



**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE GEOLOGIA Y MINERIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**Título: Calidad de las aguas subterráneas Sector Hidrogeológico La Melba,
Moa para evaluar su empleo como agua mineral natural envasada.**

Tesis en opción al título académico de Máster en Geología

Ing. Yoel Pérez Jara

“Año 60 de la Revolución”

Moa, 2018



**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE GEOLOGIA Y MINERIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**Título: Calidad de las aguas subterráneas Sector Hidrogeológico La Melba,
Moa para evaluar su empleo como agua mineral natural envasada.**

Tesis en opción al título académico de Máster en Geología

Ing. Yoel Pérez Jara

**Tutores: MSc. Beatríz Riveron Zaldivar
Dr. Allan Pierra Conde**

**“Año 60 de la Revolución”
Moa, 2018**

PENSAMIENTO

La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.

Aristóteles

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro que soy autor(a) de este trabajo de tesis y que autorizo al Instituto Superior Minero Metalúrgico, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Firma: _____

AGRADECIMIENTOS

Agradecer infinitamente a la Revolución, a mis compañeros de trabajo, a mi tutora MSc. Beatríz Riveron Zaldivar y a su esposo, a mi familia, a mi amigo Hugo Ivonnet Borrero y a su esposa Elaine Pino y a todos aquellos que me apoyaron de una forma u otra.

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a todos aquellos involucrados en mi superación profesional.

RESUMEN

La provincia Holguín, posee uno de los principales polos turísticos del país y sin embargo no cuenta con ninguna embotelladora de agua mineral natural que de respuesta a la creciente demanda de este producto, que es necesario traerlo de otras partes del país, con el consiguiente encarecimiento que ello conlleva. No obstante, en el sector hidrogeológico La Melba, situado en el municipio de Moa, existen grandes cantidades del recurso agua que según investigación precedente se pueden emplear con este fin. Por lo que se plantea evaluar la calidad de las aguas subterránea del sector hidrogeológico La Melba para su potencial uso como agua mineral natural envasada. Se obtuvieron los resultados mediante métodos medioambientales, geológicos, hidrogeológicos y de laboratorio hidroquímico. Por lo que se alcanzó caracterizar las aguas por sus principales características físico-químicas y microbiológicas, además se pudo determinar los principales focos contaminantes que pueden poner en riesgo la sostenibilidad del uso de las aguas a mediano y largo plazo. Por lo que se pudo establecer las áreas más perspectivas para envasar. Las aguas por su composición físico química y microbiológica son bicarbonatadas cálcicas y magnésicas.

ABSTRACT

Holguín province has one of the main tourist poles in the country and yet has no bottling of natural mineral water that responds to the growing demand for this product, which must be brought from other parts of the country, with the consequent increase in cost what that entails. However, in La Melba Hydrogeological Sector, located in the municipality of Moa, there are large quantities of water resources that according to previous research can be used for this purpose. So it is proposed to evaluate the quality of the surface waters of the La Melba Hydrogeological Sector for its potential use as bottled natural mineral water. The results were obtained by means of environmental, geological, hydrogeological and hydrochemical laboratory methods. As a result, water was characterized by its main physico-chemical and microbiological characteristics, and it was also possible to determine the main polluting sources that could put at risk the sustainability of water use in the medium and long term. And thus it was possible to establish the most prospective areas for packaging.

ÍNDICE

Introducción.....	1
CAPÍTULO I CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL TERRITORIO	12
Introducción	12
I.1 Ubicación Geográfica	12
I.2 Características físico-geográficas	14
I.2.1 Clima	14
I.2.2 Relieve	14
I.2.3 Hidrografía	14
I.2.4 Poblaciones y red de comunicaciones.....	16
I.2.5 Desarrollo industrial y agrícola.....	16
I.3 Características geológicas.....	16
I.3.1 Geomorfología	25
I.3.2 Tectónica	27
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....	29
Introducción	29
II.1 Etapa Preliminar. Planeamiento	30
II.2 Experimental. Muestreo y Análisis de Laboratorio.....	30
Trabajos de laboratorio	30
II.3 Trabajos de Gabinete	31
CAPÍTULO III. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	33
Introducción	33
III.1 Determinación de las propiedades físico químicas y microbiológicas ¹² de las aguas	33
III.2 Estudio de vulnerabilidad.....	47
III.3 Propuesta de las áreas más perspectivas como fuentes para agua mineral natural envasada.	53
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
Conclusiones.	55
Recomendaciones.	56
Bibliografía.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

- 1- Resultados de los análisis físico, químicos y microbiológicos
- 2- Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Intrínseca GOD.
- 3- Cálculo del Índice Global de Calidad del Agua (ICA).
- 4- Fotos del estudio de peligro.
- 5- Fotos del Estudio de vulnerabilidad.
- 6- Evaluación de fuentes.

Introducción

La provincia de Holguín tiene un amplio impulso desde el punto de vista económico y social, ya que en el desarrollo hasta el 2030 se prevé incrementar las producciones agropecuarias e impulsar el desarrollo de nuevos polos turísticos en toda la costa norte de la provincia.

Sin embargo en los últimos años las aguas superficiales y subterráneas se han visto contaminadas por el crecimiento poblacional y la poca conciencia ambientalista de las personas, lo que provoca la disminución de las reservas disponibles de agua. Además la afectación de la provincia por intensa sequía, a la cual se suma la contaminación indiscriminada del hombre.

Esta situación conlleva a la búsqueda de agua calidad para el consumo humano, por ello surge la presente investigación desarrollada desde el año 2014 hasta la actualidad en el Sector Hidrogeológico La Melba en un área de 21.08 km² por la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Holguín a solicitud de la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos de Holguín. Donde se presentan resultados preliminares al no contar aún con los resultados de análisis especiales de agua que se realizan actualmente en el laboratorio de la ENAST en La Habana.

Situación Problemática:

La provincia Holguín, posee uno de los principales polos turísticos del país y sin embargo no cuenta con ninguna embotelladora de agua mineral natural que de respuesta a la creciente demanda de este producto, que es necesario traerlo de otras partes del país, con el consiguiente encarecimiento que ello conlleva. No obstante, en el Sector Hidrogeológico La Melba, situado en el municipio de Moa, existen grandes cantidades del recurso agua que según investigación precedente se pueden emplear con este fin.

Problema:

Necesidad de evaluar la calidad de las aguas subterráneas en el Sector Hidrogeológico La Melba para su potencial uso como agua mineral natural envasada.

Objeto:

Las aguas subterráneas del Sector Hidrogeológico La Melba, Moa. Provincia de Holguín, Cuba.

Campo de acción:

Características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas subterráneas.

Objetivo General:

Evaluar la calidad de las aguas subterráneas del Sector Hidrogeológico La Melba para su potencial uso como agua mineral natural envasada.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar físico, química y microbiológicamente de las aguas subterráneas.
2. Estudiar la vulnerabilidad de las aguas subterráneas del sector hidrogeológico La Melba.
3. Proponer las áreas perspectivas como fuentes para agua mineral natural envasada.

Hipótesis:

Si se caracterizan las aguas subterráneas del sector hidrogeológico La Melba, a través de sus características físicas, químicas y microbiológicas, entonces se puede evaluar la calidad de las mismas para su potencial uso como agua mineral natural envasada.

Aporte Científico:

El incremento del conocimiento hidrogeológico del sector La Melba y la evaluación de las aguas subterráneas en áreas perspectivas.

Estado del Arte**Marco teórico conceptual de la investigación.**

La utilización de las aguas subterráneas data de tiempos muy antiguos, ya en el Antiguo Testamento se plasmaron numerosas referencias sobre el agua

subterránea, manantiales y pozos. Tolman describió los grandes túneles para captación de agua subterránea en Persia y Egipto que datan de 800 años antes de nuestra era.

Los primeros filósofos griegos como Platón, Homero y Tales formularon la hipótesis de que los manantiales se formaban a partir de la conducción de las aguas de mar a través de canales subterráneos por debajo de las montañas. Los filósofos romanos incluyendo Seneca y Plinio siguieron las ideas griegas. Vitruvius fue el primero que argumentó la teoría de la infiltración planteando que las aguas de lluvia se infiltraban desde las montañas a través de estratos de rocas y emergían en su base para formar las corrientes superficiales.

A finales de la etapa del renacimiento, a final de 1580 Bernard Palissy expuso la teoría de la infiltración, aunque la misma fue ignorada. René Descartes (1596-1650) reforzó la teoría griega, planteando la evaporización y condensación de las aguas de mar dentro de la tierra.

En la segunda mitad del siglo XVII Pierre Perrault midió la lluvia durante tres años y estimó el escurrimiento superficial del río Sena. Él demostró que las precipitaciones en la cuenca del río eran unas seis veces mayor que la descarga del río, con lo cual quedó demostrado la infiltración de las aguas de lluvia. El físico francés Edme Mariotte realizó mediciones del Sena en París y confirmó el trabajo de Perrault.

Otra gran contribución al estudio de las aguas subterráneas la desarrolló el astrónomo inglés Edmund Halley (1656-1742), quien hizo un reporte en 1693, de medidas de evaporación, demostrando que la evaporación del mar era suficiente para responder por todos los manantiales y flujos de cursos de aguas superficiales.

En el siglo XIX el hidráulico francés Henry Darcy (1803-1858), estudió el movimiento del agua a través de la arena. Su tratado de 1856, definió una relación conocida ahora como Ley de Darcy, que rige el flujo de las aguas subterráneas en la mayoría de las formaciones aluviales sedimentarias y en muchas rocas agrietadas en función del grado y características de agrietamiento de las mismas.

Contribuciones europeas del siglo XIX dieron énfasis a la hidráulica del aprovechamiento del agua subterránea, los principales investigadores en este aspecto fueron: J. Boussinesq, G. A. Daubres, J. Dupuit, P. Forchheimer y A. Thiem. Ya en el siglo XX investigadores franceses, rusos, norteamericanos y de otros países establecieron tratados válidos sobre las aguas subterráneas, con lo que se logró el conocimiento actual de las distintas temáticas de la Hidrogeología, aunque existen aspectos aún poco estudiados, como la relación de las condiciones hidrogeológicas con los procesos de salinización y desertificación de suelos y otros relacionados con el medio ambiente.

La hidrogeología es una ciencia muy amplia, la cual como ciencia independiente de la geología a nivel internacional comenzó a ser considerada en la década del cincuenta, teniendo su mayor desarrollo a partir de los últimos años de la década del sesenta del pasado siglo XX.

Las aguas subterráneas son analizadas, aún erróneamente, por muchos autores, desde el punto de vista hidráulico, en ocasiones enfocando sus leyes y particularidades independientemente de los procesos geológicos que existieron y se producen en los territorios de desarrollo de dichas aguas. Este análisis de la hidrogeología es erróneo, pues el agua subterránea es un mineral más de composición simple que se diferencia de los demás minerales existentes en la naturaleza por sus propiedades de movilidad y reposición y debe su origen y composición química a procesos de diversos orígenes.

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

AGUA.

Sustancia formada por la combinación de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida, en pequeñas cantidades incolora, y verdosa o azulada en grandes masas. Es el componente más abundante de la superficie terrestre y, más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales. Al ser recurso imprescindible para la vida humana y para el desarrollo socioeconómico, industrial y agrícola, una contaminación a partir de cierto nivel cuantitativo o cualitativo, puede plantear un problema de Salud Pública. El agua es uno de los elementos reguladores del equilibrio del sistema natural. Este sistema está determinado por las relaciones existentes entre la biosfera, la litosfera y la hidrosfera. El agua se mueve dentro del sistema natural tanto en los estados líquidos como sólido y gaseosos, en un ciclo permanente cuya relación es determinante para posibilitar la vida y por ende las actividades productivas del ser humano. El agua dentro del sistema ambiental global, integra un ciclo dinámico, que comprende los fenómenos de evaporación, condensación, congelación, fusión, así como los de precipitación, infiltración y escorrentía.

Calidad natural:

Es el conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que presenta el agua tal y como la encontramos en estado natural, en los ríos, manantiales, en el mar, y en el subsuelo [19]. Entre estas características tenemos la temperatura, contenidos de microorganismos, gases disueltos, cantidad de sales en disolución.

Contaminación del agua.

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

Los agentes contaminantes del agua son del tipo biológico, químico y físico:

Contaminantes biológicos

- Corresponden a desechos orgánicos, tales como la materia fecal y restos de alimentos.
- Llegan a los ríos, lagos o mares a través de los alcantarillados de las ciudades.
- Tienen la propiedad de fermentar, es decir, se descomponen utilizando el oxígeno disuelto del agua.
- Los desechos orgánicos de tipo biológico son de tipo biodegradables.
- Efectos de la contaminación biológica: cuando el ser humano se alimenta de cultivos regados con aguas que están contaminadas, puede contraer enfermedades de tipo gastrointestinales.

Contaminantes químicos

- Son compuestos químicos, orgánicos e inorgánicos, que llegan al agua proveniente de las actividades domésticas, industriales y agropecuarias.
- Están formados por hidrocarburos derivados del petróleo, plaguicidas, aceites y detergentes.
- No suelen ser biodegradables por lo que permanecen en el agua mucho tiempo después de su vertido.
- Efectos de la contaminación química: las aguas residuales que contienen sustancias tóxicas químicas, pueden introducirse en las cadenas alimentarias y llegar hasta el hombre a través de los alimentos.

