrionales	U n i d a d e s O c e á n i c a s	C I N T U R O N P L E G A D O
Fm. Quibiján	AEF del arco volcánico del Cretácico			
Fm. Santo Domingo		Arco volcánico del Cretácico		
Fm. La Picota	AEF cuencas superpuestas al arco volcánico del Cretácico	Cuencas <i>piggy-back</i> 1 ^{ra} generación		
Fm. Mícara				
Fm. Sabaneta	Arco volcánico del Paleógeno	Arco de islas volcánico del Paleógeno		
Fm. Capiro	Cuenca superpuestas de la etapa platafórmica	Cuencas <i>piggy-back</i> 2 ^{da} generación		
Fm. Majimiana Fm. Júcaro Depósitos Cuaternarios	Secuencias terrígeno – carbonatadas de la etapa de desarrollo platafórmico	NEO AUTOCTÓNO		

Según (Rodríguez, 1998) en la región se encuentra el complejo de rocas ultrabásicas que 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, lo cual ha sido objeto de contradicción y explicado de modo diferente por varios investigadores, llegando incluso a considerarse 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, en las zonas de fallas interiores de los macizos y en las zonas de contacto con las rocas básicas. Las rocas de este complejo se caracterizan por presentar un color verde oscuro o gris verdoso y por un alto grado de agrietamiento.

El complejo máfico está representado 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 área de estudio es común el gabro normal de color oscuro algo verdoso con textura masiva o fluidal. Estas rocas presentan alteraciones superficiales en forma de finísimas irregularidades semejantes a un micro relieve cársico, originadas por la meteorización diferencial de los minerales que las componen entre los cuales están los piroxenos monoclinicos, plagioclasas básicas y en menor grado olivino y piroxenos rómbicos. 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.

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.

El complejo vulcano-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte ofiolítico y está representado por la formación Quibiján, constituida por rocas vulcano-sedimentarias intruidas por gabro-pegmatitas, dioritas y diabasas. En la base se encuentran lavas y lavas-brechas, aglomerados y tobas gruesas de composición basáltica y basáltico-andesítica. En su conjunto son de color negro o verde oscuro. Las lavas son amigdaloidales, con amígdalas rellenas de cuarzo y clorita. La porción media superior de la formación se compone de lavas, lavas-brechas, tufo-lavas y en cantidades subordinadas tobas lapillíticas, las cuales se caracterizan por presentar una estratificación gruesa, a veces gradacional. La edad aún se desconoce, ya que no se han encontrado fósiles que puedan revelarla. Algunos autores le asignan una edad Cretácico Inferior - Superior. Aflora en la región de Farallones, al sur de Yamanigüey y en un pequeño bloque de Cupey.

La 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. Las tobas ocupan más del cincuenta por ciento de la formación, apareciendo en la parte superior preferentemente, siendo comunes las variedades cristalovitroclásticas y vitroclástica. Las lavas

aparecen en ocasiones con textura amigdaloidal, predominando las variedades porfidíticas, yaciendo en forma de mantos interestratificados casi concordantes con las tobas. A menudo, junto con las lavas se observan aglomerados de composición entre dacítica y andesítica, muy alterados. 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.

Pertenecientes a las cuencas de *piggy-back* de la primera generación del Cretácico Superior al Paleoceno Inferior, afloran en el área las formaciones La Picota y Mícara, de tipo molásico y flyschoides, acumuladas en algunos casos en zonas de intensa actividad tectónica, por lo que localmente pueden aparecer muy deformadas y formar parte de melanges.

La formación Mícara está compuesta de facies terrígenas y terrígenas carbonatadas de edad Maestrichtiano-Daniano. La secuencia inferior es de tipo molásica y la superior de tipo flysch. El límite inferior no se ha observado, pero se supone discordante sobre la formación Santo Domingo.

En la zona de Cananova, Quintas reportó esta formación compuesta por areniscas de granos medios, con intercalaciones olistostrómicas compuestas de areniscas y gravelitas, con bloques de diversos tamaños de rocas ígneas básicas. Aflora en la zona de Los Indios de Cananova y borde suroeste del cerro de Miraflores.

La formación La Picota tiene una composición muy variable en cortas distancias, a veces con apariencia brechosa y en ocasiones conglomerática, presentando en proporciones variables la matriz y el cemento, este último carbonatado. Existen dudas en algunas regiones donde afloran brechas muy cataclastizadas formando parte de los melanges acerca de su pertenencia a esta formación o si son brechas tectónicas.

De acuerdo a las características de esta formación se estima que la misma se acumuló a finales del Cretácico e incluso en el Paleoceno inicial, asociada al emplazamiento de las ofiolitas, que constituyeron su principal fuente de suministro. Aflora en la base de la Sierra del Maquey y en la meseta de Caimanes.

La actividad volcánica del Paleógeno estuvo restringida fundamentalmente a la parte oriental de la isla, estando representada por las rocas del Grupo El Cobre y la formación Sabaneta de origen vulcano-sedimentario, aflorando sólo esta última en el área de estudio.

La Formación Sabaneta está constituida por rocas vulcanógenas-sedimentarias de granos finos, frecuentemente zeolitizadas o montmorillonitizadas, con intercalaciones de calizas, silicitas, tobas cloritizadas y rara vez basaltos.

En Farallones el corte está compuesto por tobas vitroclásticas y cristalolito clásticas zeolitizadas, en menor grado argilitizadas, tufitas, calizas, radiolaritas, tobas vítreas y tobas cineríticas. Las calizas tobáceas y tufitas aparecen regularmente hacia la parte alta de la formación. La estratificación es buena, siendo frecuentemente gradacional.

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-Daneano. Afloran 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 Formación Capiro compuesta por areniscas, aleurolitas y margas bien estratificadas con intercalaciones de conglomerados finos compuestos por cantos de serpentinitas, calizas y cristaloclastos de piroxeno y cuarzo. Hacia la base de la formación se localizan olistostromas de bloques de serpentinitas muy alteradas y diabasas. En muchos lugares se observa una clara gradación de conglomerados y areniscas. Los olistolitos de calizas organodetríticas contienen fragmentos de serpentinitas, cuarzo y hematita. Se le asigna una edad Eoceno Superior. Aflora en la región de Yamanigüey formando una franja a lo largo de toda la costa.

El neoa autóctono, 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 Majimiana que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado. Estructuralmente estas secuencias se caracterizan por su yacencia

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

La 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.

La Formación Majimiana está constituida por calizas organodetríticas típicas de complejos arrecifales y bancos carbonatados con intercalaciones de margas. Las secuencias de esta formación presentan bruscos cambios faciales en cortas distancias, conteniendo 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.

Sobre todas las litologías antes descritas se encuentran los depósitos cuaternarios que constituyen una cobertura prácticamente continua de génesis predominantemente continental de pocas variaciones diagenéticas y pequeño espesor.

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. (Ver figura 1.8)

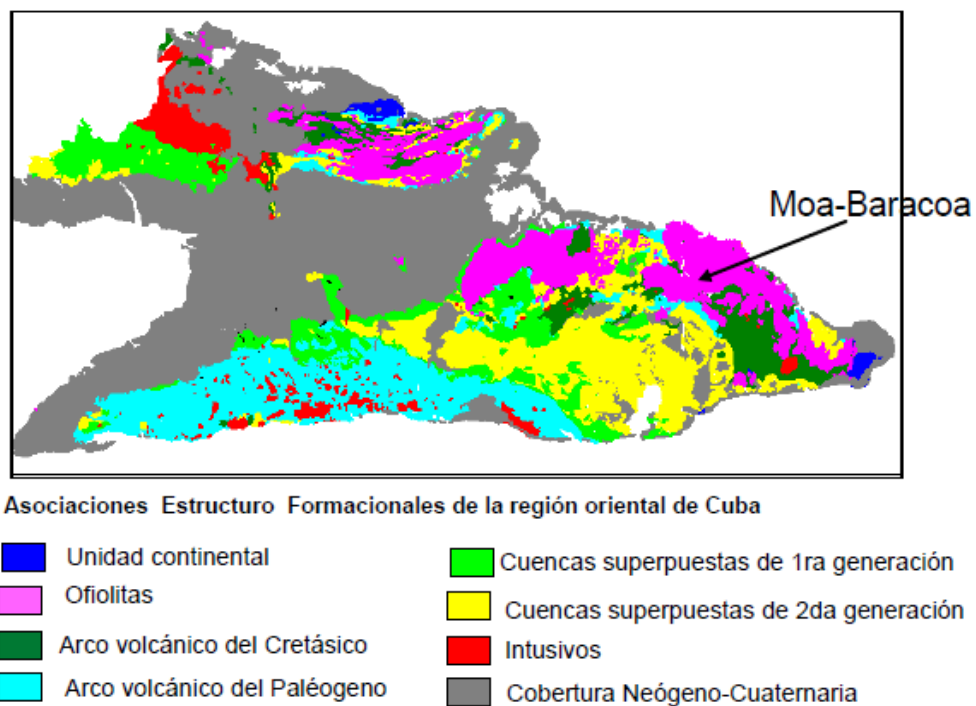


Figura 1.8: Asociaciones Estructuro Formacionales de la región oriental de Cuba (Jiménez, 2013)

CAPITULO II

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

2.1 Introducción

El presente capítulo, contiene la metodología aplicada en la investigación para la evaluación de los riesgos por contaminación hídrica en el río Moa. La cual parte de la recopilación bibliográfica a partir de la búsqueda de materiales y datos de trabajos ejecutados en la región y el área de estudio, describiéndose el procedimiento utilizado en el procesamiento de las bases de datos, así como en las características físico químicas y bacteriológicas del área de estudio. Se dividió el trabajo en cuatro etapas fundamentales según la metodología (Ver figura 2.1)

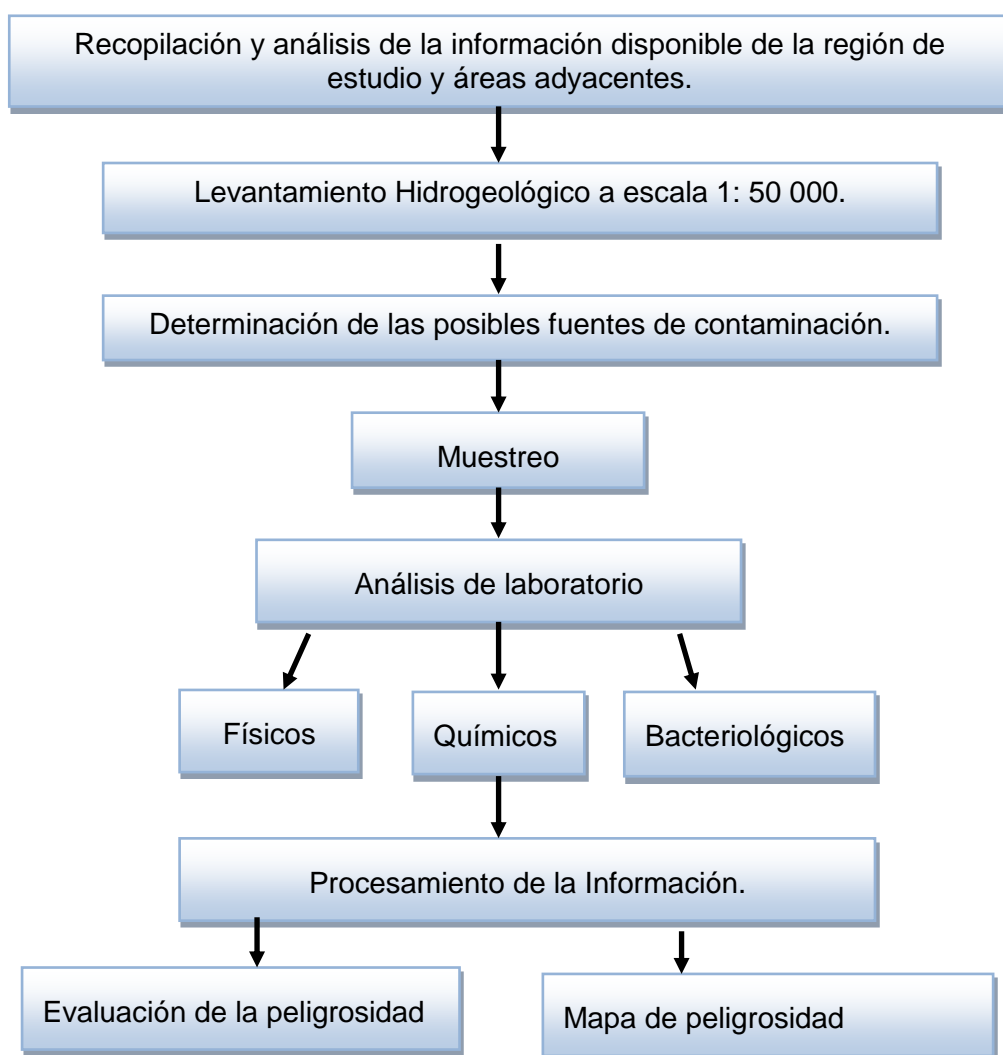


Figura 2.1. Metodología de los trabajos realizados

1.1 Recopilación de la información hidrogeológica existente.

La revisión y análisis de la bibliografía existente se realizó mediante el Centro de información Científico-Técnico del ISMMM conjuntamente con el fondo geológico del departamento de geología, utilizando todo tipo de trabajo existente relacionado con la geoquímica, hidrogeología, hidrología y estudios bacteriológicos.

2.2 Levantamiento hidrogeológico del área de estudio.

Para cumplir con el objetivo del trabajo se realizó un recorrido por un tramo del cauce del río desde la parte abajo del puente que va para la Che Guevara hasta su unión con el Cabaña, donde se fueron midiendo los parámetros físico – químicos, tomando muestras y fotografías en cada punto de documentación. Además se hace una descripción de la vegetación presente en el área, así como, la presencia o ausencia de vida acuática y posibles focos de contaminación que pudieran alterar las características de las aguas del río Moa.

2.3 Reconocimiento de las principales fuentes de contaminación natural y antrópica

1. Arrastre de sedimentos en áreas deforestadas por las actividades mineras que por escurrimiento artificial llegan a las aguas. Existe pérdida de la vegetación natural.



Fig. 2.2 Arrastre de sedimentos.



Fig.2.3 Elevada turbidez y color.

2. Residuales amoniacales provenientes de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.(Fig.2.4 y Fig.2.4)



3. Aguas del río Cabaña contaminado por el Licor Residual (WI) proveniente del proceso de lixiviación ácida de la Empresa Comandante Pedro Soto Alba. que llega al rio Moa a través de su unión con el Cabaña. (Fig. 2.5)



Fig.2.6 Río Cabaña contaminado con aguas residuales ácidas Contaminación puntual.

4. Los procesos de erosión de los suelos, los deslizamientos y el escurrimiento superficial que arrastra gran cantidad de sólidos al río.



5. Los residuales sólidos (colas) son enviadas a una presa de residuos aledaña a la industria que también representa una afectación al medio. Además debido a las lluvias y en ocasiones por deficiencias en la explotación de la presa, se producen arrastre de los residuales que afectan las aguas de los ríos aledaños. (Fig.2.7)



Fig.2.8 Río Moa en las cercanías de la presa de residuos de colas.

6. Se considera que en menos medida se contaminan las aguas con la Despulpadora de café ubicada en Farallones.(afecta río Moa y la presa Nuevo Mundo, la contaminación se diluye un poco al llegar a la Presa Nuevo Mundo.

7. Residuales albañales de los repartos aledaños a la zona de los ríos Cabaña y Moa.
8. Residuales Planta de Hornos y Termoeléctrica, que son depositados en zonas cercana a la desembocadura.

2.4. Descripción de los puntos de muestreo

Para la valoración de la calidad de los recursos hídricos se realizó un muestreo hidroquímico en las aguas superficiales del río Moa. Se tomaron un total de 6 muestras en el tramo se estudio.

Para la elaboración de este mapa se digitalizó la información obtenida luego de los distintos tipos de muestreo efectuados en el ArcGIS y ArcMap.. (Ver Fig.2.9. Ubicación de los puntos de muestreo).

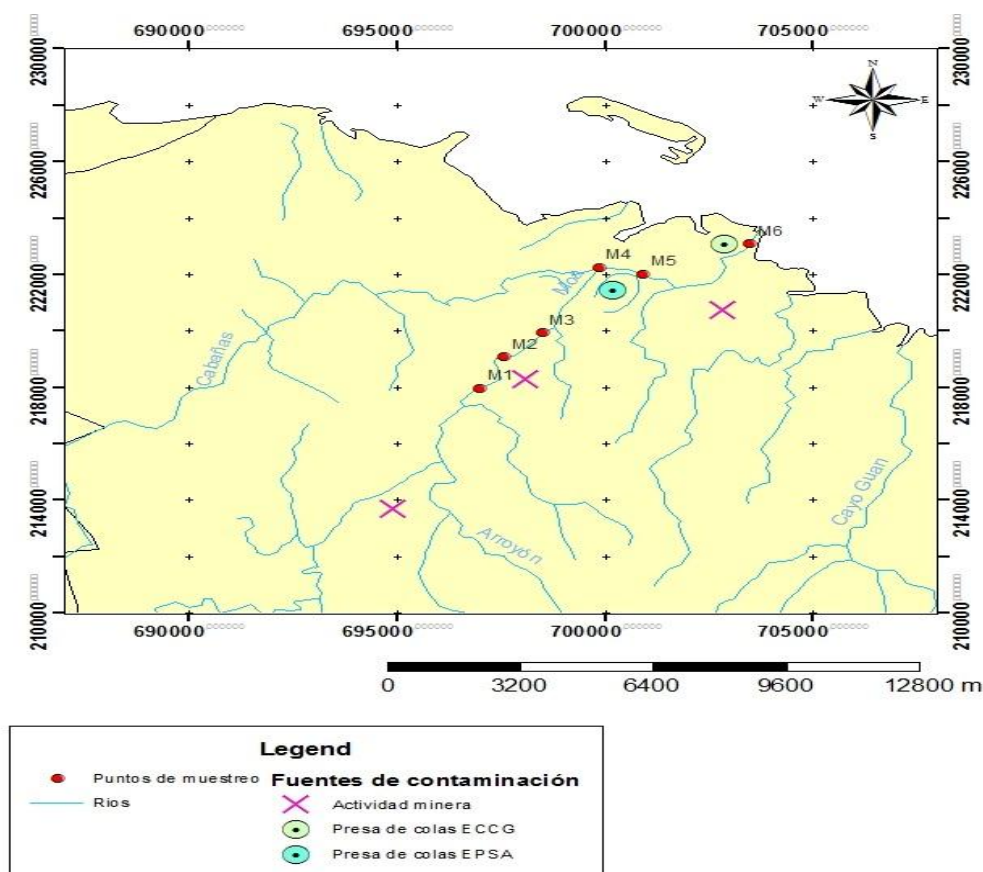


Figura 2.9 Mapa de puntos de monitoreo y contaminantes. (Elaboración propia)

2.5. Técnica de tomas de muestras para análisis físico-químicos.

Uno de los requerimientos básicos en el programa de muestreo es una manipulación ausente de procesos de deterioro o de contaminación de las muestras antes de iniciar los análisis en el laboratorio.

En captación de muestras en ríos, se tomará en la parte en que la corriente sea mayor. El frasco una vez esterilizado con soluciones de ácido clorhídrico y enjuagado con agua filtrada y después destilada para evitar restos de partículas u otro contaminante, se inclinará en un ángulo de 45° , con la boca hacia arriba contra la corriente para evitar que el agua que toca la mano entre en ella. De este modo se llena una cuarta parte con el agua que se quiera captar, se repone el tapón y se le dan al frasco unas cuantas sacudidas para lavar el interior: esta operación se repite dos veces más antes de tomar la muestra.

Después del tercer lavado se llena el frasco por completo con el agua. Durante la operación del llenado del frasco, el tapón se sostendrá con la otra mano para evitar que se ensucie. Análisis físicos, químicos y bacteriológicos

Para evaluar la calidad de las aguas se ha contado con los análisis químicos, físicos y bacteriológicos realizados durante una campaña de muestreo efectuada en periodo de seca. El número total de muestras de agua analizado es de 6, siendo las mismas de agua superficial. La determinación se realiza con el objetivo de valorar los diferentes parámetros físicos-químicos del agua sobre la base de un muestreo hidroquímico.

Las muestras fueron tomadas en el horario establecido antes en envases plásticos con su respectiva codificación, se determinaron los parámetros: temperatura, pH, conductividad y salinidad in situ, posteriormente fueron llevadas al laboratorio tratándose con HNO_3^- concentrado; la porción de la muestra a utilizar para análisis de elementos pesados por el método de E.A.A. según lo establecido por las Normas Cubanas. Los análisis físicos y químicos fueron realizados según la metodología del Estándar Método Internacional. Estos métodos analíticos utilizados son controlados y evaluados con sus respectivos controles de calidad para los trabajos de laboratorio.

Con el objetivo de conocer los macro y micro-componentes más comunes contenidos en las aguas estudiadas se tomaron un total de 6 muestras. A todas

las muestras tomadas se les determinó el pH, conductividad, turbidez, salinidad, STD y color, además de establecerse los contenidos de materia orgánica, residuo seco, mineralización, el grado de contaminación salina, la dureza total, así como algunos elementos pesados tales como: Ni, Co, Mn, Cu, Zn, Cr^{6+} , y el SiO_2 , etc. Se le realizó además análisis bacteriológico con el objetivo de determinar los coliformes fecales y totales presentes y valorar su uso desde el punto de vista higiénico sanitario.

Para la realización de estos análisis nos apoyamos de equipos instrumentales con una buena precisión en los resultados, los cuales mencionamos a continuación:

- Para las determinaciones relacionadas con la conductividad, salinidad y sólidos totales disueltos empleamos el conductímetro WTWLF – 330UNICAM.
- Determinaciones de pH, el potenciómetro WTW UNICAM.
- Por el método de Análisis Colorimétrico fueron determinado el color, la turbidez, Cr^{6+} , SiO_2 , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, Fe, nos apoyamos en el espectrofotómetro DR – 2000 y el espectrofotómetro ultravioleta visible Heliosλ UNICAM.
- Para las determinaciones del Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^- y los restantes elementos se empleó el método de valoración volumétrica, determinándose el residuo seco por el método gravimétrico.
- Los elementos pesados Ni, Co, Cu, Zn, Na^+ y K^+ , etc. fueron determinados por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

2.6 Clasificación de las aguas por su composición química y uso en la agricultura.

Para establecer una clasificación de las aguas más clara y comprensible, en los distintos aspectos (según su mineralización, dureza, pH, el tipo de agua, contenido de carbonato de sodio residual, salinidad potencial y el índice de salinidad marina), nos apoyamos en el libro de hidrogeología general del Dr. Constantino De Miguel. Se utilizó el Microsoft Excel para la realización de tablas y cálculos correspondientes a lo dicho anteriormente:

2.7. Incidencia de los contaminantes en la salud:

La EPA (Environmental Protection Agency) ha establecido estándares de seguridad para más de 80 contaminantes que pueden encontrarse en el agua potable y presentan un riesgo a la salud humana. Estos contaminantes se pueden dividir en dos grupos de acuerdo a los efectos que pudiesen causar.