Contaminantes físicos

- También están formados por vertidos de líquidos calientes y sustancias radioactivas provenientes de hospitales, laboratorios y centrales nucleares.
- Sedimentos.

Son partículas de suelo o sólidos de basura que se acumulan en el fondo de depósitos o corrientes de agua. Otras partículas no forman sedimentos: flotan

cerca de la superficie enturbiando el agua y obstaculizando la penetración de la luz. Como la fotosíntesis llevada a cabo por algas y otras plantas requiere de esa luz, al no producirse la fotosíntesis, provoca el decaimiento no sólo de algas y plantas sino también de los organismos.

Si los sedimentos acarrean sustancias tóxicas, pueden producir, a través de las cadenas alimentarias, la muerte de organismos acuáticos.

Vulnerabilidad de Acuíferos

Es una propiedad intrínseca de los sistemas de aguas subterráneas que depende de la sensibilidad del sistema a los impactos humanos y/o naturales. Se presentan dos tipos de vulnerabilidad: el término vulnerabilidad intrínseca (o natural) que involucra a los factores o características hidrogeológicas propias de cada acuífero, referido a los materiales del suelo y geológicos. La vulnerabilidad específica (o integrada) se refiere a los impactos potenciales por la utilización de estratos específicos y de contaminantes, afectando el presente y futuro de los recursos de aguas subterráneas, en tiempo y espacio. El concepto de vulnerabilidad de acuíferos, aplicado a la contaminación antrópica, es una de las vías más adecuadas para encontrar la preservación de la calidad de los recursos hídricos subterráneos. Establecer una actividad humana en función de la capacidad del medio de soportarla, o sea, en cuánto se puede atenuar la carga contaminante, es tener una comprensión de las características naturales del terreno para realizar una ocupación ambiental responsable.

Vulnerabilidad Intrínseca

Del suelo, espesor, textura, estructura, porosidad, humedad, contenido de materia orgánica, contenido de arcilla mineral, permeabilidad.

De la zona no saturada, espesor, porosidad, humedad, en relación sobre todo con el nivel del agua subterránea, litología de los materiales existentes y su consolidación y estratificación, tiempo de recorrido del agua.

Del acuífero o zona saturada, espesor, profundidad del agua subterránea, litología predominante y su estratificación y consolidación, porosidad efectiva,

conductividad hidráulica, capacidad de almacenamiento, transmisividad, dirección del flujo de agua subterránea, edad y tiempo de residencia del agua subterránea, lluvia anual y recarga natural anual.

Vulnerabilidad Específica

Uso natural de las tierras, o sea, (bosques, pastos, cultivos variados), actividades industriales o de asentamientos urbanos, densidad de población, tiempo de recorrido del contaminante en las zonas no saturadas y saturadas, capacidad de atenuación del suelo, de la zona no saturada y del acuífero, en relación con los contaminantes específicos, tiempo de residencia de los contaminantes en el acuífero, características del transporte de los contaminantes, coeficiente de distribución, recarga artificial, irrigación y drenaje.

Agua Mineral

Es el agua natural de origen subterránea cuya composición y calidad de su flujo (caudal) son constantes y estables, teniendo en cuenta los ciclos de sus fluctuaciones naturales menores, y que cumple con las características microbiológicas establecidas para su uso.

Agua Contaminada

Es aquella que ha sido afectada por la acción del hombre, por encima de sus variaciones naturales, que sobrepasa las concentraciones permisibles máximas de las normas o estándares del uso en cuestión (abasto, industria, agricultura, etc.). Se habla de polución, cuando estos cambios no son tan marcados.

Las razones principales de la contaminación o degradación del agua, pueden ser: Mala disposición de residuales domésticos e industriales; Mal manejo del uso de fertilizantes, pesticidas, fungicidas, etc., incluyendo su almacenamiento incorrecto; Sobreexplotación de sus recursos naturales, explotación intensiva, concentrada, indiscriminada; Accidentes de derrames de sustancias contaminantes, como hidrocarburos, productos de industrias químicas, etc.

Agua Mineral Natural

El agua mineral natural es un agua que se diferencia claramente del agua potable porque:

- a) se caracteriza por su contenido de determinadas sales minerales y sus proporciones relativas, así como por la presencia de oligoelementos o de otros constituyentes.
- b) se capta directamente de manantiales naturales o fuentes perforadas de agua subterránea procedente de estratos acuíferos, en los cuales, dentro de los perímetros protegidos, deberían adoptarse todas las precauciones necesarias para evitar que las calidades químicas o físicas del agua mineral natural sufran algún tipo de contaminación o influencia externa.
- c) su composición y la calidad de su flujo (caudal) son constantes, teniendo en cuenta los ciclos de las fluctuaciones naturales menores.
- d) se capta en condiciones que garantizan la pureza microbiológica original y la composición química en sus constituyentes esenciales.
- e) se envasa cerca de su punto de captación, adoptando las precauciones higiénicas sanitarias correspondientes.
- f) no se somete a otros tratamientos que los permitidos por la norma cubana (NC297), 2005 Aguas minerales naturales envasadas —especificaciones.

Estudios de calidad de las aguas subterráneas y superficiales desarrolladas en Cuba y el mundo.

Autores plantean que la composición química de las aguas representa un reflejo de las condiciones naturales históricas definidas por todo un complejo de procesos ocurridos en la atmósfera, la superficie terrestre y en la hidrosfera subterránea.

Como fundamento para estos estudios se encuentran las investigaciones realizadas por Emariote, Ehalley y Perrault, expresando en el libro sobre el origen de los manantiales en 1674 en Francia, en el cual por primera vez de forma cuantitativa se estableció el ciclo hidrológico de la naturaleza.

En los últimos años debido al acelerado desarrollo industrial, el aumento demográfico y los cambios climáticos junto a las consecuencias que los mismos generan, afectación y deterioro cada vez más a escala internacional comienza a ser una gran preocupación la conservación y protección de los mismos. En Cuba se toman las primeras medidas respecto al desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente desde mediados de 1970 y en 1990 se consolida la cultura ambiental del país, es a partir de ese momento que se crea en 1976 la COMARNA, Comisión Nacional para la Protección del Medio Ambiente y del Uso Racional de los Recursos Naturales. Posteriormente en 1992 Cuba participa en la Cumbre de la tierra actividades en las reuniones del comité preparatorio hasta su propio desarrollo.

En 1993 se realiza El Programa Nacional de Medio Ambiente y desarrollo, el comité ejecutivo del consejo de ministros aprueba el decreto ley No 138 de las Aguas Terrestres.

En 1994 fue creado el CITMA, Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. A partir de este momento el mismo rige la política ambiental del país. Ocurre además en 1995 la institución del sistema de medio ambiente creándose las unidades territoriales de control.

El volumen de agua aprovechable representa el 56 % del potencial superficial total de la nación, el volumen total de agua aprovechable constituye el 96 % del potencial subterráneo y el 63 % de este se explota para abastecimiento.

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

En 1980 y 1981 comienzan las primeras investigaciones sobre el deterioro de la calidad de las aguas producto a la influencia de la actividad minero metalúrgica. La Ing. Adela Caridad Terrero Abella crea y dirige un grupo de investigación para el estudio de la hidroquímica en la zona y zonas aledañas con el objetivo de evaluar y controlar la contaminación de las aguas. Se han realizado diferentes estudios como:

Cálculo de reservas de las aguas subterráneas en las terrazas del Río Moa (1983).

Evaluación hidroquímica e hidrogeológica de las aguas subterráneas de las terrazas del Río Moa. 1992.

- Estudio de la calidad de aguas superficiales, subterráneas y la erosión hídrica en la cuenca del Río Moa. 1993.

- 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.

- Estudio preliminar de las características hidroquímicas, hidrogeológicas y bacteriológicas de las aguas subterráneas en la Ciudad de Moa.

- Posteriormente en el año 1995 el grupo de investigación 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.

- En 1997 se realiza la valoración preliminar de la calidad de las aguas subterráneas en el área desde Los Indios hasta La Veguita.

En 1999 la Ing. Amparo Velázquez Velázquez en opción al título de Máster en Protección del Medio Ambiente, realiza un amplio 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 el 2001 se realizó una reevaluación de las reservas de explotación de las aguas subterráneas de las terrazas del Río Moa.

- Estudio de la Calidad de las aguas de los pozos criollos en el reparto Las Coloradas.

En 2003 la MSc. Moraima Fernández Rodríguez realizó una amplia investigación en opción al grado científico de máster en ciencias con el trabajo Evaluación de la calidad de las aguas de consumo humano en la zona urbana de la ciudad de Moa.

Tomando como referencias nuevas metodologías internacionales, nacionales como las planteadas en el Libro de Hidrogeología Subterránea de Custodio y Llamas (año). Que 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.

Además fueron revisados diferentes artículos de Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente como:

- Origen de la contaminación de las aguas
- Propiedades físicas y químicas de las aguas
- Sustancias contaminantes del agua, origen, eutrofización, cuadro de enfermedades por patógenos.

CAPÍTULO I CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL TERRITORIO

Introducción

En el presente capítulo se exponen los principales rasgos geomorfológicos, tectónicos, geológicos, climáticos e hidrogeológicos del sector de estudio.

I.1 Ubicación Geográfica

El sector hidrogeológico La Melba se localiza al sureste del municipio Moa, provincia Holguín, aproximadamente a 45 km. Se ubica en las hojas cartográficas editadas por GEOCUBA: (figura 1):

Escala	Hoja cartográfica
1:50 000	Palenque (5277-III)
1:25 000	Arroyo Bueno (5277-III-b)

Los límites que definen el área de estudio son:

Punto	Norte	Este
1	200000	707000
2	200000	709000
3	203000	709000
4	203000	712000

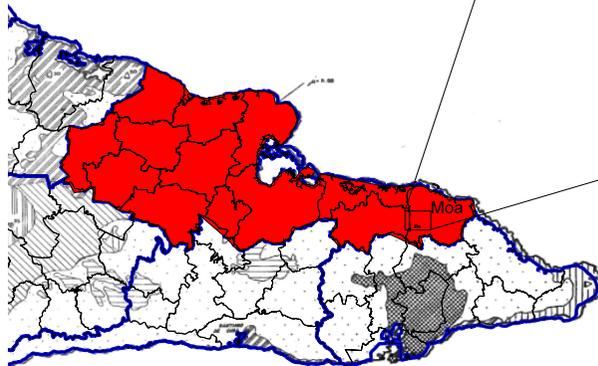
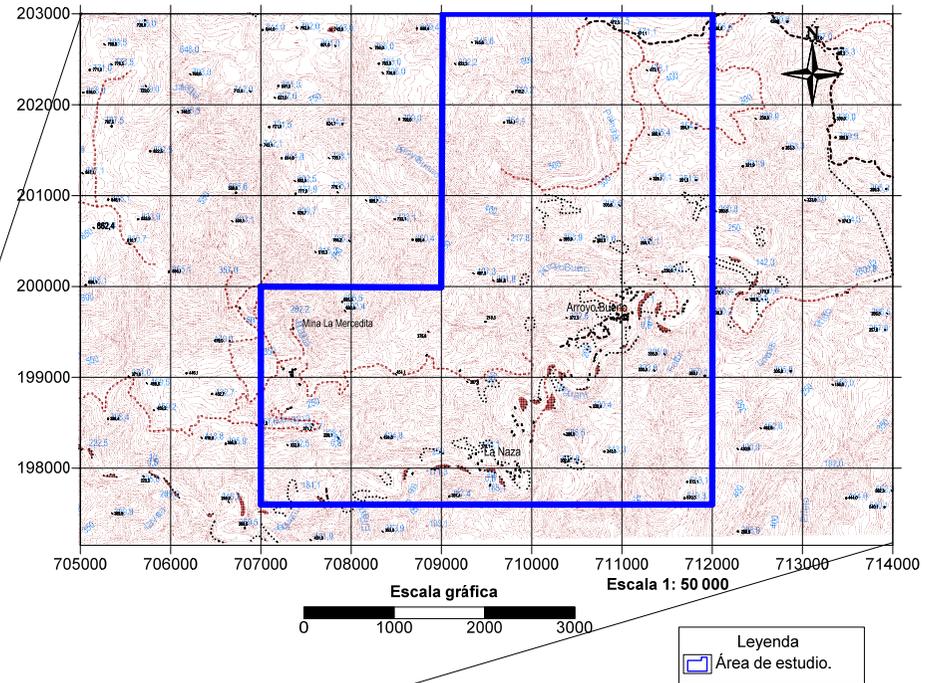


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. (Pérez Jara, 2018).

I.2 Características físico-geográficas

I.2.1 Clima

El área donde está situada la investigación, según la regionalización climática (ACC, 1989), está en la zona tropical, región Caribe, subregión Caribe sudoriental, caracterizada por vientos alisios con zonas relativamente lluviosas. El tipo de clima es tropical húmedo con lluvias todo el año. Según las condiciones climáticas, pertenece al subtipo montañoso con humedecimiento alto y estable, baja evaporación y temperaturas frescas, con los siguientes indicadores promedios: precipitación media anual: 2 500 mm -1 001 mm, coeficiente de variación de la precipitación anual: 0,23-0,20, precipitación en el periodo lluvioso: 80 %-60 % de la anual, días con lluvia mayor 1 mm (anual): 140-100, evaporación media anual: 1 200-1 500 mm, temperatura media del aire anual: 23 °C -16 °C, en enero (invierno): 21 °C -13 °C y en julio (verano): 25 °C -16 °C, velocidad del viento predominante: 4,2 m.s⁻¹ -3,6 m.s⁻¹ y coeficiente de humedecimiento medio anual: 2,00-1,20.