Los efectos agudos ocurren dentro de unas horas o días posteriores al momento en que la persona consume un contaminante. Casi todos los contaminantes pueden tener un efecto agudo si se consume en niveles extraordinariamente altos en el agua potable, en esos casos los contaminantes más probables que causen efectos agudos son las bacterias y virus. La mayoría de los cuerpos de las personas pueden combatir estos contaminantes microbianos de la misma forma que combaten los gérmenes, y típicamente, estos contaminantes agudos no tienen efectos permanentes. No obstante, le pueden causar enfermedades a las personas y pueden ser peligrosos o fatales para una persona que posea un sistema inmune débil debido a VIH/SIDA, quimioterapia, uso de esteroides o por cualquier otra razón.

Los efectos crónicos ocurren después que las personas consumen un contaminante a niveles sobre los estándares de seguridad de EPA durante muchos años. Entre los ejemplos de efectos crónicos de los contaminantes del agua potable, están el cáncer, problemas del hígado o riñones o dificultades en la reproducción.

Los efectos de la exposición a cualquier sustancia toxica dependen de la dosis, la duración, la manera como se está expuesto, los hábitos y características personales y de la presencia de otras sustancias químicas. A continuación se exponen estas incidencias de los contaminantes determinados en los puntos de monitoreo:

Cobre Total NMC: 1.3 Nivel de acción = 1.3; TT⁶ por encima Exposición a corto plazo: molestias gastrointestinales. Exposición a largo, produce lesiones hepáticas o renales. Aquellos con enfermedad de Wilson deben consultar a su médico si la cantidad de cobre en el agua superara el nivel de acción.

Cromo (total) nivel máximo de contaminante es 0.1 por encima de esta concentración puede producir Dermatitis alérgica.

Nitrato

Es medido como nitrógeno cuando la NMC es más de 10 mg/l. Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitratos que el NMC, podrían enfermarse gravemente; si no se los tratara, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azúl).

Nitrito

Es medido como nitrógeno 1 mg/l concentración de nitritos menos que el NMC. Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitritos que el NMC, podrían enfermarse gravemente; si no se los tratara, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).

Dificultades para la reproducción o problemas en el sistema nervioso; alto riesgo de cáncer. Es producto de las aguas de escorrentía de vertederos; aguas con residuos químicos.

Turbidez- 5 NTU. TT⁸

La turbidez es una medida del enturbiamiento del agua. Se utiliza para indicar la calidad del agua y la eficacia de la filtración (por ejemplo, para determinar si hay presentes organismos que provocan enfermedades). Una alta turbidez suele asociarse a altos niveles de microorganismos causantes de enfermedades, como por ejemplo, virus, parásitos y algunas bacterias. Estos organismos pueden provocar síntomas tales como náuseas, retortijones, diarrea y dolores de cabeza asociadas. Agua de escorrentía por el terreno.

Hierro (Fe).

Es un elemento muy común y como elemento traza es esencial para animales y plantas, ingerido en grandes cantidades en alimentos o agua puede ser acumulativo en la sangre y producir efectos adversos al organismo. Cuando el agua presenta un estado oxigenado, el hierro ferroso se oxida a férrico y precipita.

Magnesio (Mg^{2+}).

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

2.8 Mapa de peligrosidad de las aguas del río Moa

Para la realización de este mapa se utilizó el ArcGIS y ArcMap para el procesamiento de los resultados obtenidos y dictar un plan de medidas correctoras. (Fig. 3.19)

2.9. Procesamiento y análisis de la información

A partir de los resultados obtenidos del laboratorio se procesó la información mediante las metodologías existentes al efecto que permitiera la clasificación de las aguas según diferentes autores; así como el empleo de diferentes software que permitieron digitalizar la información, tales son: El Microsoft Excel, ArcMap y el Microsoft Word 2010 que se utilizó para la confección y configuración del informe final de la investigación.

CAPITULO III. ANALISIS DE RESULTADOS

3.1. Introducción.

La definición básica de evaluación de la calidad del agua se describe como una variante al monitoreo para establecer la naturaleza y el grado de contaminación del agua. Esta evaluación es un proceso de disímiles enfoques, la cual tiene

como objetivo caracterizar física, química e impacto ambiental con relación a la calidad natural, efectos humanos y otros usos.

El objetivo fundamental está dirigido a evaluar la calidad físico-química de las aguas y las principales fuentes de contaminación que llega al río Moa (tramo de estudio), determinar los posibles riesgos y proponer medidas correctoras o de mitigación.

El factor antrópico se analiza mediante las prácticas del uso de los suelos de la cuenca del río Moa que permiten clasificar la cuenca en áreas industriales, de exploración y de minería de yacimientos lateríticos, presas de residuos o colas. La degradación de los suelos de estos sectores se asocia fundamentalmente a procesos geodinámicos exógenos como los deslizamientos y erosión en cárcavas, condicionados fundamentalmente por las potencias y humedad de las cortezas lateríticas, pendientes y concavidad del terreno, y las subpresiones de las aguas subterráneas así como la acción de la escorrentía.

El resto del área de la cuenca está afectada por procesos de degradación de suelos que se desarrollan de forma intensa y que se relacionan con determinados usos como las zonas de desarrollo minero, presas de colas, instalaciones industriales, mal manejo de desechos sólidos en zonas aledañas, aguas residuales de diferentes composición, la degradación las zonas de exploración geológica en las cuales las afectaciones son parciales debido fundamentalmente a la construcción de plataformas de perforación, trochas y caminos de exploración.

Unos de los factores más importantes y que constituye un indicador del proceso de degradación de suelos es la pérdida de vegetación. Este factor permite cuantificar que área se ha perdido en la cuenca producto a la deforestación y los incendios forestales, como acciones más directas sobre el medio.

Las elevadas pendientes aceleran los procesos erosivos, generando suelos cada vez menos productivos, lo que dificulta los procesos de rehabilitación minera de los yacimientos lateríticos explotados y las áreas industriales.

La ausencia de vegetación se relaciona espacialmente con las áreas afectadas por la acción antrópica intensa debido a la industria y la minería.

3.2. Evaluación de las aguas por su composición química y para uso en la agricultura.

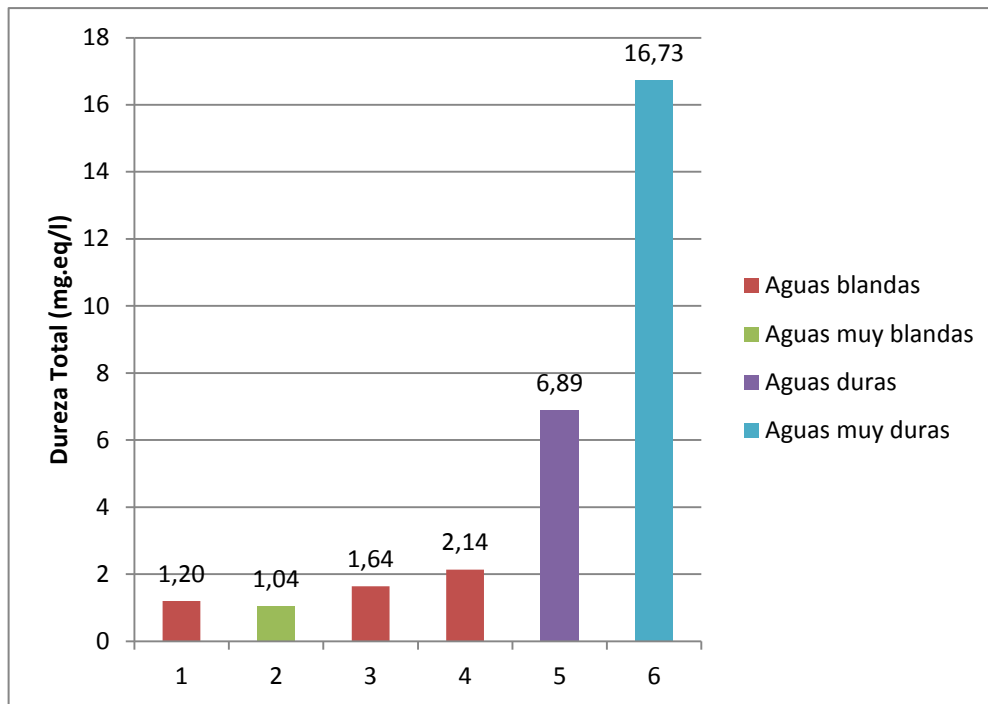


Figura 3.1 Clasificación de las aguas por su dureza total

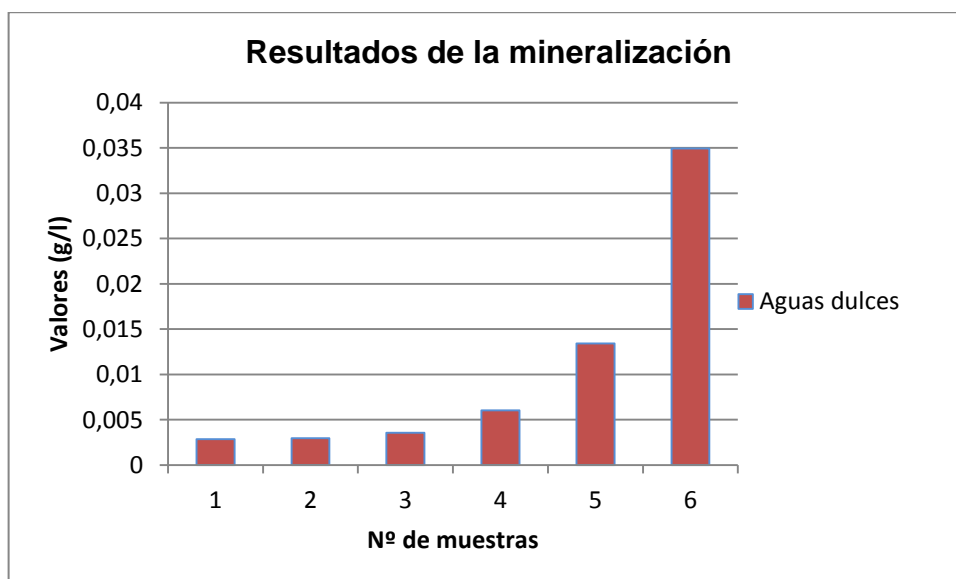


Figura 3.2 Clasificación de las aguas según su Mineralización (g/l)

Evaluación del Índice de Salinidad Marino

Según los resultados presentados en el gráfico siguiente, se determinó que la muestra 4 es la más alta en cuanto al índice de salinidad marino provocado por la incidencia de las aguas contaminadas del río Cabaña.