I.2.2 Relieve

El relieve del territorio se caracteriza por una franja costera llana con alturas hasta 200 m, bastante estrecha, una premontañosa con alturas de hasta 500 m y las montañas de Sagua-Baracoa, que se extienden hacia el sur, con alturas de hasta 1 000 m. La zona montañosa se encuentra dentro del Plan Turquino y del Parque Nacional Alejandro de Humboldt, Patrimonio de la Humanidad. En el área existen alturas de hasta 331 m y 832 m.

I.2.3 Hidrografía

La red hidrográfica está representada por el río Jaguaní, con sus afluentes Jaraguá, Morones, Palmares, El Peñón, Boca Seca, Bueno y otros arroyos. También se encuentra el río Jiguaní. En el área hay diversos saltos de agua de los que se abastece la población mediante tuberías. La obra hidráulica cercana es la presa Nuevo Mundo, aproximadamente a 7 km al oeste-noroeste. Los pluviómetros más cercanos son 844 (Río Jaguaní), 1296 (Comunidad La Melba o Arroyo Bueno y 1589 (Estación de aforo Arroyo Prieto coordenadas).

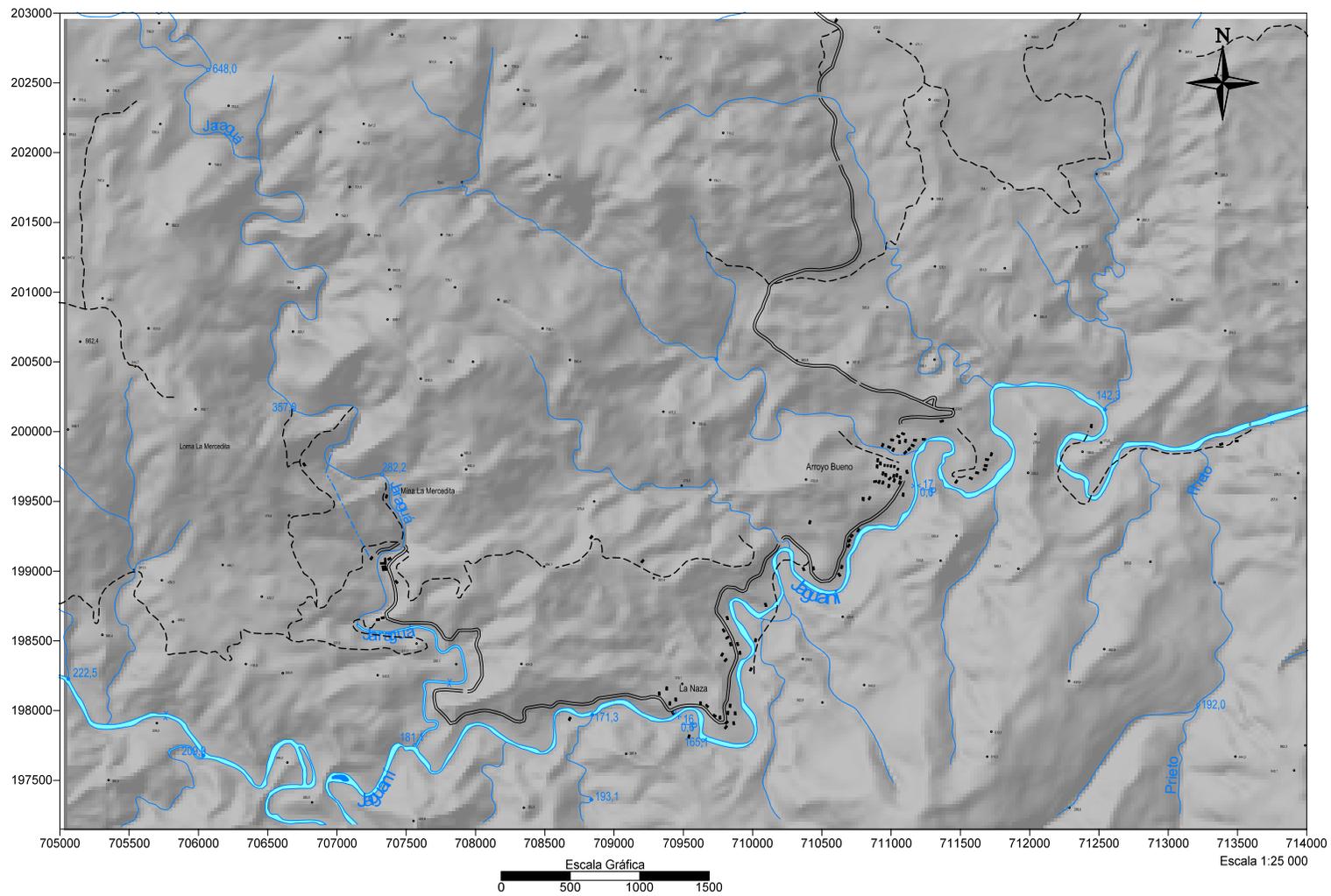


Figura 2. Red Hidrográfica. (Pérez Jara, 2018).

I.2.4 Poblaciones y red de comunicaciones

El consejo popular La Melba abarca dos asentamientos, el concentrado Arroyo Bueno y el disperso La Naza, hasta el área de la mina La Mercedita, que actualmente no está en explotación. La principal vía de acceso al área es por las carreteras Holguín-Moa y Moa-Baracoa, esta última en mal estado técnico. El camino, desde Punta Gorda, está en mal estado técnico, que en tiempo de lluvia empeora, por lo que se incomunican los asentamientos; cuenta en su trayecto con cinco puentes. Desde la cabecera municipal viaja un transporte serrano, con frecuencia única diaria.

I.2.5 Desarrollo industrial y agrícola

En el consejo popular la actividad económica fundamental es la agroforestal y agricultura de autoconsumo. La actividad minera, que era la principal en el área, se encuentra paralizada. Cuenta con dos escuelas primarias, consultorio médico de la familia, farmacia, 2 salas de televisión, centro cultural, tienda mixta, panadería, taller de reparación integral, con barbería y peluquería, 2 cafeterías, planta eléctrica, estación CITMA. Además cuenta con trabajadores de la administración pública, para atender las actividades de cultura física, jefe de sector PNR y delegado del Poder Popular.

I.3 Características geológicas

En la región se localizan las siguientes formaciones (Figura 3): Santo Domingo, Sierra del Purial, Yaguaneque, Mícara, Gran Tierra, Sabaneta, Sierra de Capiro, Mucaral, Yateras, Jaimanitas, depósitos de sedimentos aluviales, de sedimentos pantanosos y rocas de la asociación ofiolítica. En el área de estudio aparece la formación Santo Domingo y rocas de la asociación ofiolítica, fundamentalmente serpentinitas y gabros. A continuación se describen las principales unidades estructuro-formacionales existente en el área.

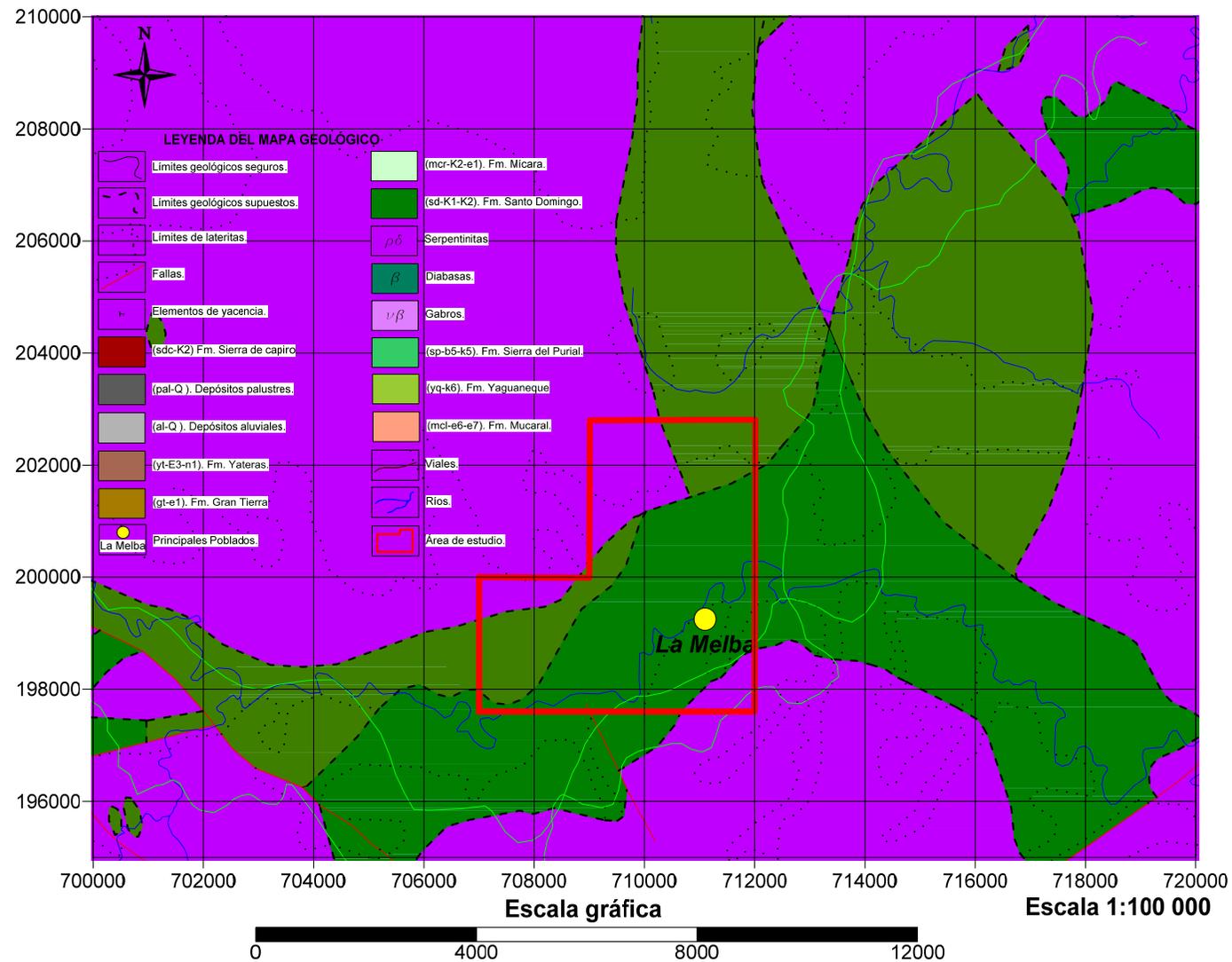


Figura 3. Mapa Geológico regional. (Modificado del mapa Geológico del IGP, 1985).

Ofiolitas

Estas rocas afloran como una serie de cuerpos alargados en la mitad septentrional de la isla de Cuba en forma de una franja discontinua de más de 1000 km de largo y hasta 30 km de ancho, entre la localidad de Cajálbana al oeste y Baracoa al este, ocupando una extensión superior a los 6500 km² (Figura 4). Desde el piso hasta el techo estos complejos rocosos se encuentran divididos estratigráficamente en las siguientes zonas fundamentales: a) una zona de harzburgitas con textura de tectonitas; b) una zona de harzburgita que contiene principalmente cuerpos de dunitas, peridotitas “impregnadas” (con plagioclasa y clinopiroxeno), sills y diques de gabros y pegmatoides gabroicos, así como cuerpos de cromititas. Esta zona corresponde a la denominada Zona de Transición de Moho (MTZ-siglas en inglés); c) una zona de gabros, y d) el complejo vulcano-sedimentario. La zona correspondiente al complejo de diques paralelos de diabasas aún no ha sido identificada en este macizo.