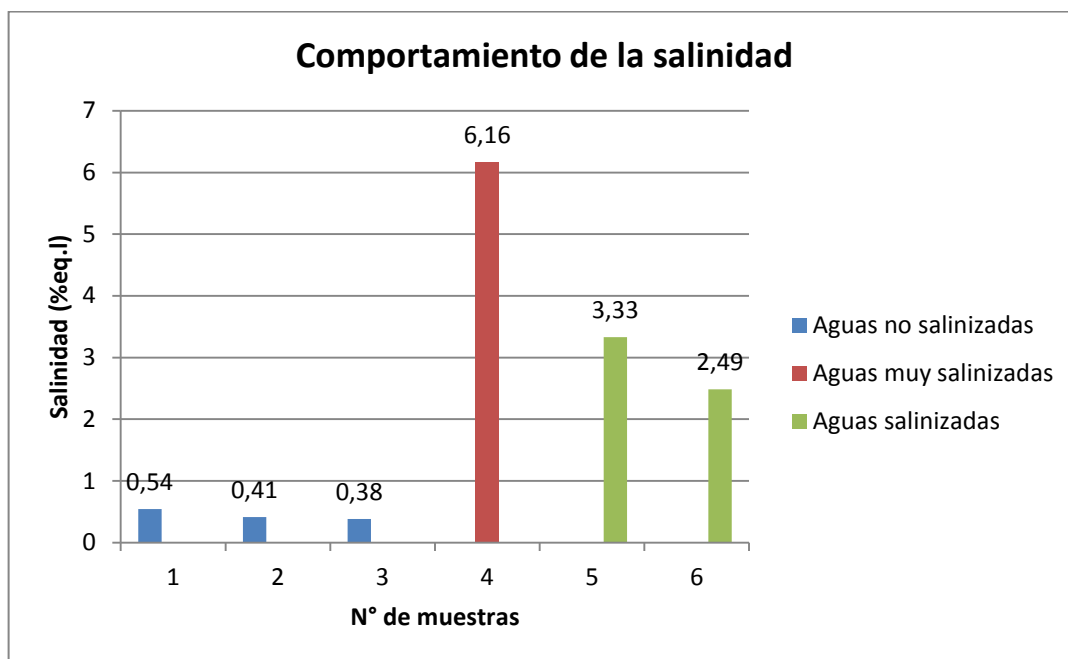


Figura 3.3 Clasificación de las aguas por el índice de salinidad marino

Las aguas según la salinidad potencial .a partir de la muestra 4 no son buenas para el riego, además de su bajo pH, que provoca la acidificación de los suelos.(Fig.3.4)

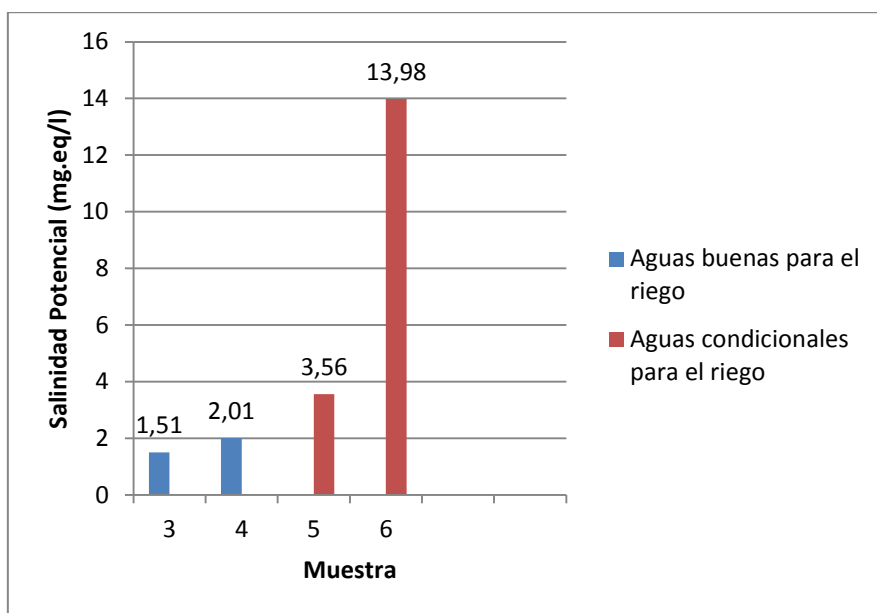


Figura 3.4 Clasificación de las aguas según Aceves y Palacios

3.3. Valoración de las propiedades físicas de las aguas del río el trayecto estudiado

Color. Esc/Pt-Co

Se encuentra en el rango desde (89-999,8) en la Esc-Pt/Co, el color de estas muestras está dado por los contenidos de sustancias minerales, como el Fe, y otras sales disueltas en el agua, las muestras 4, 5 y 6 presentan valores de color por encima de las normas permisibles fuera de los valores deseables y admisibles. (Ver anexo 1)

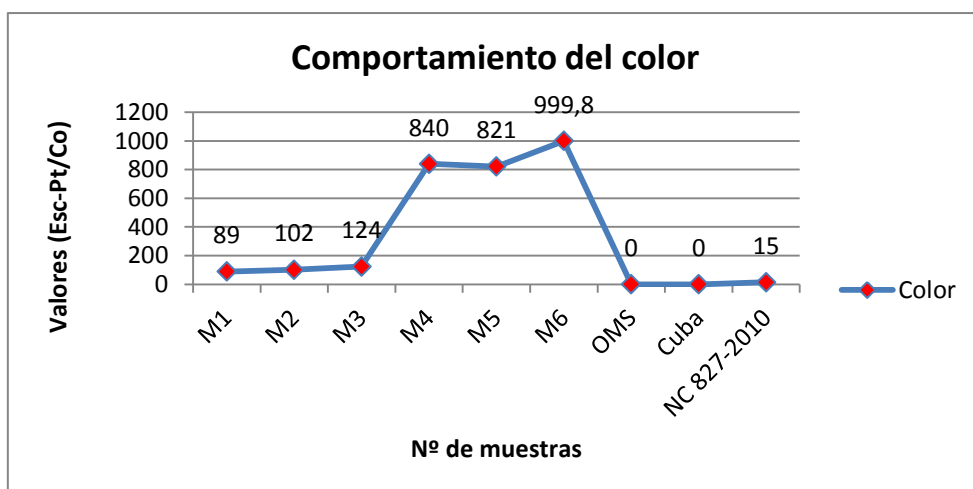


Figura 3.5. Comportamiento del color en los puntos de muestreo (Esc-Pt/Co)

Turbidez. NTU

Los valores se encuentran en un intervalo desde 30-298 NTU, estas aguas son turbias porque tienen elementos sólidos totales disueltos y en suspensión que influyen en la turbidez, la cual está por encima del Límite Máximo Admisible (LMA), según la norma cubana 827 del 2010. Y las normas de la OMS.

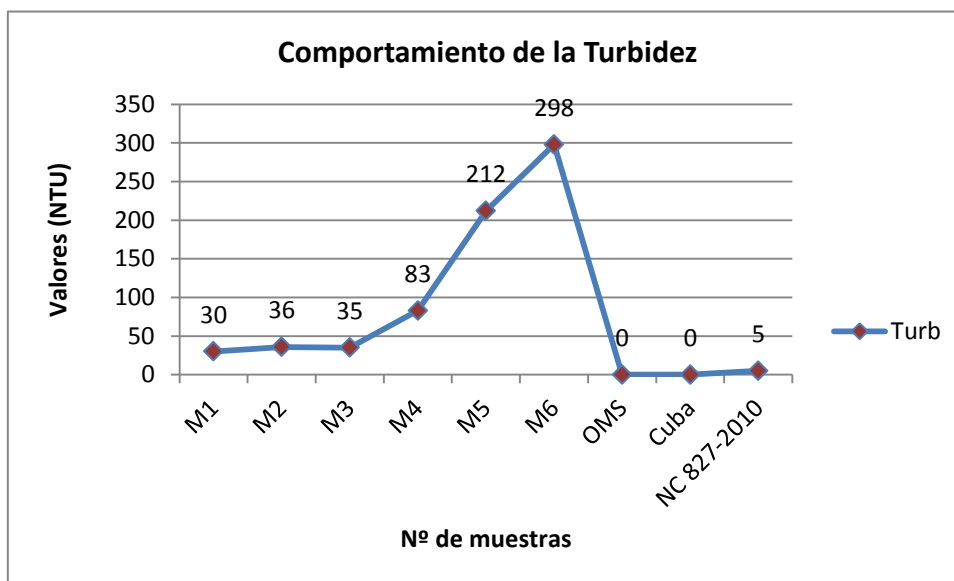


Figura 3.6. Comportamiento de la turbidez en los puntos de muestreo (NTU)

Sólidos totales disueltos (STD).

El agua natural tiene iones en disolución que son proporcionales a la cantidad de sustancias disueltas, conductividad y salinidad. Los valores oscilan entre 49 y 3852 mg/l. Las muestras 4, 5 y 6 son las que están por encima de la norma según la OMS y Normas Cubanas ocasionados por la presencia sólidos en suspensión y los residuales ácidos .que provocan una disolución de las partículas. Consideramos que se deben seguir controlando los valores de sólidos disueltos. (Fig.3.7)

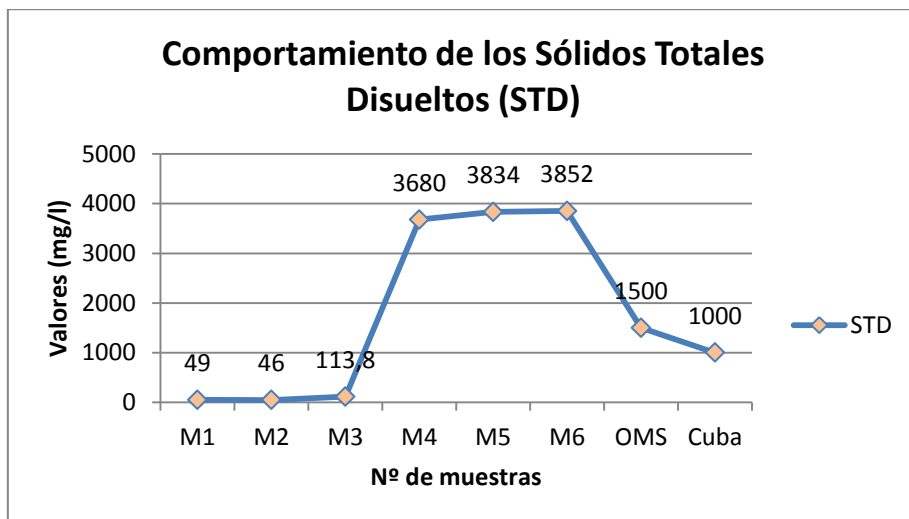


Figura 3.7. Comportamiento de los sólidos totales disueltos en los puntos de muestreo (mg/l)

3.4 Análisis de los resultados de las propiedades físicas-químicas de las aguas del Río Moa. (Tabla 3.2, 3.3 y 3.4)

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

Nos expresa el carácter conductor de la electricidad en el agua como consecuencia de su contenido iónico, de su concentración y de la temperatura de medición. Los valores de conductividad están representados por 108 hasta 8492 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esto es debido a una alta mineralización en la composición de las aguas superficiales. (Fig.3.8)

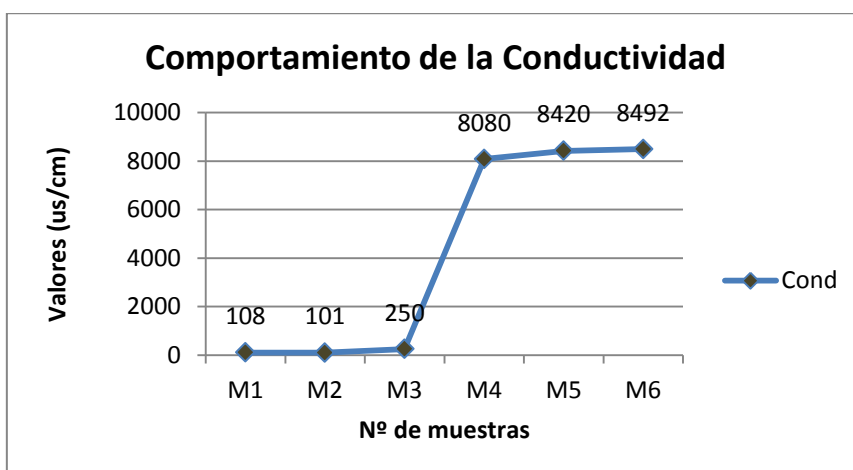


Figura 3.8. Comportamiento de la conductividad en los puntos de muestreo ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

pH.