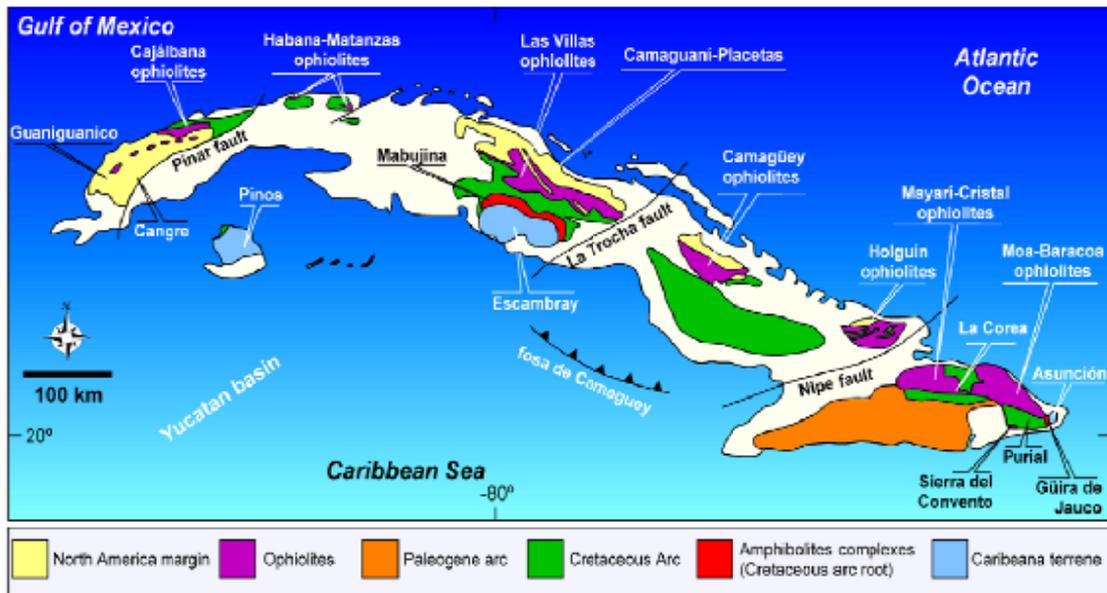


Figura 4. Mapa esquemático que muestra la extensión superficial del Cinturón ofiolítico cubano. (Blanco-Quintero, 2010) en informe preliminar Fase 1,2011.

El Complejo Peridotítico (tectonitas), se caracteriza por presentar harzburgitas, en menor grado websteritas y lherzolitas, con bolsones aislados de dunitas, todas serpentinizadas (Iturralde, 1998). La zona de gabros forma grandes cuerpos incluidos en el complejo de tectonitas. Las dimensiones de estos cuerpos oscilan

entre 1 km y 3 km. de ancho, por 10 km a 15 km de longitud. El contacto entre el complejo de tectonitas y de gabros es mayoritariamente tectónico.

La parte inferior del complejo de gabros se caracteriza por su marcado bandeamiento, y la parte superior por su isotropía. En este macizo también existen numerosos cuerpos de cromititas y sills de gabros, así como diques de gabros y de pegmatoides gabroicos. Los sills de gabros y las cromititas se localizan en la parte más alta de la secuencia mantélica, en la zona de transición entre las peridotitas con texturas de tectonitas y los gabros bandeados.

El Complejo Transicional (MTZ) se constituye principalmente de harzburgitas, lherzolitas y websteritas con bolsones y bandas duníticas, todas serpentinizadas, en ocasiones con cromititas podiformes, diques de gabroides y diques aislados de plagiogranitos. En ocasiones se observan complejos de haces entrecruzados de diques zonados de plagioclasitas, gabroides y pegmatitas, impregnados en una masa de serpentinitas brechosas, probables representantes de antiguas cámaras magmáticas colapsadas (Iturralde, 1998).

El complejo cumulativo se caracteriza por presentar cúmulos máficos de gabros olivínicos, noritas, y anortositas y ultramáficos como lherzolitas, websteritas, harzburgitas y raras dunitas, todos serpentinizados. Existen ocasionales cuerpos podiformes y venas de cromititas. Además de los diques gabroides, plagioclasitas y plagiogranitos, en la parte superior de la sección pueden aparecer cuerpos potentes de gabros isotrópicos. (Iturralde, 1998).

El complejo de diques paralelos de diabasas no ha sido reconocido en todo el complejo ofiolítico Moa-Baracoa y aunque su presencia ha sido invocada en el extremo noroeste de la Meseta Pinares de Mayarí, los últimos resultados obtenidos indican que estos cuerpos de diabasas poseen rasgos geoquímicos propios de arcos de islas. (Díaz y Proenza, 2005).

El complejo vulcanógeno-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos de la secuencia ofiolítica. Está compuesto por basaltos amigdaloidales y porfíricos (algunas veces con estructura de almohadillas), con intercalaciones de hialoclastitas, tobas, capas de cherts y calizas. Estas litologías afloran en Morel, La Melba, Cañete, Quesigua y Centeno. (Díaz y Proenza, 2005).

Arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco)

El arco se compone de depósitos volcánicos que datan desde el Aptiense hasta el Campaniense Medio, estas rocas volcánicas están situadas mediante contacto tectónico bajo las ofiolitas del cinturón septentrional. Según Iturralde (1994, 1996a), el basamento del arco volcánico es una corteza oceánica de edad pre-Aptiense. Las rocas volcánicas y vulcanógeno-sedimentarias del arco Cretácico están ampliamente desarrolladas en la región de estudio y representadas por las rocas de las formaciones Santo Domingo y Yateras.

Formación Santo Domingo (sd):

Distribución geográfica: Se desarrolla en las provincias Guantánamo, Holguín y Santiago de Cuba. Litología diagnóstica: Tobas y lavabrechas andesíticas, dacíticas, tufitas, argilitas, aleurolitas vulcanomícticas, lavas basálticas, liparitodacíticas, conglomerados y calizas. También aparecen pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Relaciones estratigráficas: Se desconoce su subyacente. Es cubierta discordantemente por las formaciones Charco Redondo, La Picota, Mícara y Sabaneta. Correlaciones: Es correlacionable con la formación Sierra del Purial. Edad: Cretácico Inferior (Aptiano)-Cretácico Superior (Turoniano). Ambiente de sedimentación: Aguas profundas a medias, con desarrollo de vulcanismo submarino. Espesor: 2 100 m.

Formación Sierra del Purial (sp):

Distribución geográfica: Se desarrolla solamente en el macizo montañoso Sierra del Purial, provincia Guantánamo. Litología diagnóstica: Andesito-basaltos y basaltos, principalmente tobas y lavabrechas, andesito-dacitas, areniscas polimícticas, areniscas derivadas de granitoides e intercalaciones y lentes de calizas. Estas rocas se encuentran metamorfizadas en condiciones de muy bajo grado y alta presión.

Relaciones estratigráficas: Su subyacente se desconoce. Es cubierta discordantemente por las formaciones Cabo Cruz, Maquey (Miembro Cilindro), Río Maya, Sabaneta, San Ignacio y San Luis.

Correlaciones: Constituye un equivalente lateral metamorfizado de la formación Santo Domingo y de otras formaciones del arco volcánico Cretácico.

Edad: Cretácico Inferior (Aptiano?)-Cretácico Superior (Campaniano).

Espesor: Mayor de 1 000 m.

Formación Yaguaneque (yq)

Distribución geográfica: Se desarrolla en forma de parches aislados en las provincias Holguín y Guantánamo. Litología diagnóstica: Calizas arrecifales de color blanco, gris o crema. Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones Santo Domingo y Sierra del Purial. Su límite superior es erosivo. Edad: Cretácico Superior (Maestrichtiano). Ambiente de sedimentación: Arrecifal. Espesor: Mayor de 10 m.

Formación Mícara (mcr)

Distribución geográfica: Se desarrolla en las provincias Granma, Holguín y Santiago de Cuba.

Litología diagnóstica: Por su composición esta unidad se puede dividir en tres partes: inferior, media y superior. Inferior: Constituida por aleurolitas masivas, mal estratificadas; brechas; areniscas; arcillas y calizas. Media: Secuencia olistostrómica compuesta por margas, areniscas, aleurolitas, gravelitas y conglomerados. Los olistolitos son de brecha y ultrabasitas serpentinizadas. La estratificación es buena. Superior: Predominan las aleurolitas y subordinadamente brechas y areniscas tobáceas, en su parte más alta, con intercalaciones de tobas ácidas bentonitizadas y calizas. Presentan buena estratificación. Las areniscas, aleurolitas, brechas, gravelitas y conglomerados son polimícticos. Las calizas son biodetríticas, arenosas y brechosas. Algunas veces en la parte alta de la formación las areniscas y aleurolitas tienen un contenido alto de tobas vitroclásticas y cristaloclásticas y de tufitas psamíticas. En estos depósitos se observa estratificación gradacional y en ocasiones cruzada.

Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones La Picota y Santo Domingo. Es cubierta concordantemente por la formación Gran Tierra y discordantemente por las formaciones Charco Redondo, Mucaral, Puerto Boniato y Sabaneta. Su parte inferior transiciona lateralmente a la parte alta de la formación La Picota.

Edad: Cretácico Superior Maestrichtiano Superior-Paleoceno Inferior Daniano basal.

Ambiente de sedimentación: Marino en condiciones neríticas con oscilaciones del fondo de la cuenca. Espesor: Entre 800 m y 1 000 m.

Formación Gran Tierra (gt)

Distribución geográfica: Se desarrolla en forma de pequeñas franjas en las provincias Holguín, Guantánamo y Santiago de Cuba.

Litología diagnóstica: Calizas brechosas, conglomerados vulcanomícticos, brechas, margas, tobas, calizas organodetríticas, areniscas vulcanomícticas de cemento calcáreo, aleurolitas y tufitas. Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre la formación Mícara y discordantemente sobre las formaciones Santo Domingo y Sierra Verde. Es cubierta concordantemente por la formación Sabaneta. Edad: Paleoceno Inferior (Daniano).

Ambiente de sedimentación: Marino de profundidades medias.

Espesor: Aproximadamente 200 m.

Formación Sabaneta (sn)

Distribución geográfica: Se desarrolla en forma de faja en las provincias Guantánamo y Holguín. Litología diagnóstica: Tobas vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, aleurolitas, margas, gravelitas, conglomerados vulcanomícticos y ocasionalmente pequeños cuerpos de basaltos, andesitas, andesito-basaltos y andesito-dacitas. Es muy característico debido a la alteración de las tobas, la presencia de minerales del grupo de la montmorillonita (bentonita) y de las zeolitas (zeolitas).

Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre la formación Gran Tierra y discordantemente sobre la formación Mícara. Es cubierta concordantemente por las formaciones Puerto Boniato y Sierra de Capiro y discordantemente por las formaciones Charco Redondo, Mucaral, San Ignacio y San Luis. Transiciona lateralmente a la formación San Ignacio. Edad: Paleoceno Inferior (Daniano parte alta)-Eoceno Medio.

Espesor: Entre 250 m y 1 200 m.

Formación Sierra de Capiro (sdc)

Distribución geográfica: Se desarrolla en la parte norte de la provincia Guantánamo.

Litología diagnóstica: Aleurolitas y margas con intercalaciones de aleurolitas y conglomerados con fragmentos de calizas arrecifales, serpentinitas y rocas volcánicas. Presentan estratificación gradacional. Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre la formación Sabaneta. Es cubierta discordantemente por las formaciones Cabacú y Cabo Cruz. Edad: Eoceno Superior. Espesor: Entre 200 m y 300 m.

Formación Mucaral (mcl)

Distribución geográfica: Se desarrolla en las regiones de Sagua de Tánamo, Mayarí, Sierra de Nipe y Baracoa, provincias Guantánamo y Holguín. Litología diagnóstica: Margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, aleurolitas y tobas. Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones Mícara, Santo Domingo y Sabaneta. Es cubierta discordantemente por la formación Yateras. Edad: Eoceno Medio parte alta-Eoceno Superior.

Ambiente de sedimentación: Aguas profundas.

Espesor: Puede alcanzar hasta 300 m.

Formación Yateras (yt)

Distribución geográfica: Forma el techo de las elevaciones en la parte norte de la Bahía de Guantánamo, como una faja discontinua entre el río Bayate y la Sierra del Convento, provincia Guantánamo. Se observan parches aislados en el curso superior de los ríos Mayarí y Sagua de Tánamo, y entre Baracoa y Yamanigüey, provincias Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo. Litología diagnóstica: Alternancia de calizas biodetríticas y detríticas, y calizas biógenas de grano grueso, estratificación fina a gruesa o masivas, duras, de porosidad variable, a veces aporcelanadas que frecuentemente contienen grandes Lepidocyclinas. Coloración por lo general blanca, crema o rosácea, menos frecuentemente carmelitosa. Relaciones estratigráficas: Yace

concordantemente sobre la formación Maquey y discordantemente sobre las formaciones Charco Redondo, Mícará, Mucaral, Sabaneta, San Ignacio, San Luis y Santo Domingo. Es cubierta concordantemente por la formación Maquey y discordantemente por la formación San Antonio. Transiciona lateralmente con la formación Maquey. Correlaciones: Es correlacionable con las formaciones Báguanos, Bitirí, Camazán, Maquey y Sevilla Arriba de Cuba Oriental. Edad: Oligoceno Inferior-Mioceno Inferior parte baja.

Ambiente de sedimentación: Arrecifal, abarcando distintas variedades de este complejo.

Espesor: Entre 160 m y 500 m.

Formación Jaimanitas (js)

Distribución geográfica: Faja discontinua que ciñe la costa cubana y gran parte de las islas adyacentes. Litología diagnóstica: Calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas conteniendo principalmente conchas bien preservadas y corales de especies actuales y ocasionalmente biohermos. Las bolsas cársicas se encuentran rellenas por una fina mezcla carbonato-arcillosa ferruginosa de color rojo ladrillo. Pasan a calcarenitas masivas o finamente estratificadas y a veces contienen intercalaciones de margas. La cementación es variable. La coloración predominante es blanquizca o amarillenta.

Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones Cayo Piedras, Grande, Güines, Júcaro, Río Maya, Mícará, Vázquez, Vedado, calciruditas Feliz y el grupo Remedios. Es cubierta discordantemente por la formación Playa Santa Fe, por los depósitos del Holoceno y depósitos innominados del Cuaternario.

Edad: Según criterios geomorfológicos su edad ha sido considerada tentativamente como Pleistoceno Superior.

Ambiente de sedimentación: Predominan las facies de playa, post-arrecifal y

arrecifal.

Espesor: Probablemente excede los 10 m.

Depósitos de sedimentos aluviales (al) Aparecen en las terrazas y lechos de toda la red hidrográfica, constituidos por bloques, cantos rodados, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial y regional. Se caracteriza por distintos tipos de sorteos, yacencia y redondeo de los fragmentos. En la somería de la formación se distinguen los sedimentos desde el periodo relativamente seco hasta los sedimentos de las perturbaciones ciclónicas. La estratificación generalmente es cruzada y lenticular, típica de las terrazas y el acarreo fluvial.

Depósitos de sedimentos palustres (pal)

Aparecen en la parte baja del curso del río, en zonas aledañas a la desembocadura, constituidos por sedimentos no consolidados, friables y fragmentarios: aleurolitas calcáreas y organodetríticas, arena margosa y arcillosa, a veces con gravas pequeñas de color castaño grisáceo. En las zonas periféricas entre los granos finos se encuentran granos de sal. En las partes lagunares se encuentran capas y lentes de turbas.

I.3.1 Geomorfología

La complejidad tectónica del territorio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la compresión (Rodríguez, 1998). En el área de estudio se han delimitado una serie de bloques morfoTECTÓNICOS los que se describen a continuación (figura 5).

Bloque El Toldo: El área de investigación se encuentra dentro del bloque El Toldo y es el de máxima extensión, correspondiéndole también los máximos valores del levantamiento relativo de la región. Litológicamente está conformado en superficie por las rocas del complejo máfico y ultramáfico de la secuencia

ofiolítica, sobre las cuales se ha desarrollado un relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas. Hacia la parte norte se desarrollan en un pequeño sector premontañas aplanadas. El límite nororiental de este bloque está dado por la falla Cayo Guam, mientras que al sur limita con el bloque Cupey a través de la falla Quesigua.

Bloque Cayo Guam: Es el bloque de más pequeña extensión y se dispone como una cuña entre los bloques El Toldo y Cupey a través de las fallas Cayo Guam y Quesigua respectivamente y al igual que el bloque Moa, se comporta como un escalón intermedio en descenso respecto al bloque El Toldo. Geológicamente la mayor extensión de la superficie lo ocupan las rocas del complejo ofiolítico, predominando hacia el sur las serpentinitas y hacia el norte los gabros. Geomorfológicamente se desarrollan las llanuras acumulativas bajas y planas de origen fluvial o palustre en la mayor área del bloque y una pequeña franja de acumulaciones costeras. Hacia la parte sur aparecen las premontañas y montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas con elevaciones máximas de 460 m. Los movimientos horizontales en este bloque son muy evidentes y se ponen de manifiesto en los desplazamientos de la línea de costa y formas del relieve de hasta dos kilómetros con una dirección sur predominante.

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

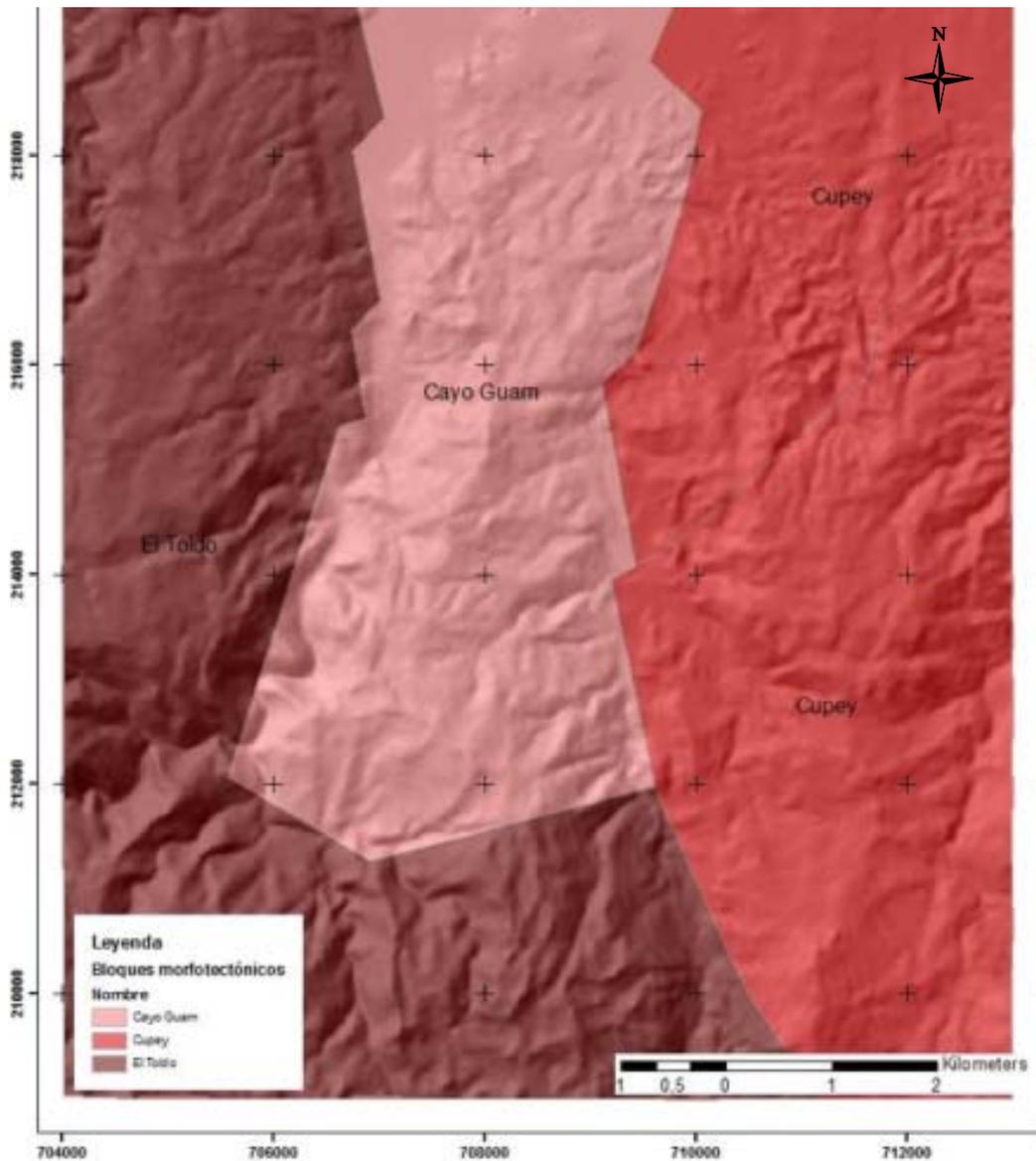


Figura 5. Mapa de bloques morfotectónicos (Tomado de Rodríguez, 1999).

I.3.2 Tectónica

En los estudios tectónicos precedentes del territorio se han reconocido cuatro sistemas de estructuras disyuntivas que corresponden a cada uno de los periodos de la evolución geotectónica. (Batista, J, 1998) (Rodríguez, 1999).

En el área de estudio existen tres estructuras disyuntivas fundamentales que se presentan a continuación con sus características respectivas:

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

Falla Quesigua: Se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, manteniendo en su parte septentrional, donde su trazo es más recto un rumbo N10°E y en la meridional, N40°W. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní. En el análisis geodésico no se observan desplazamientos verticales pronunciados entre los puntos situados a ambos lados de la falla y sólo se marcan con desniveles de 2 mm en el ciclo de mediciones 1990-1993. Sin embargo, los desplazamientos horizontales evidenciados por los parámetros geomorfológicos están en el rango de 0,75 km y 1,0 km.

Falla El Medio: Fue mapeada desde Punta Mangle hasta su intersección con el río Quesigua con un rumbo aproximado de N40°E.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

Introducción

El presente capítulo describe la metodología aplicada en la investigación según las etapas principales. Inicia con la revisión de la información de los trabajos precedentes. Se describe el método y procedimiento utilizado para el estudio de la calidad de las aguas subterráneas, y así determinar las principales áreas perspectivas para envasar agua mineral natural.

La investigación en el área del Sector Hidrogeológico La Melba, se realizó en tres etapas fundamentales (Figura 6).

- **Etapas I: Preliminar. Planeamiento.**
- **Etapas II: Experimental. Muestreo y Análisis de Laboratorio.**
- **Etapas III: Gabinete. Procesamiento, Interpretación, Conclusiones y Recomendaciones.**

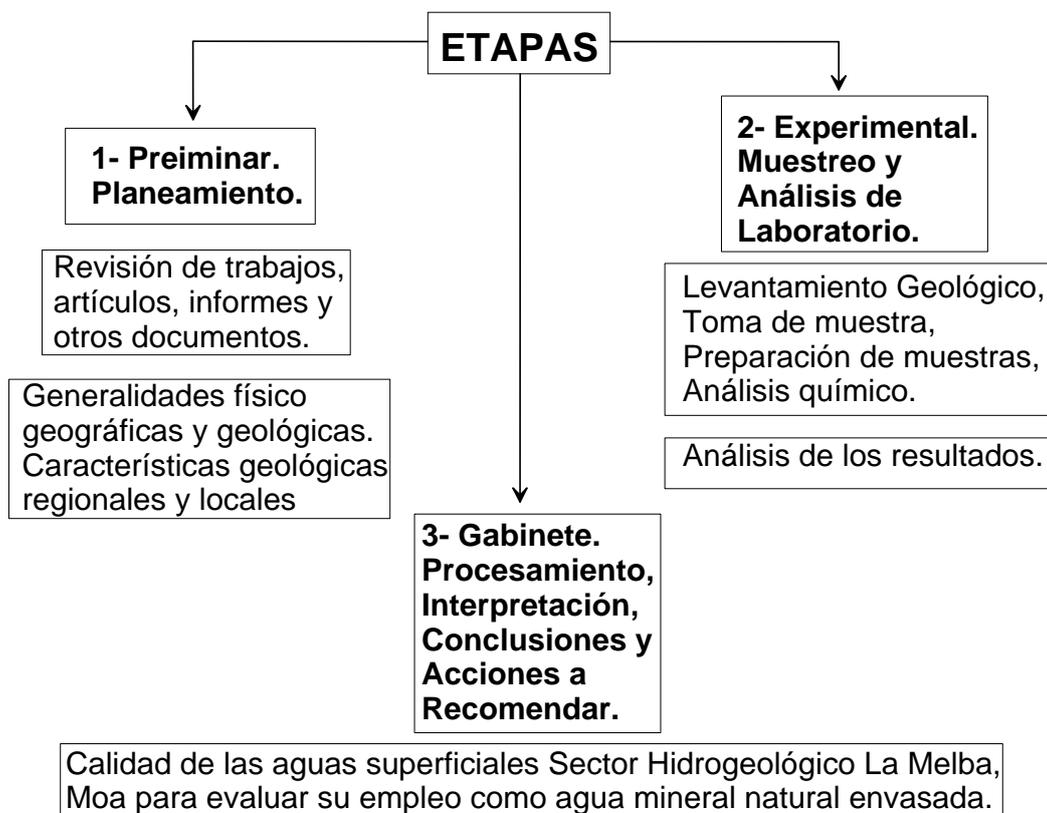


Figura 6. Organigrama que resume la metodología de la investigación.

II.1 Etapa Preliminar. Planeamiento

Se recopiló la información existente en archivos técnicos de RAUDAL y otras entidades tales como la ENIA y Geocuba sobre investigaciones realizadas en esta área, así como investigaciones análogas en otras áreas con similares características. Se aplicó el D (11)-1.01-02: Manual de gestión de la innovación según procedimientos del sistema integrado de gestión de la calidad de RAUDAL. Se elaboró según lo establecido para este tipo de obra y categoría de investigación en la documentación del Sistema Integrado de Gestión de RAUDAL. Se planificaron los volúmenes y las metodologías de los trabajos, que incluyeron las tareas específicas para cumplimentar la presente investigación.

II.2 Experimental. Muestreo y Análisis de Laboratorio

Levantamiento Geológico y de Peligros

Se hizo el levantamiento geológico y de peligros en el terreno, mediante itinerarios por las redes viales existentes, con el fin de comprobar la geología existente y determinar los focos contaminantes y otros peligros que pudieran afectar las fuentes de agua. En total se levantaron durante el período 1 500 ha. Además, se ubicaron los puntos de muestras.

Trabajos hidrogeológicos

Se visitaron fuentes de agua por gravedad que existen en esta región, donde las lluvias son numerosas durante casi todo el año. Asimismo, se realizó el muestreo hidroquímico de las mismas, las que se enviaron a los laboratorios de la ENAST en Holguín y La Habana (para la determinación de la presencia de metales pesados en agua, análisis físicos, químicos y microbiológicos). Se observó en detalle el cumplimiento de las zonas de protección sanitaria establecidas por el INRH y cualquier otro detalle que pudiera afectar la calidad de las aguas. Se ejecutaron los trabajos según procedimiento para la elaboración, ejecución y revisión de las investigaciones hidrogeológicas. P (11)-2.01-01.