El pH del agua representa su acidez o su alcalinidad, cuyo factor más importante es habitualmente la concentración de ácidos o bases debido a la mineralización total. Los valores de pH oscilan entre 7,41 a 5,8 clasificándose como aguas débilmente básica, neutra, muy ácida, y débilmente ácida. El pH es deseable de 7 a 8 y máximo admisible de 6,5 a 8,5. (Fig.3.9).

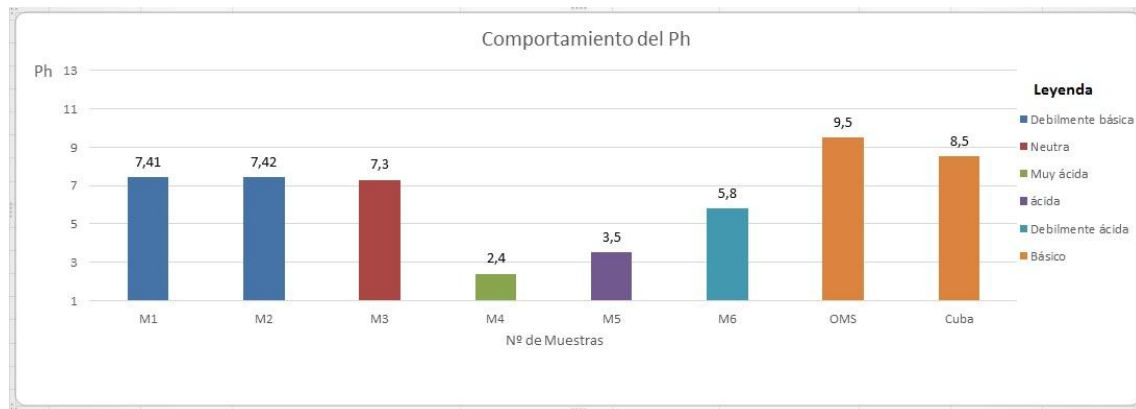


Figura 3.9. Comportamiento del pH en los puntos de muestreo.

Calcio (Ca^{2+}).

Este elemento se comporta bastante estable en todas las muestras, sin embargo sus valores están por debajo de los límites deseados 70 mg/l y con relación a los Límites Máximos Admisibles 200 mg/l, este elemento es necesario para el buen desarrollo del organismo humano. Suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Si la concentración de calcio esta entre 10 y 15 mg/l es porque existe la influencia de algún contaminante. En este caso en las aguas del río Moa hay déficit de calcio. (Fig.3.10)

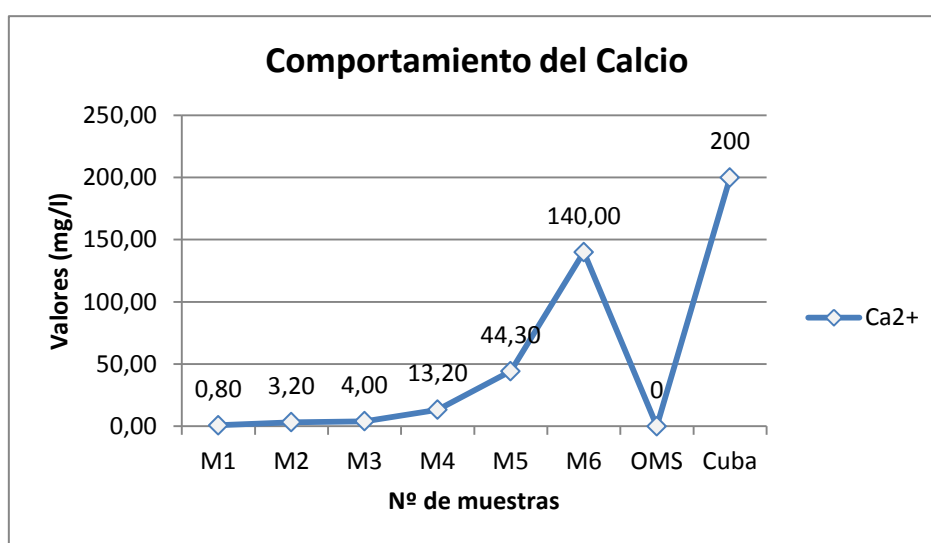


Figura 3.10. Comportamiento del calcio en los puntos de muestreo (mg/l)

Magnesio (Mg^{2+}).

El contenido de magnesio en las aguas está entre (14,09-118,50 mg/l), los mayores valores se encuentran en las muestras 5 y 6, están influenciados por el arrastre de este elemento diluidos en el agua., encontrándose todos los valores por debajo de la concentración máxima admisible (150 mg/l). (Fig.3.11)

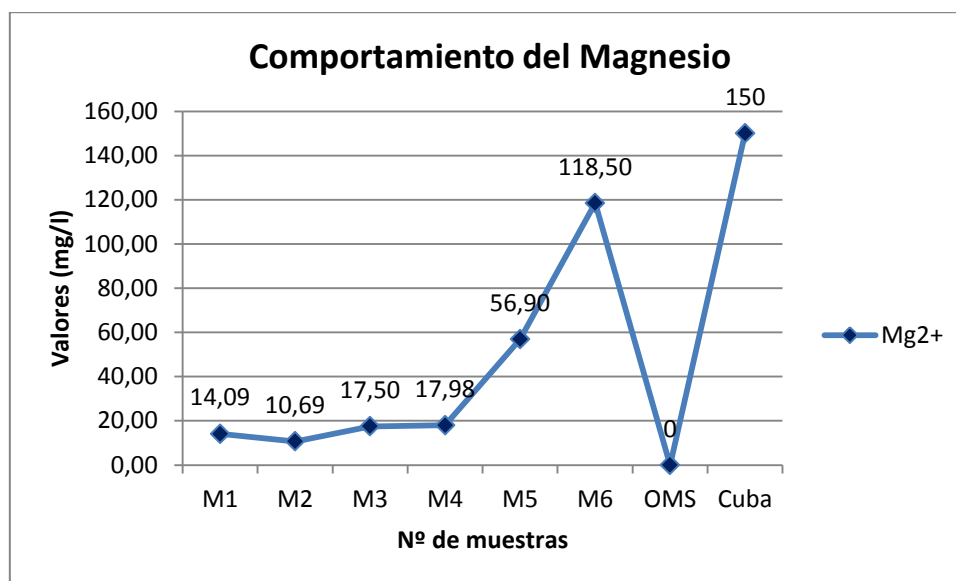


Figura 3.11. Comportamiento del magnesio en los puntos de muestreo (mg/l)

Sodio (Na^+) y Potasio (K^+)

Las concentraciones de sodio oscilan entre 4,08-41,2 mg/l. Los mismos están dentro de los Límites Máximo Admisibles (LMA) según la Norma Cubana (NC).

Las concentraciones de Potasio oscilan entre (0,08 - 1,34 mg/l), las bajas concentraciones es debido a los procesos de intercambio al ser fijado por un material arcilloso en la corteza, este se encuentra por debajo de la concentración máxima admisible según la reglamentación Técnico-Sanitaria. El potasio tiende a ser fijado irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de absorción en la superficie de minerales con alta capacidad de intercambio iónico en estas muestras es muy bajo.

En ocasiones, las más altas concentraciones pueden ser indicio de contaminación por vertidos de aguas residuales.

Hierro (Fe).

El hierro es un elemento muy común, su origen se debe a la disolución de los silicatos férricos aunque es probable que parte de este hierro (Fe^{2+}) se deba a la oxidación de los sulfuros existentes en las peridotitas. En el área de estudio este elemento traza se encuentra dentro de las normas establecidas

nacionalmente con valores entre 1,990 - 23,500 mg/l, los mayores valores son debido al escurrimiento superficial, procesos de erosión de los suelos y a las litologías presentes. Los cuales presentan composiciones variadas. (Fig.3.12)

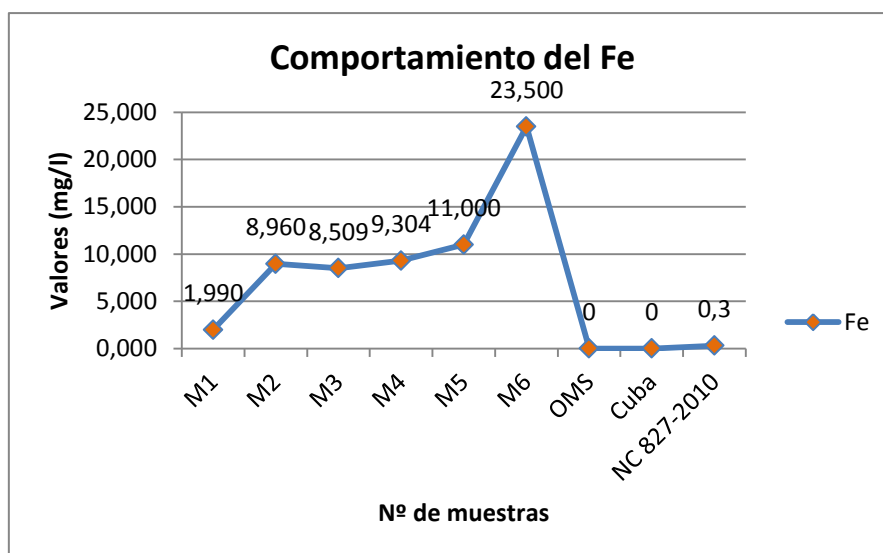


Figura 3.12. Comportamiento del hierro en los puntos de muestreo (mg/l)

Nitrato (NO_3^-)

Las concentraciones de nitrato oscilan de 0,023 - 34,8 mg/l, el cual por las normas cubanas está dentro de los Límites Máximos Admisibles (LMA), pero por la Organización Mundial de Salud (OMS) se encuentra por encima.

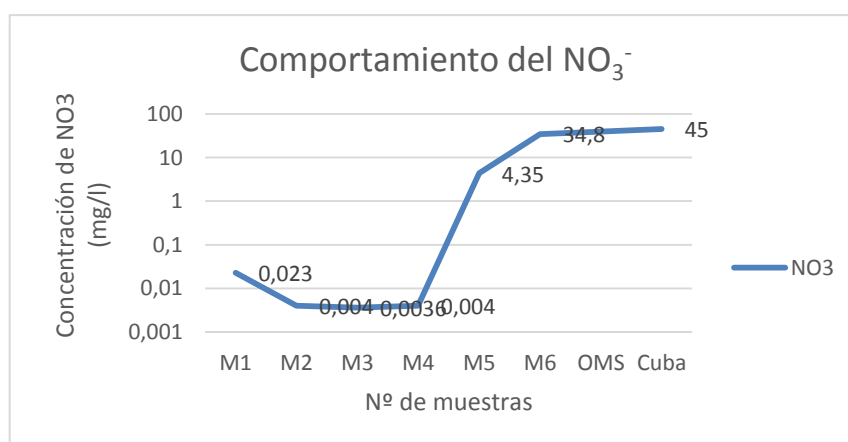


Figura 3.13. Comportamiento del nitrato en los puntos de muestreo (mg/l)

Cromo 6+

El Cr6+ es un contaminante fuerte que debe estar ausente, por el peligro que presenta, es toxico y muy dañino. Sus valores van desde 0,39-0,667 mg/l, lo que demuestra que están muy por encima de las distintas normas. (Fig.3.14)

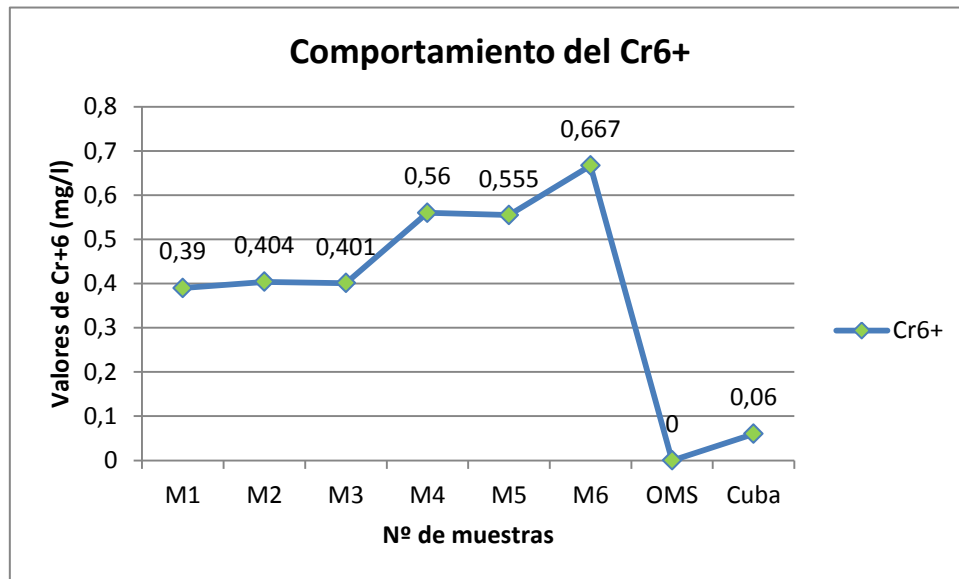


Figura 3.14. Comportamiento del cromo 6 en los puntos de muestreo (mg/l)

Cromo Total

El comportamiento de los valores de cromo son muy elevados, por lo que están muy altos según las diferentes normas. (Fig.3.15)

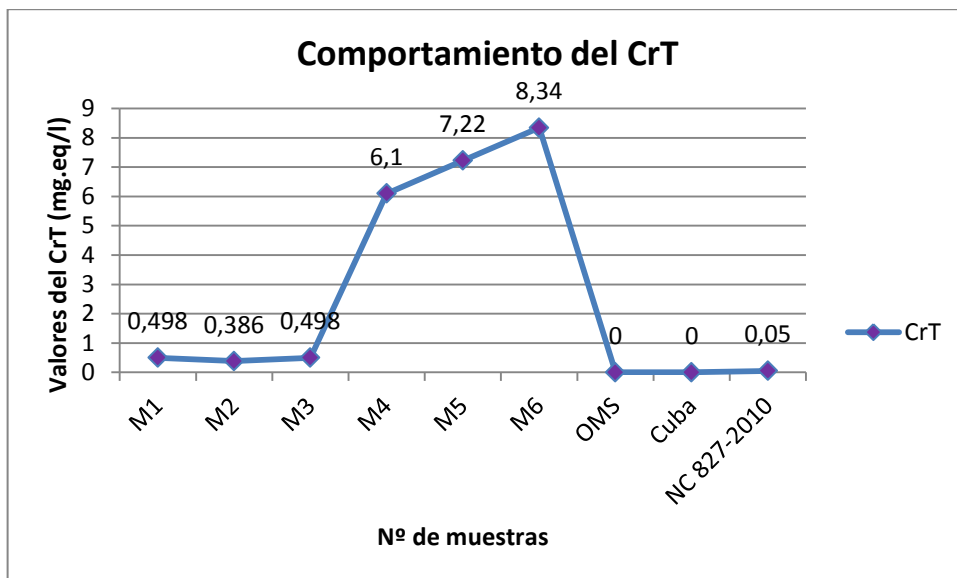


Figura 3.15. Comportamiento del Cromo total en los puntos de muestreo (mg/l)

Níquel

Los valores de níquel oscilan desde 0,063-0,165 mg/l. Según las normas cubanas está por debajo de los LMA (Límite Máximo Admisible). (Fig.3.16)

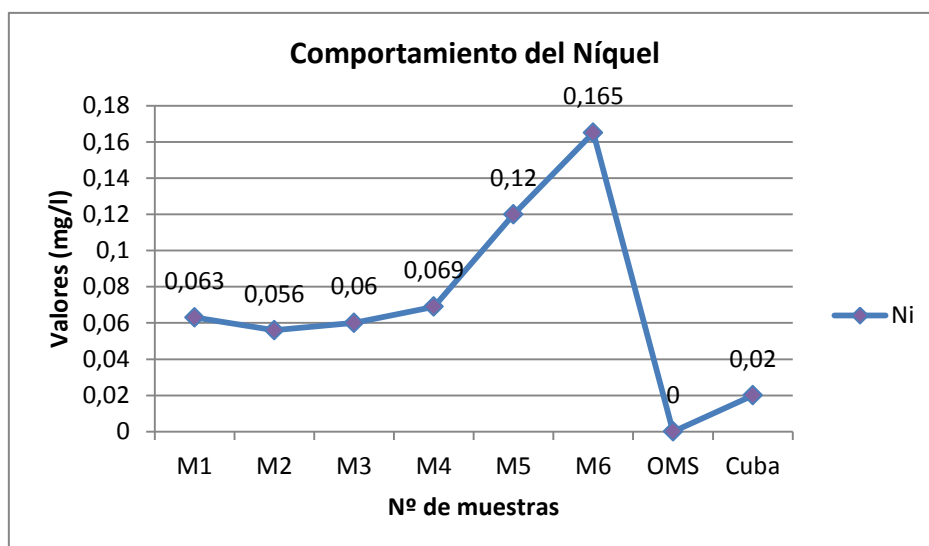


Figura 3.16. Comportamiento del níquel en los puntos de muestreo (mg/l)

Cobalto

Los valores de cobalto están entre 0,002-0,81(mg/l), lo que demuestra que está por debajo de los LMA según la Norma Cubana. (Fig.3.17)

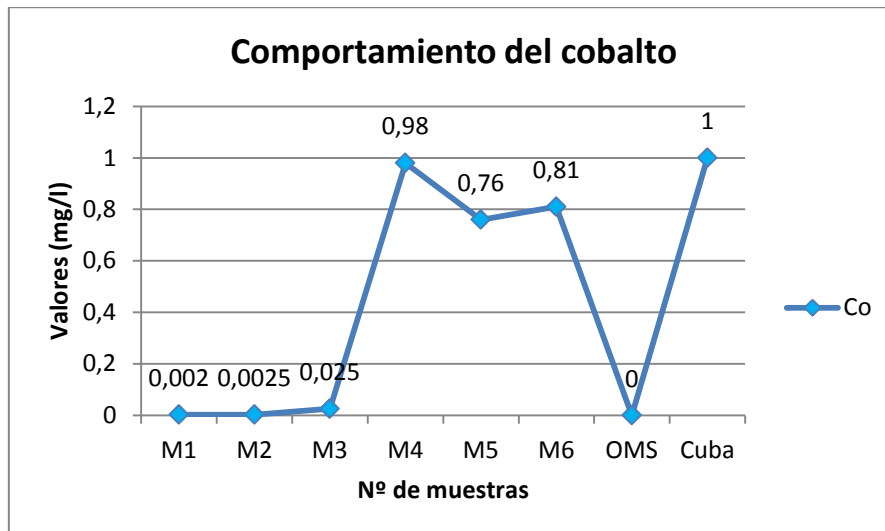


Figura 3.17. Comportamiento del cobalto en los puntos de muestreo (mg/l)

Zinc

El comportamiento de los valores de zinc oscilan desde 0,15-0,52 (mg/l) lo que describe un bajo comportamiento según las normas cubanas y la OMS.(Figura 3.18)



Figura 3.18. Comportamiento del zinc en los puntos de muestreo (mg/l)

3.5 Análisis de la peligrosidad

Evaluar el peligro es “pronosticar” la ocurrencia de un fenómeno con base en el estudio de su mecanismo generador, el monitoreo del sistema perturbador y/o el registro de eventos en el tiempo (Cardona, 1994). Independientemente de las diferentes categorías, lo cierto es que todos los autores coinciden en que, en la categorización que se establece para la evaluación del peligro, se puede cuantificar en términos de la magnitud del acontecimiento (parámetro del evento), en este trabajo, “concentración de metales pesados, concentración coliformes fecales y totales, contaminación por hidrocarburos, alteración de las propiedades físicas y químicas, o en términos del efecto que los procesos tendrán en un lugar particular (parámetro de sitio), en este caso, deterioro de la calidad del agua.

Para la evaluación del peligro que representa la contaminación se establecieron cuatro categorías: bajo, medio, alto y muy alto (Tabla 3.1).

Tabla 3.1 Contaminantes que corresponden a las diferentes categorías de peligro.