Trabajos de laboratorio

Los trabajos de laboratorios se efectuaron simultáneamente con el campo, el mismo permitió obtener las determinaciones de: Potencial de Hidrógeno (pH), Conductividad Eléctrica (CE), Sales Solubles Totales (SST), CO₃, HCO₃, Cl, SO₄,

NO₃, NO₂, Ca, Mg, Na, K, Dureza Total, Turbidez, Color, Sólidos Disueltos Totales (SDT), O₂ Disuelto, Demanda Química Oxígeno (DBO), Demanda Biológica Oxígeno (DBO₅), NH₄, Coliformes Totales y Fecales en el Laboratorio de la ENAST de Holguín.

II.3 Trabajos de Gabinete

Durante esta etapa se realizó el procesamiento de los materiales obtenidos hasta el momento, Consistieron en:

- Recopilación y análisis de materiales de archivo.
- Procesamiento y evaluación de los trabajos de campo y de gabinete realizados, confección de tablas, mapas y planos en formato digital.

Para el procesamiento de los datos obtenidos en campo se emplearon los Softwares para generar los mapas temáticos (Access 2010, Microsoft Excel 2010 y Surfer 14, Autocad 2014, ARGIS 10.2, Global Mapper 12).

Para la caracterización de las aguas se emplearon diferentes normas nacionales: Las Normas Cubanas NC 1021:2014 Higiene Comunal, Fuente de Abastecimiento de Agua, Calidad y Protección; NC 296:2005 Aguas Potables Envasadas, Requisitos Generales; NC 297:2005 Aguas Minerales Naturales Envasadas, Especificaciones; NC 716:2009 Aguas Minerales Naturales, Requisitos Para la Clasificación, Evaluación, Explotación y Procesamiento (Envasado) de las Aguas Minerales Para Beber; NC 827:2017 Agua Potable, Requisitos sanitarios. Además la clasificación según O. A. Aliokin e Índice global de Calidad de las Aguas.

Clasificación según O. A. Aliokin

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

Todas las aguas se dividen por el anión predominante en tres clases:

Hidrocarbonatadas y carbonatadas (HCO₃⁻ + CO₃⁼), sulfatadas (SO₄²⁻), y clóricas (Cl⁻).

Estas a su vez se dividen en tres grupos por uno de los cationes predominantes (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺) y cada grupo se divide en tres tipos por la relación entre

los miligramos equivalentes de los iones; en total se dividen en cuatro tipos. El **primer tipo** se caracteriza por la relación $\text{HCO}_3^- > (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$. Las aguas de este tipo son débilmente mineralizadas; el **segundo tipo** tiene la relación $\text{HCO}_3^- < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) < (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ con este grupo se relacionan las aguas subterráneas, las aguas de los ríos y lagos de poca mineralización; el **tercer tipo** se caracteriza por la relación $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$. Las aguas de este tipo son fuertemente mineralizadas, mezcladas y metamorfizadas; con este tipo se relacionan las aguas de mares y océanos y el **cuarto tipo** se caracteriza por la ausencia de iones HCO_3^- . Las aguas de este tipo son ácidas y existen solamente en las clases sulfatadas y clóricas en los grupos $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, donde no existe el primer grupo.

Para definir las clases y grupos de las aguas y su denominación, uno de los métodos más prácticos y utilizados es el de B. M. Kurlov.

La fórmula de Kurlov ubica a los aniones en el numerador en por ciento – equivalente, de forma descendente y en el denominador; de la misma forma se ubican los cationes.

CAPÍTULO III. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Introducción

En el presente capítulo se exponen los resultados de la investigación, referente a la evaluación de la calidad del agua, para determinar las principales áreas perspectiva, además del estudio de vulnerabilidad para evaluar las fuentes de las aguas de La Melba para su uso como agua mineral natural envasada.

III.1 Determinación de las propiedades físico químicas y microbiológicas¹² de las aguas

Monitoreo de las aguas

En esta zona no hay tradición de utilización del agua subterránea, por lo que no existen pozos criollos, ni construido a percusión que se utilicen para el abastecimiento a los pobladores. Todos los habitantes emplean el agua superficial proveniente de los manantiales que forman los arroyos de montaña y originan el nacimiento de los ríos. Estos ríos jóvenes transitan por valles estrechos con pequeñas llanuras aluviales que no se explotan en la actualidad. Los pobladores se abastecen, utilizando tuberías y mangueras que son instaladas en partes donde fluye buena cantidad de agua. Estas aguas no poseen tratamiento para su potabilización.

Inicialmente se efectuó un reconocimiento del área para planificar los trabajos a desarrollar. Durante los trabajos de campo realizados se tomaron muestras de agua (Figura 7) para ensayos físicos, químicos y microbiológicos, cuyos resultados se muestran en las tablas (2,3,4,5,6,7,8,9). Con vistas a dar seguimiento a la calidad del agua que potencialmente pudiera servir para ser embotellada se seleccionaron varios puntos de monitoreo, cuya relación se ofrece en la siguiente tabla, tabla 1.

Tabla 1. Puntos de monitoreo

Punto de Monitoreo	X	Y	Muestras Tomadas	Fecha
1. Tranque de Yoyi	710902,00	710902,00	3401 y 3402	15/09/2016
2. Salto Las Comadres	710454,86	202433,60	903	11/2/2015
3. Fuente Acueducto. Arroyo Bueno	709556,48	200558,01	904	11/2/2015
4. Salto de Onelio	710678,04	199253,46	905	11/2/2015
5. Gravera Río Jaguaní	710306,28	199005,39	1980	20/4/2015
6. Tranque de Eulises	710745,83	199636,63	1416	11/3/2015
7. Origen Las Comadres	710285,02	202627,04	1420	11/3/2015
8. Nac. Arroyo La Mina	709871,96	200968,60	1982	20/4/2015
9. Salto Río Morones	709605,11	199599,96	1984	20/4/2015
10. Confluencia Palmares- Jaguaní	711740,24	200301,94	1986	20/4/2015
11. Arroyo Palmares	711631,03	200423,46	1987	20/4/2015
12. Desembocadura Río Morones	710284,24	199141,19	1412	11/3/2015
13. Río Jaraguá en Mina Mercedita	707358,95	199045,15	1414	11/3/2015
14. Río Jaguaní en La Naza.	709569,54	198034,92	1413	11/3/2015

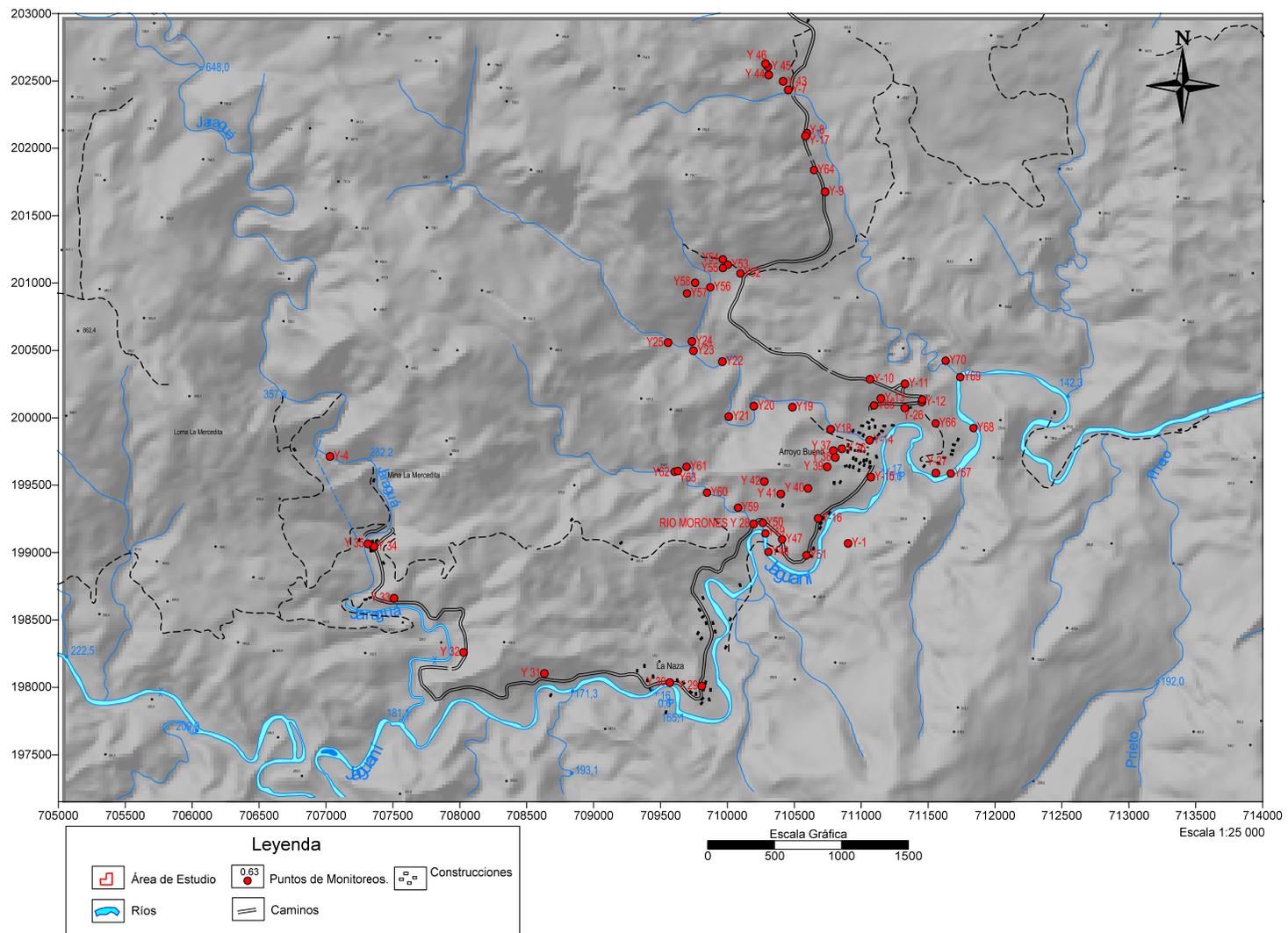


Figura 7. Datos Reales. Pérez Jara, 2018.

Calidad de las aguas

Tabla 2. Composición de HCO₃ en mg/l

Muestra	Ensayo	Valor (mg/l)	Valor admisible (mg/l)	Clasificación
3401	HCO ₃	98	800	Baja Mineralización
3403	HCO ₃	104		Baja Mineralización
3405	HCO ₃	79		Baja Mineralización
903	HCO ₃	55		Baja Mineralización
904	HCO ₃	55		Baja Mineralización
905	HCO ₃	61		Baja Mineralización
906	HCO ₃	73		Baja Mineralización
907	HCO ₃	104		Baja Mineralización
908	HCO ₃	73		Baja Mineralización
1412	HCO ₃	110		Baja Mineralización
1413	HCO ₃	91		Baja Mineralización
1414	HCO ₃	73		Baja Mineralización
1415	HCO ₃	146		Baja Mineralización
1416	HCO ₃	98		Baja Mineralización
1417	HCO ₃	104		Baja Mineralización
1418	HCO ₃	73		Baja Mineralización
1419	HCO ₃	104		Baja Mineralización
1420	HCO ₃	73		Baja Mineralización
1979	HCO ₃	73		Baja Mineralización
1980	HCO ₃	98		Baja Mineralización
1981	HCO ₃	79		Baja Mineralización
1982	HCO ₃	85		Baja Mineralización
1983	HCO ₃	104		Baja Mineralización
1984	HCO ₃	159		Baja Mineralización
1985	HCO ₃	122		Baja Mineralización
1986	HCO ₃	98		Baja Mineralización
1987	HCO ₃	43		Baja Mineralización

Tabla 3. Composición de Ca²⁺ en mg/l

Muestra	Ensayo	Valor (mg/l)	Valor admisible (mg/l)	Clasificación
3401	Ca	28	200	Baja Mineralización
3403	Ca	20		Baja Mineralización
3405	Ca	10		Baja Mineralización
903	Ca	4		Baja Mineralización
904	Ca	10		Baja Mineralización
905	Ca	12		Baja Mineralización
906	Ca	12		Baja Mineralización
907	Ca	22		Baja Mineralización
908	Ca	4		Baja Mineralización
1412	Ca	16		Baja Mineralización
1413	Ca	12		Baja Mineralización
1414	Ca	10		Baja Mineralización
1415	Ca	24		Baja Mineralización
1416	Ca	20		Baja Mineralización
1417	Ca	22		Baja Mineralización
1418	Ca	4		Baja Mineralización
1419	Ca	22		Baja Mineralización
1420	Ca	4		Baja Mineralización
1979	Ca	8		Baja Mineralización
1980	Ca	12		Baja Mineralización
1981	Ca	4		Baja Mineralización
1982	Ca	19		Baja Mineralización
1983	Ca	17		Baja Mineralización
1984	Ca	31		Baja Mineralización
1985	Ca	17		Baja Mineralización
1986	Ca	14		Baja Mineralización
1987	Ca	11		Baja Mineralización