Contaminantes	Rango de concentración	Peligro
Metales, desechos sólidos, aguas residuales industriales, aguas ácidas, contaminación bacteriológica, contaminación por hidrocarburos. Contaminación físico química.	Por encima de los límites máximos permisibles.	Alto
Metales, desechos sólidos, aguas residuales industriales, aguas ácidas, contaminación bacteriológica, contaminación por hidrocarburos. Contaminación físico química.	Debajo de los límites máximos permisibles.	Medio
Ausencia de contaminantes	Ausente	Bajo

3.6 Mapa de peligrosidad

En este mapa se representa la peligrosidad según los resultados de los análisis de laboratorio correspondientes a cada muestra y según su peligrosidad. Logramos determinar que las muestras 1, 2 y 3 están afectadas por la contaminación minera y escurrimiento artificial, por lo que se clasifica la peligrosidad como baja y media respectivamente. Ya en las muestras 4, 5 y 6 se produce un aumento en la peligrosidad debido a la contaminación por el Licor Residual (WL), vertidos al río Cabañas, afluente principal del río Moa. Y posteriormente los residuales de planta de horno, Termoeléctrica (Figura 3.19)

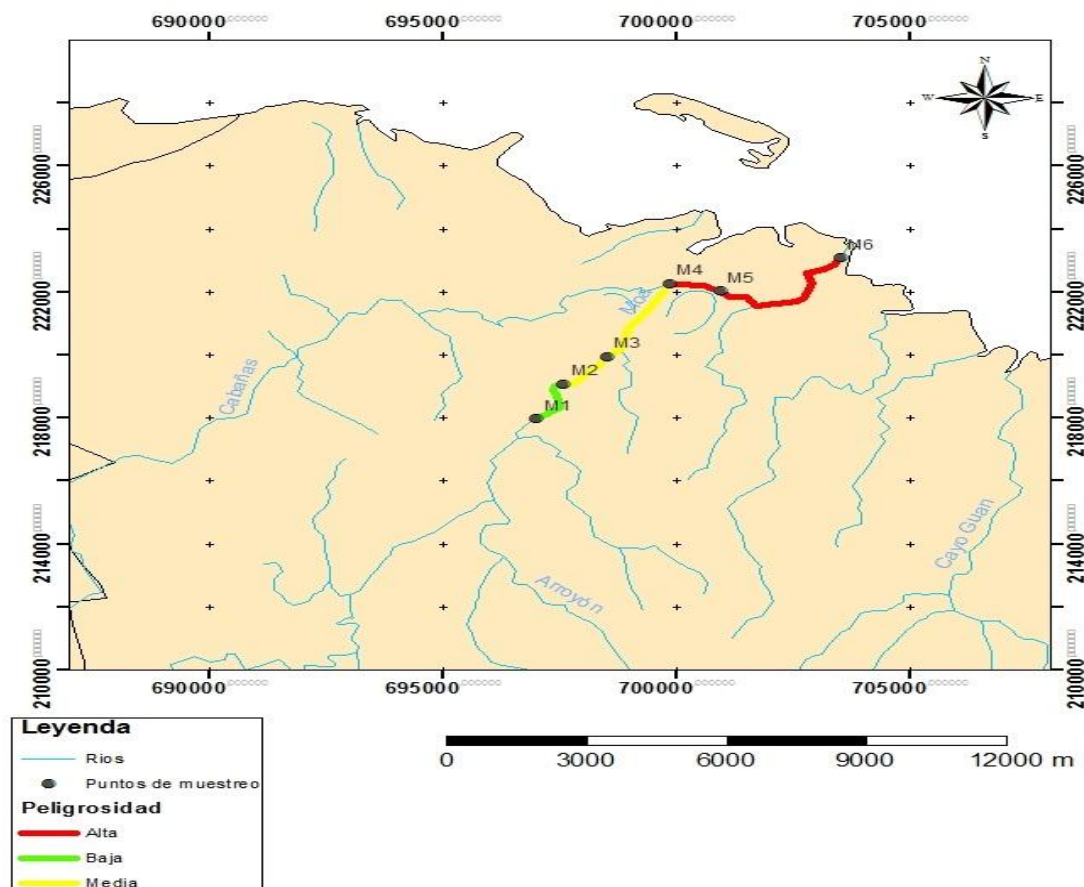


Fig.3.19 Mapa de peligrosidad por contaminación de las aguas del río Moa.

(Elaboración propia.)

3.7 Efectos tóxicos de los contaminantes críticos. Incidencia en la salud.

Los elementos nitrogenados, el ión nitrito puede estar presente en las aguas bien como consecuencia de la oxidación del NH_3^- o como resultado de la reducción microbiana o no de los nitratos. Su presencia en el agua debe considerarse como un indicio fundado de una posible contaminación reciente (dada su inestabilidad) y tal vez de la no potabilidad del agua debido a la toxicidad de este ión. La aparición de los nitritos y nitratos en el agua subterránea también puede ser de origen químico, provocado por el vertimiento de residuales industriales. Los nitritos de forma natural pueden encontrarse en suelos que contengan un pH superior a 7.7.

Se recomienda el estudio de la concentración de hidrocarburo ya que muchas de las sustancias contenidas en el petróleo, como el benceno, son cancerígenos humanos, los efectos en la salud al consumir agua contaminada por hidrocarburos, especialmente, en mujeres embarazadas y niños.

3.8 Riesgos hidrogeológicos provocados por los contaminantes de diferentes categorías que afectan la calidad natural del agua.

1. Cambios geomorfológicos e impacto paisajístico

Se producen los deslizamientos y la erosión de los suelos por arrastre hídrico y descargas de aguas residuales de las industrias, aumentan la turbidez que dificulta la vida de algunos organismos y destruyen sitios de alimentación o desove de los peces.

2. Degradación de los suelos y extensas lluvias provocan alteraciones de turbidez, color y sólidos totales disueltos y sólidos en suspensión y esto induce al uso excesivo de reactivos químicos costosos utilizados en el proceso de tratamiento de las aguas para consumo humano e industrial, al igual que los altos valores de sólidos totales en suspensión y sedimentables que generan concentraciones de metales como el níquel, hierro, cobalto, la turbidez y el color generando un gran impacto económico.

3. Alteraciones del suelo y modificación de sus propiedades.

Las aguas contaminadas con residuales ácidos, debido a la disminución del pH, provocan alteraciones a la composición química del suelo y de los sedimentos, afectando además, los sembrados de la comunidad cercana al reparto Rolo Monterrey y otras áreas.

4. Daños a los organismos y ecosistemas marinos.

Las aguas contaminadas por los residuales ácidos, procedentes de la unión de río Moa y del río Cabaña y los elevados valores de color y turbidez, dañan a la bahía de Moa, afectando la calidad de sus aguas, la vida acuática y el impacto paisajístico.

3.9 Valoración económica de los trabajos realizados.

El costo de los análisis realizados en el laboratorio de la potabilizadora de la E.C.G se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.5. Costo en CUC y MN de los análisis realizados en el Laboratorio de la Potabilizadora de la E.C.G

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	6	2,7	12
Turbidez	0	0,35	6	0	2,1
Calcio	2,31	2,50	6	13,86	2,18
.Magnesio	0	5,55	6	0	33,3
pH	0,47	2,10	6	2,82	2,82
Cloruro	0,46	17,75	6	2,76	2,76
Sulfato	2,07	5,25	6	12,42	31,5
Hierro	1,99	9,45	6	11,94	56,7
Sodio	1,57	9,20	6	9,42	119,6
Potasio	0	8,30	6	0	49,8
Nitrito	1,25	16,10	6	7,5	7,5

S.T.D	0,35	10,40	6	2,1	62,4
DQO (Materia Orgánica.)	3,75	17,95	6	22,5	107,7
Conductividad	0,35	1,80	6	2,1	2,1
Costo total	15,02	108,7	6	90,12	652,2

Tabla 3.6 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 Gabinetes	11,54	807,8
Informe final	2,89	89,59
Total	39,71	4687,59

CONCLUSIONES

1. Las principales fuentes de contaminación que llegan a las aguas del río Moa están ocasionadas por la acción antrópica, influyendo de forma principal la desforestación debido a la exploración y explotación de los yacimientos lateríticos, la construcción de caminos, carreteras, puentes; los procesos de erosión representados por erosión en cárcavas y deslizamiento de laderas condicionado por relieve de altas pendientes y altos índices pluviométricos entre 1800 y 3450 mm anuales. Otra fuente importante son las aguas residuales ácidas (WL) procedente del proceso de Lixiviación ácida de la Empresa Pedro Soto Alba SA. y las aguas residuales amoniacaes del proceso Carbonato amoniacal de la empresa Ernesto Che Guevara, sólidos depositados en las laderas del río (Chatarra de hierro, desechos sólidos de diferente composición), la presa de residuos que alteran la composición natural del agua.
2. Se observa un aumento progresivo sobre las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas en el curso del río, la alta turbidez y sólidos en suspensión provoca alteraciones en la calidad del agua, lo que conlleva a un mayor consumo de reactivos químicos en el proceso de potabilización de la Planta Potabilizadora de la Empresa Ernesto Che Guevara. Los valores elevados por encima de los máximos admisibles para agua potable en algunos puntos, es debido a la presencia de un pH ácido que provoca la disolución de metales presentes como Níquel, Cobalto, Cromo T, Cr 6+, debido fundamentalmente a la litología de la zona por la cual circulan y al desarrollo minero que incrementan los procesos de contaminación. Las aguas del río Moa se clasifican por su mineralización como aguas pocas mineralizadas, por su pH como aguas ligeramente básicas a muy ácidas, según la clasificación de Aliokin son aguas Sulfatadas - magnésicas del tipo I, por su dureza son aguas blandas.

- Para la evaluación de la peligrosidad de las aguas del río Moa considerando los principales contaminantes, se establecieron cuatro categorías de peligro para aguas superficiales que presenten contaminantes de diferente composición: Metales, desechos sólidos, aguas residuales industriales, aguas ácidas, contaminación bacteriológica, contaminación por hidrocarburos, contaminación físico química. (bajo, medio, alto y muy alto). el mapa de peligrosidad y se identificaron los principales riesgos por contaminación de estas aguas.

RECOMENDACIONES

1. Hacer cumplir la Estrategia Ambiental Municipal con la ejecución de proyectos para el tratamiento de residuales industriales y perfeccionando los proyectos de explotación en áreas cercanas de los yacimientos en las terrazas del río Moa para mitigar las afectaciones por la erosión y pérdida de suelo, acumulamiento de sedimentos en las áreas principalmente próxima a la desembocadura del río.
2. Se recomienda controlar periódicamente las características de las aguas mediante el estudio de los diferentes parámetros. Además debe ejecutarse el control sistemático de los sólidos totales disueltos y los sólidos totales en suspensión, pH y Cr6+, y demás elementos químicos nocivos a la salud. para evaluar el posible incremento de estos a medida que se desarrolla la explotación minera en el territorio de la cuenca.

BIBLIOGRAFÍA

- Abraham; Elena M. (2002), "Lucha contra la desertificación en las tierras secas de Argentina; el caso de Mendoza .CYTED XVII, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. Aprovechamiento y gestión de recursos hídricos.
- Análisis de aguas y residuos industriales. [2004-03-05]. Disponible en: <http://lauca.usach.cl/ima/givovic.htm#norma 2280>
- ALMAGUER, YURI. Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo serpentínico de Moa. Tesis de Maestría. ISMM. Moa. 2003. 88p
- BATISTA , J.A. Características geológicas y estructurales de la región de Moa a partir de la interpretación del levantamiento aeromagnético 1:50 000. Tesis de Maestría. Dpto. de geofísica. ISPJAE. La Habana, 1998.
- BEVERLY L., HERZOG. *Hidrogeology and Groundwater Availability in Southeastern and Southwestern Counties*. Part 1: Aquifer Characterization. Illinois: Illinois State Water Survey, 1995. 70p.
- BRASSINGTON, R. *Field Hydrogeology*. London: Geological Society of London, 1996. 175 p.
- Barbut; Monique.; et al. (2009), " Invertir en la protección de la tierra. Los esfuerzos del FMAM para combatir la degradación de tierras y la desertificación en todo el mundo.
- Cardona, AJ.2003. Calidad y riesgo de contaminación de las aguas superficiales en la microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. Trabajo de diploma. Disponible en internet.
- *Calidad de las aguas superficiales*. [2010-03-15]. Disponible en: http://www.mma.es/info_amb/estado_ma/coyunt/sintesis02/pdf/pto33_sin_tesis02.pdf.
- Calla Llontop, H y Cabrera Carranza, C. 2010. Calidad del agua en la cuenca del Río Rímac, sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras. Tesis de investigación. Disponible en internet.

- 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.
- CARMEN SCAPINI, M. ORFILA, J. *Características químicas de las aguas superficiales del Chubut*. [2004-03-11]. Disponible en: <http://www.medioambiente.gov.ar/sian/chubut/trabajos/map1.htm>.
- CARMENATE FERNÁNDEZ, J. Evaluación de las condiciones ingeniero-geológicas para la zonificación de los fenómenos geológicos en áreas urbanas y suburbanas de la ciudad de Moa. Tesis de Maestría. ISMM. Moa, 1996.
- CHACON, IBETTE. *Características hidrogeológicas, hidroquímicas, 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.
- Darling, R. Jones Nyhan, V. Luckic, H. Read, L. Mayo 2014. IFC water mining communities. Documento traducido al español disponible en internet.
- Díaz, E. L, Romero, E. C, Boschetti, N.CY Duarte, O.C 2009. Vulnerabilidad del agua subterránea en la cuenca del Arroyo Feliciano. Entre Ríos. Argentina. Material disponible en internet.
- 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/beginq.htm>
- Evelin Díaz Leyva. 1997. Caracterización Hidroquímica de las aguas superficiales y subterráneas de la región de Moa.

- Fadel–Morabish. *Evaluación preliminar y caracterización de la manifestación de caolinitas en la zona de Cayo Guam, Moa. Tesis de diploma. 2009.*
- Fagundo-Castillo, J.R., 1985. Caracterización de acuíferos mediante relaciones entre contenidos iónicos y parámetros químico físicos. Revista CENIC Ciencias Químicas, 16 (2): 321-236.
- 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.
- Fernández, Constantino de Miguel, Origen de los nitratos (NO^3) y nitritos (NO^2) y su influencia en la potabilidad de las aguas. Artículo en disponible en internet.
- García Dannier. Q. Análisis de los factores de degradación de los suelos en la cuenca del Rio Cayo Guam. Moa. Tesis de Diploma. 2013.
- *Geología ambiental. Universidad de Atacama.* [2010-04-21]. <http://www.lwrn.net/chilee.htm>
- GODÉ LUIS. *Redes automáticas del control de la calidad de las aguas superficiales: Residual Urbana. Tecnología del agua*, septiembre 1997, 168: 23-32
- Guerrero, Hernández. Y. 2012. Capacitación medioambiental acerca de la calidad del agua de consumo a pobladores del consejo popular Centeno. Trabajo de diploma.
- HERRERA, DAVID. *Evaluación preliminar de las características físico-químicas y contaminación ambiental de las aguas del río Cabañas.* Tesis de Diploma. ISMM. Moa, 2000.
- JOVELA SALDAÑA, PILAR; ERIC LOPEZ GUTIÉRREZ; JESÚS CABRERA GARCÍA. *Evaluación de la calidad del agua del río Chalma,*

Estado de Mórolo. Revista de contaminación ambiental, 1993, 9 (3): 32-35

- Larrys Bauza Rodríguez. 2003. Característica físico – químico y bacteriológico de las aguas subterráneas en el municipio de Moa.
- 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
- Llorente, 2009. Calidad de las aguas del río Aserrio y evaluación del impacto ambiental. Trabajo de diploma
- Mejías Jiménez, D. 2013. Aportes a la geología de la concesión minera La Delta.
- Methods for chemical análisis of water and waster. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency, 1983.
- 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
- Morales Durán. A. 2005.Estudio de la calidad de las aguas de la Darsena del Puerto Moa. Trabajo de diploma.
- 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. *Cualidad y Calidad biológicas de las aguas del río Anoia.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 Junio1988.
- 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.
- O. 2014 Evaluacion fisico- química de las aguas del rio Cabañas. Trabajo de diploma.
- 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.
- 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.
- Pérez, 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 “Pedro Soto Alba”.* Trabajo de diploma. ISMM. Moa. Facultad de Geología y Minería, 1992.
- 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.
 - Leyva Ávila, R. 2011. Actualización de la calidad físico química de las aguas de abasto a la zona urbana del municipio de Moa. Trabajo de diploma.
 - RIVAS, NIURKA. *Estudio morfotectónico del área Moa – Cabañas.* Trabajo de diploma. ISMM. Moa. Facultad de Geología y Minería, 1992
 - Rodríguez-Pacheco, R.L., Candela, L., Proenza-Fernández, J.A., Hidalgo, M., y Salvado, V., 2002. Presencia de cromo, níquel y manganeso en las aguas subterráneas del municipio de Moa (noreste de Cuba): discusión sobre su origen. En: Bocanegra, E., Martínez, D., y Massone, H., (Editores) *Aguas Subterráneas y Desarrollo Humano.* International Association of Hydrogeologist, pág. 495-505.
 - RICARDO, TATIANA. *Evaluación físico química y bacteriología e impacto ambiental del río Aserrió.* Tesis de grado. 2006. ISMM. Moa.
 - 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
 - Rodríguez Pacheco, Roberto I. y Candela Lledó, Lucila. *La contaminación de las aguas subterráneas.*
 - Rojas, Patricia. 2010. *La gestión del agua en cuencas con minería en Perú.* Artículo disponible en internet.
 - REGALADO. Z (2011) "MEDIDAS CONTRA LA DESERTIFICACIÓN Y LA SEQUÍA EN PINAR DEL RÍO",

- Sancha F, A M. 2012. Evaluación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas con compuestos orgánicos volátiles. Caso de la ciudad de Santiago de Chile.
- Suárez, Francisco y Lombardo, Rubén J. 2012. Las aguas del Delta. Amenaza, vulnerabilidad social y riesgo, la construcción de la demanda social. Artículo disponible en internet.
- *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19 ed. New York: American Public Health Association, 1995
- *Sustancias contaminantes del agua*. [2011-03-15]. Disponible en: <http://www.1.ceit.es/asignaturas/Ecologia/hipertexto/Ilcagua>
- 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 metalúrgica*. 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.
- RODRIGUEZ INFANTE, A. *Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de los riesgos de génesis tectónica*. Tesis de doctorado, Facultad de Minería y Geología. Moa, 1998.
- TOIRAC SUÁREZ, M. *Valoración preliminar de la calidad de las aguas en el área desde Los Indios hasta La Veguita*. Tesis de Maestría. ISMMM. Moa, 1997. 60 p.
- VERA, ORTELIO. *Procedimiento para la determinación de las redes racionales de exploración de los yacimientos lateríticos de níquel y cobalto en la región de Moa*. Tesis Doctoral. 2001. ISMM. Moa.
- VIESSMAN, WARREN; LEWIS L. GARY. *Introducción to Hidrology*. 4 ed. New York: Haper Collins Collage Publishers, 1996. 760p
- VILLARROLLA GIL, F. *La gestión de las aguas superficiales y el medio ambiente*. Madrid. 2001. Disponible en: <http://cmarti3/2000/sesión/aguas.htm>

ANEXOS

Tabla No 3.2 Propiedades químicas de las aguas en periodo de seca. Elementos mayoritarios.

Muestra	HCO ₃	M.O	CL ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ⁼	Sio2	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁼	Na ⁺	K ⁺
M1	46	0,9	8,68	0,80	14,09	22,631	9,982	0,023	0	4,08	0,08
M2	58	2,6	8,19	3,20	10,69	26,672	8,307	0,004	0	4,17	0,12
M3	62	5,3	9,64	4,00	17,50	19,487	9,89	0,0036	0	4,68	0,13
M4	0	10,4	49,64	13,20	17,98	39,650	36,98	0,004	0	38,22	0,5
M5	0	10,67	64,89	44,30	56,90	75,34	35,77	4,35	0	37,23	0,48
M6	0	13,54	487,16	140,00	118,50	98,941	41,20	34,8	0	41,2	1,34

Tabla No 3.3 Continuación. Propiedades químicas. Elementos Metálicos

Muestra	Cr 6+	CrT	Ni	Zn	Co	Cu	Al ³⁺	Fe
M1	0,39	0,498	0,063	0,15	0,002	0,055	0,086	1,990
M2	0,404	0,386	0,056	0,157	0,0025	0,067	0,071	8,960
M3	0,401	0,498	0,06	0,18	0,025	0,065	0,19	8,509
M4	0,56	6,1	0,069	0,46	0,98	0,049	0,49	9,304
M5	0,555	7,22	0,12	0,478	0,76	0,077	0,499	11,000
M6	0,667	8,34	0,165	0,52	0,81	0,083	0,54	23,500

Tabla No 3.4. Propiedades físicas de las aguas en período de seca

Muestra	Color	Turbidez	pH	Conductividad	STD
M1	89	30	7,41	108	49
M2	102	36	7,42	101	46
M3	124	35	7,3	250	113,8
M4	840	83	2,4	8080	3680
M5	821	212	3,5	8420	3834
M6	999,8	298	5,8	8492	3852

Anexo No.1.

Plan de acciones para mitigar la contaminación y cumplir con la estrategia mabiental.

Fuentes contaminantes	Situación que presenta	Acciones	Ejecuta	Responsable
<p>Despulpadora de café ubicada en Farallones.</p> <p>(afecta río Moa y la presa Nuevo Mundo)</p>	<p>Deterioro del sistema de tratamiento de residuales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión de la laguna de estabilización (muro de contención y lechos filtrantes). • Construcción sistema de tratamiento para los residuales de las cajas de fermentación del Cacao. 	MINAGRI	
<p>Pedro Soto Alba:</p> <p>Residual WL y Residuales</p>	<p>Descarga sin tratamiento al río Cabaña.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ejecución del sistema de tratamiento a residuales. 	Cuba níquel	EMPRESA PSA

Albañales de la comunidad cercana				
Afecta al Río Cabaña, Río Moa y la Bahía				
Asentamientos Urbanos y Rurales.	No se cuenta con sistemas de tratamiento adecuados	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de letrinas, ubicadas en los siguientes Consejos Populares (Farallones y Calentura). • Construcción de letrinas ecológicas 	UEB Acueducto y alcantarillado.	Umbrales, ECOPP y Brigadas. Constructora ECI- 3
		<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de Registros de Alcantarillado y tapas para registros. 	EAA	Brig. Mtto. UEB Acueducto y Alcantarillado.
		<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento a redes de Alcantarillado, desobstrucciones, • Sustitución tramos de redes en mal 	EAA, UEB Acueducto y Alcantarillado.	Brig Mtto UEB Acueducto y Alcantarillado.

		estado.		
		<ul style="list-style-type: none"> • Saneamiento manual de los ríos arroyos y zanjas 	EAAH y RH	Brig Mtto UEB Acueducto y Alcantarillado.
Che Guevara Residuales Planta de Hornos y Termoeléctrica	Descarga directa al río Moa y la bahía sin tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión en preparación 	Cuba níquel	Empresa Comandante Ernesto Che Guevara
		<ul style="list-style-type: none"> • Secador de Sulfuro en proceso de ejecución 	Cuba níquel	Empresa Comandante Ernesto Che Guevara