Tabla 4. Composición de Na¹⁺ en mg/l

Muestra	Ensayo	Valor (mg/l)	Valor admisible (mg/l)	Clasificación
3401	Na	5	200	Baja Mineralización
3403	Na	5		Baja Mineralización
3405	Na	12		Baja Mineralización
903	Na	1		Baja Mineralización
904	Na	1		Baja Mineralización
905	Na	1		Baja Mineralización
906	Na	3		Baja Mineralización
907	Na	1		Baja Mineralización
908	Na	1		Baja Mineralización
1412	Na	5		Baja Mineralización
1413	Na	1		Baja Mineralización
1414	Na	3		Baja Mineralización
1415	Na	3		Baja Mineralización
1416	Na	5		Baja Mineralización
1417	Na	1		Baja Mineralización
1418	Na	1		Baja Mineralización
1419	Na	1		Baja Mineralización
1420	Na	1		Baja Mineralización
1979	Na	1		Baja Mineralización
1980	Na	1		Baja Mineralización
1981	Na	1		Baja Mineralización
1982	Na	1		Baja Mineralización
1983	Na	3		Baja Mineralización
1984	Na	1		Baja Mineralización
1985	Na	3		Baja Mineralización
1986	Na	1		Baja Mineralización
1987	Na	1		Baja Mineralización

Tabla 5. Composición de Mg²⁺ en mg/l

Muestra	Ensayo	Valor (mg/l)	Valor admisible (mg/l)	Clasificación
3401	Mg	5	150	Baja Mineralización
3403	Mg	6		Baja Mineralización
3405	Mg	6		Baja Mineralización
903	Mg	11		Baja Mineralización
904	Mg	16		Baja Mineralización
905	Mg	8		Baja Mineralización
906	Mg	10		Baja Mineralización
907	Mg	11		Baja Mineralización
908	Mg	16		Baja Mineralización
1412	Mg	12		Baja Mineralización
1413	Mg	10		Baja Mineralización
1414	Mg	10		Baja Mineralización
1415	Mg	14		Baja Mineralización
1416	Mg	12		Baja Mineralización
1417	Mg	11		Baja Mineralización
1418	Mg	16		Baja Mineralización
1419	Mg	11		Baja Mineralización
1420	Mg	16		Baja Mineralización
1979	Mg	17		Baja Mineralización
1980	Mg	14		Baja Mineralización
1981	Mg	17		Baja Mineralización
1982	Mg	19		Baja Mineralización
1983	Mg	17		Baja Mineralización
1984	Mg	31		Baja Mineralización
1985	Mg	17		Baja Mineralización
1986	Mg	14		Baja Mineralización
1987	Mg	11		Baja Mineralización

Tabla 6. Composición de pH en U

Muestra	Ensayo	Valor (U)	Valor admisible (U)	Clasificación
3401	pH	7,42	6,5-8,5	Alcalinas
3403	pH	7,38		Alcalinas
3405	pH	7,29		Alcalinas
903	pH	7.92		Alcalinas
904	pH	8.38		Alcalinas
905	pH	8.22		Alcalinas
906	pH	8.03		Alcalinas
907	pH	8.15		Alcalinas
908	pH	8.07		Alcalinas
1412	pH	8.13		Alcalinas
1413	pH	8.22		Alcalinas
1414	pH	8.55		Alcalinas
1415	pH	8.03		Alcalinas
1416	pH	8.05		Alcalinas
1417	pH	8.15		Alcalinas
1418	pH	8.07		Alcalinas
1419	pH	8.15		Alcalinas
1420	pH	8.07		Alcalinas
1979	pH	8.6		Alcalinas
1980	pH	8.24		Alcalinas
1981	pH	7.93		Alcalinas
1982	pH	8.5		Alcalinas
1983	pH	8.03		Alcalinas
1984	pH	8.39		Alcalinas
1985	pH	8.11		Alcalinas
1986	pH	8.12		Alcalinas
1987	pH	8.32		Alcalinas

Tabla 7. Composición de SST en mg/l

Muestra	Ensayo	Valor (mg/l)	Valor admisible (mg/l)	Clasificación
3401	SST	144	1 000	Baja mineralización
3403	SST	143		Baja mineralización
3405	SST	112		Baja mineralización
903	SST	79		Baja mineralización
904	SST	108		Baja mineralización
905	SST	95		Baja mineralización
906	SST	111		Baja mineralización
907	SST	150		Baja mineralización
908	SST	106		Baja mineralización
1412	SST	152		Baja mineralización
1413	SST	118		Baja mineralización
1414	SST	109		Baja mineralización
1415	SST	203		Media mineralización
1416	SST	153		Baja mineralización
1417	SST	150		Baja mineralización
1418	SST	106		Baja mineralización
1419	SST	150		Baja mineralización
1420	SST	106		Baja mineralización
1979	SST	130		Baja mineralización
1980	SST	144		Baja mineralización
1981	SST	116		Baja mineralización
1982	SST	144		Baja mineralización
1983	SST	155		Baja mineralización
1984	SST	228		Media mineralización
1985	SST	178		Baja mineralización
1986	SST	138		Baja mineralización
1987	SST	96	Baja mineralización	

Tabla 8. Composición de NO₃¹⁻ en mg/l

Muestra	Ensayo	Valor (mg/l)	Valor admisible (mg/l)	Clasificación
3401	NO ₃ ¹⁻	<1	45	No Contaminada
3403	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
3405	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
903	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
904	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
905	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
906	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
907	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
908	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
1412	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
1413	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
1414	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
1415	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
1416	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
1417	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
1418	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
1419	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
1420	NO ₃ ¹⁻	<1		No Contaminada
1979	NO ₃ ¹⁻	2		No Contaminada
1980	NO ₃ ¹⁻	2		No Contaminada
1981	NO ₃ ¹⁻	2		No Contaminada
1982	NO ₃ ¹⁻	2		No Contaminada
1983	NO ₃ ¹⁻	4		No Contaminada
1984	NO ₃ ¹⁻	2		No Contaminada
1985	NO ₃ ¹⁻	2		No Contaminada
1986	NO ₃ ¹⁻	2		No Contaminada
1987	NO ₃ ¹⁻	2		No Contaminada

Tabla 9. Composición de NO₂¹⁻ en mg/l

Muestra	Ensayo	Valor (mg/l)	Valor admisible (mg/l)	Clasificación
3401	NO ₂ ¹⁻	<0,01	0,01	No Contaminada
3403	NO ₂ ¹⁻	<0,01		No Contaminada
3405	NO ₂ ¹⁻	<0,01		No Contaminada
903	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
904	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
905	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
906	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
907	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
908	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1412	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1413	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1414	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1415	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1416	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1417	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1418	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1419	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1420	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1979	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1980	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1981	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1982	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1983	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1984	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1985	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1986	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada
1987	NO ₂ ¹⁻	<0.01		No Contaminada

Según los resultados obtenidos de los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las muestras tomadas y la consulta realizada a las normas de Agua Potable (NC 827:2017. Agua potable. Requisitos sanitarios, NC 297:2005. Aguas minerales envasadas) se puede apreciar que: Con respecto al Nitrato, en todas las muestras se obtuvieron valores menores que 4 mg/l y el Límite Máximo Permisible (LMP) es de 45 mg/l; el pH en todos los casos se encuentra dentro del rango establecido (6,5 – 8,5) en el Centro y Este-Sureste del estudio, excepto en donde se obtuvieron valores de 8,55 (Río Jaraguá cerca de la Mina Mercedita) y 8,71 (Origen de Las Comadres) hacia la parte Oeste-Noroeste del área, donde la composición de las rocas es básica y ultrabásica; el Cloruro en todas las muestras posee valores entre 7-18 mg/l y el LMP es de 250 mg/l; en el caso del Sulfato también los valores son muy bajos 1–4,9 mg/l y el LMP es de 400 mg/l; en cuanto a las Sales Solubles Totales, los valores oscilan entre 79-228 mg/l y su LMP es de 1000 mg/l. Es decir, que todos los valores obtenidos en el área están dentro de lo permisible según la norma cubana. Los Sólidos Disueltos Totales alcanzaron valores entre 92 mg/l y 689 mg/l los que están todos dentro del rango permisible por la norma cubana (1000 mg/l), la que no contempla límites mínimos. Sin embargo en algunas partes del mundo en la actualidad se cuestionan las aguas con muy bajo contenido de este parámetro y no se recomienda su embotellado.

El Nitrito (indicador de contaminación reciente) en todas las muestras posee valores por debajo de la norma (menores de 0,01 mg/l y el LMP es de 0,01 mg/l), excepto en el Salto situado en el camino a la Mina La Melba donde se obtuvo 0,23 mg/l y 0,52 mg/l en el Arroyo Onelio aguas arriba del Salto Onelio, que mucha contaminación lo que es peligroso, ya que de éste se abastecen varias viviendas.

La turbidez se encuentra en valores de NTU de 1 a 4 que se encuentra dentro del límite máximo permisible.

Respecto a los Coliformes Totales y Fecales que se aprecian valores en muchos casos desde 50 mg/l y hasta mayores de 1600 mg/l, (solamente en las muestras tomadas en el Arroyo La Mina los coliformes totales y fecales se

encuentran por debajo del LMP ($< 2 \text{ NMP}/100 \text{ cm}^3$). Estos últimos parámetros analizados indican la existencia de Puntos de Peligro para los acuíferos, aunque es conocido que en las aguas superficiales es frecuente que los ensayos bacteriológicos den alterados por la existencia de materia orgánica en descomposición y desechos de animales, pero de todas formas indica la necesidad de tomar medidas higiénicas.

Aunque se enviaron muestras al Laboratorio de la ENAST en La Habana, para determinar presencia en el agua de metales pesados por encima de lo permisible por las normas, al cierre de la presente investigación no se cuenta con los resultados.

De acuerdo con su composición química las aguas del Sector La Melba son Bicarbonatadas Cálcidas.

Todas las aguas investigadas poseen una baja concentración de sales minerales (Sólidos Disueltos Totales entre 100 mg/l y 130 mg/l) que las clasifican como de Baja Mineralización según la NC 716: 2009 Aguas minerales naturales – Requisitos para la clasificación, evaluación, explotación y procesamiento (envasado) de las aguas minerales para beber.

El Potencial de Hidrógeno (pH) oscila entre 7,29 y 8,71 por lo que se consideran como aguas alcalinas.

Clasificación según O. A. Aliokin

Por la composición física-química de las aguas estas son bicarbonatadas cálcicas, excepto en los puntos de muestreo Arroyo Bueno, Salto Onelio y Jaguaní que son bicarbonatadas magnésicas.

Evaluación de las fuentes de agua subterráneas de La Melba para su uso como agua mineral natural envasada

Cálculo del Índice Global de Calidad de las Aguas (ICA).

A manera de resumen evaluativo de la calidad de las aguas se determinó el ICA, que es un índice agregado que agrupa a 9 propiedades, que en este caso particular caracterizan el comportamiento de las aguas subterráneas. El mismo se calculó para los 14 puntos escogidos como más representativos para monitorear las aguas del Sector Hidrogeológico La Melba. Se determinó en los mismos a partir de las propiedades siguientes: Turbidez, pH, Nitrato, Cloruro,

Demanda Química de Oxígeno, Amonio, Conductividad Eléctrica, Sulfato y Coliformes Totales. Los valores de ICA obtenidos oscilaron entre 74,4 % y 88,57 %, clasificando las aguas como de Buena Calidad (en 5 puntos) y de Aceptable Calidad (en 9 puntos) según la Clasificación occidental que se ha aplicado tradicionalmente en nuestra entidad, o de aceptable calidad (en 5 puntos) y Ligeramente Contaminadas (en 9 puntos), según la Clasificación del ICA enviada recientemente por el INRH. El valor promedio del ICA calculado es de 80 %, que es bueno para un área tan extensa como la que se estudió. El cálculo de este índice se ofrece completamente en el Anexo textual 3: Tabla de Cálculo del Índice Global de Calidad de las Aguas (ICA). La distribución espacial del ICA se puede observar en la figura 8. En este plano se aprecia que en toda la zona, como es de esperar por ser un área protegida y estar poco antropizada, las aguas tienen calidad y son aptas para el consumo humano y también para otros usos. Los valores más altos del ICA se concentran en las partes Oeste y Este del área y los menores hacia la parte central de la misma, principalmente en las áreas más pobladas. (Anexo textual 3).

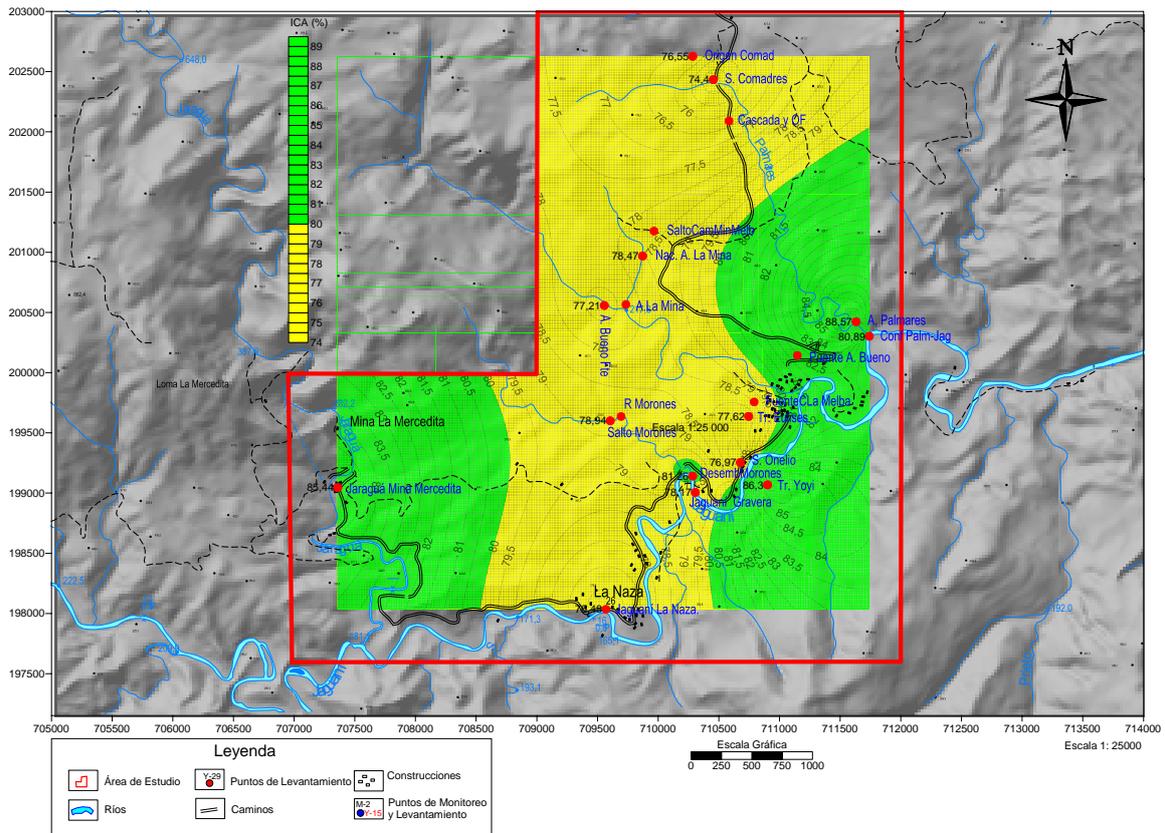


Figura. 8 Índice Global de Calidad de las Aguas.

Evaluación de las fuentes estudiadas

Teniendo en cuenta el ICA y los análisis de propiedades, se hizo una evaluación general de las fuentes de manera cuantitativa donde se asignaron tres puntos a los puntos de monitoreo que caen en los rangos de color verde, 2 puntos que están en color amarillo y 1 punto a los pertenecientes al rojo. Esta valoración ponderada se sumó para cada fuente dando un total que debía tener como 100 % un valor de 21 puntos. Entre 85 % y 100 % se considera que la fuente es Excelente, o sea de 18 a 21 puntos. Se propone como la más favorable para embotellar. Entre 70 y 84 % se consideró que la fuente es Buena, o sea de 15 a 17.9 puntos. Se evalúa como Favorable para embotellar.

Entre 50 % y 70 % se considera que la fuente es Aceptable, o sea de 10.5 a 14.9 puntos. Poco favorable para embotellar.

Menor de 50 % se considera que la fuente es Deficiente, cuando es menos de 10,5 puntos. No apta para embotellar. (Anexo Textual 6).

En el primer rango clasificaron el Salto las Comadres, Arroyo Bueno

Fuente potencial del acueducto y el Arroyo Palmares. En segunda opción tenemos Nacimiento Arroyo La Mina, Salto Río Morones, Tranque de Yoyi y el Salto de Onelio.

III.2 Estudio de vulnerabilidad

Vulnerabilidad natural.

La zona de los trabajos presenta en su mayor parte condiciones naturales favorables para que su vulnerabilidad sea baja, ya que es una zona montañosa, con un paisaje conservado, cubierto de vegetación autóctona, fuertes pendientes que permiten un rápido escurrimiento superficial. No posee potentes espesores de suelos permeables donde los agentes contaminantes se infiltren y alojen de manera permanente y aunque tiene un régimen de lluvia elevado respecto a otras zonas del país la mayor parte del agua que cae, debido a las fuertes pendientes escurre rápidamente a través de la red hidrográfica bastante desarrollada que existe en esta región. Además de la poca cobertura de suelo, la geología del terreno es a partir de rocas ultrabásicas, prácticamente impermeables, por lo que el manto freático no se localiza uniformemente distribuido, sino que se establece solamente en las zonas de fallas, donde las rocas están muy agrietadas e intemperizadas o también en las pequeñas terrazas aluviales de estos ríos jóvenes de montaña. Estas características son propias de zona montañosa, sin embargo en los estrechos valles intramontanos la vulnerabilidad se eleva al ser llano el relieve, estar presente la litología de gravas y arenas, localizándose el nivel del manto freático a menor profundidad. (Ver Anexo textual 4).

En esta zona se aplicó la Metodología GOD para el cálculo de la Vulnerabilidad Natural. (Anexo textual 2). A continuación se exponen los resultados obtenidos:

Valores Promedios:

Grado de Confinamiento Hidráulico: **0,8**

Ocurrencia del Sustrato adyacente (Litología de la Zona No Saturada): **0,63**

Distancia al nivel del agua subterránea: **0,9**

I_v GOD: G x O x D: 0,44

Según estos resultados del Índice de Vulnerabilidad en este Sector La Melba la

Vulnerabilidad Natural o Intrínseca en general se clasifica (intervalo de 0,3 a 0,5) **como Media**, pues hacia la parte montañosa (Origen Las Comadres, Salto Río Morones, Tranque de Yoyi, Nacimiento Arroyo Bueno) es Baja y en el valle (donde están los ríos Jaraguá, y confluencia de éste con Río Morones y Arroyo Palmares) en las estrechas terrazas aluviales es Alta. (Figura 9).

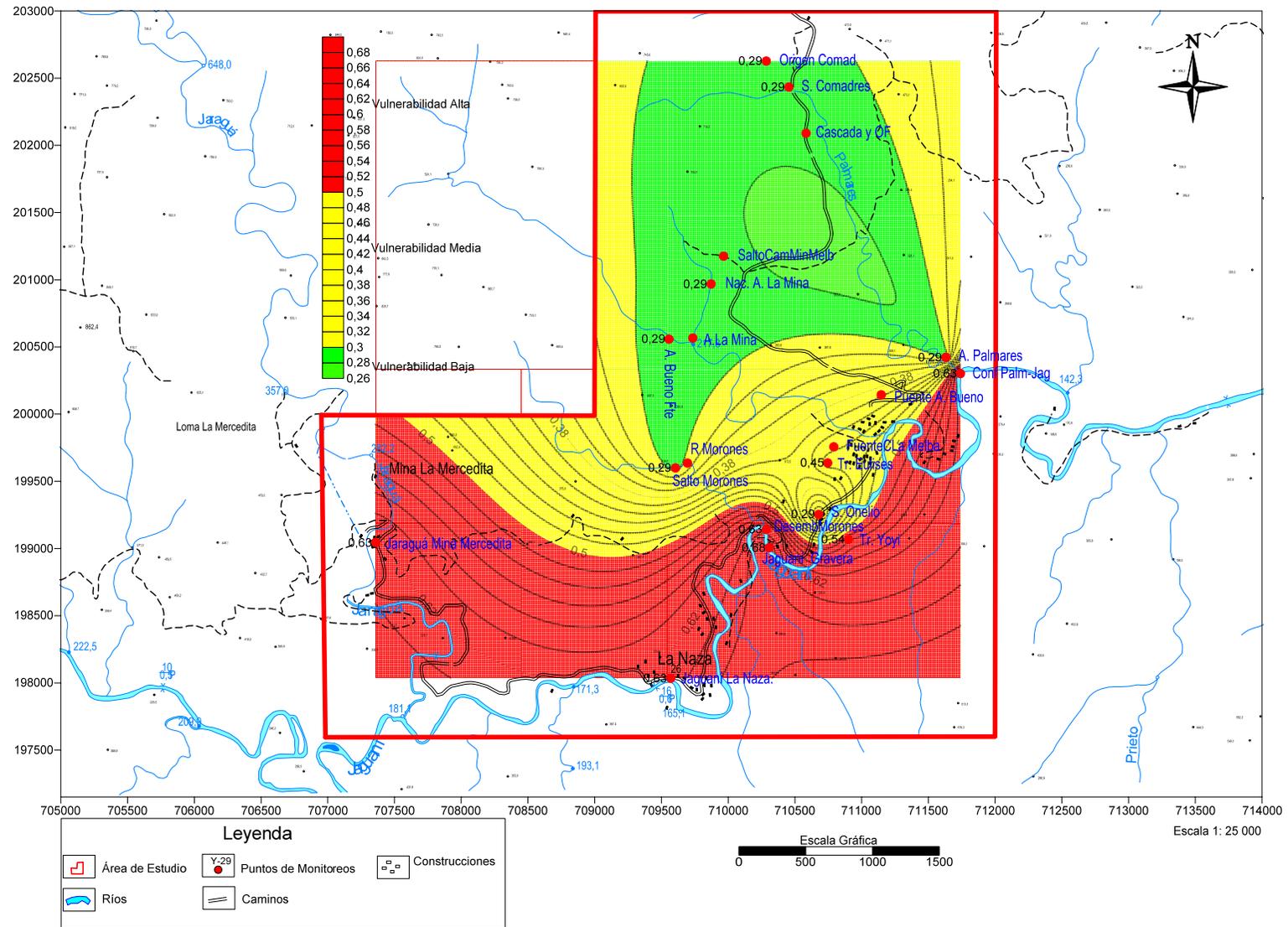


Figura. 9 Vulnerabilidad Intrínseca. Pérez Jara, 2018.

Estudio del Peligro.

A la Comunidad La Melba se accede saliendo de la ciudad de Moa, después del poblado de Punta Gorda se toma por un camino de montaña, en malas condiciones desde que la Mina La Mercedita fue cerrada hace algunos años. El principal asentamiento se localiza a más de 40 km de la cabecera municipal.

La Comunidad La Melba cuenta con más de 300 habitantes y varias instalaciones socio-económicas como son: Escuela Primaria, Consultorio del Médico de la Familia, Tienda de Víveres y Productos Industriales, Panadería, Círculo Social. Existen viviendas de diferentes tipologías y con mal estado constructivo.

Levantamiento de Puntos de Peligro.

Se realizó el levantamiento por las fuentes de agua que existen en los alrededores de la Comunidad La Melba, observando los posibles focos de contaminación de origen natural o antrópicos, los principales asentamientos humanos y entidades económicas existentes, el origen, recogida, disposición y tratamiento de los residuales sólidos y líquidos que se originan en este territorio y que puedan afectar a los acuíferos.

Durante el levantamiento de los puntos de peligro existentes en el área de los trabajos se pudo conocer que los principales problemas existentes son: (Ver Anexo Textual 4).

Falta de Acueducto para el abastecimiento de agua a la población. En la actualidad no existe un sistema de abastecimiento de agua para los pobladores del Consejo Popular La Melba. En estos momentos se están realizando los estudios para confeccionar el Proyecto de Acueducto Rural por parte de la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Holguín (Raudal). La fuente de abasto para este acueducto puede ser a partir de los numerosos ríos y arroyos de montaña que existen en el territorio, los que mantienen un buen caudal de manera permanente, debido a que en esta zona llueve abundantemente durante casi todo el año, con más de 2 500 mm como promedio histórico, como se dijo anteriormente. Por esta razón la población se abastece directamente de las aguas superficiales, lo que no es bueno para su

salud, ya que en muchos lugares la misma está contaminada por vertidos de residuales de la actividad doméstica principalmente, ya que no hay casi ninguna actividad económica en esta zona. En ocasiones el caudal de estos arroyos intermitentes es muy escaso y el agua está muy turbia. Hay posibilidad de emplear fuentes de mayor calidad (como por ejemplo el Arroyo Bueno) pero económicamente la inversión inicial en conducción puede ser más cara. (Ver Anexo Textual 5).

Tranque de Yoyi. (Punto de documentación). Es una fuente alternativa que viene de un tranque realizado a un pequeño arroyo de la montaña. La manguera instalada en el mismo cruza de manera aérea el río Jaguaní y después en la margen izquierda del mismo (aguas abajo) abastece en estos momentos alrededor de 3 ó 4 viviendas. Las malas condiciones higiénicas que se observan en el tranque es debido a materia orgánica en descomposición provocan que el agua que se muestreó en el mismo, aunque tiene composición físico-química favorable, esté contaminada con Coliformes Totales y Fecales por lo que no está apta para el consumo humano. (Ver Anexo Textual 4).

Tranque de Eulises. (Punto de documentación). Es otra fuente alternativa que viene de un tranque realizado a un pequeño arroyo de la montaña, desde donde parte una manguera que abastece a varias viviendas cercanas. El tranque está destapado y sucio.

Residuales de las Comunidades La Melba y La Naza. No existe un sistema de alcantarillado para los residuales de las mismas, que son los principales asentamientos poblacionales, los cuales se disponen mediante letrinas e incluso de manera directa en los alrededores de las viviendas. Cuando llueve mucho se desbordan las letrinas y estos residuales, a través del escurrimiento superficial, van a parar al río Jaguaní.

Abastecimiento de agua directo de la población desde el río. Muchos pobladores consumen el agua directamente desde el río, por lo que se exponen a contraer enfermedades debido a la contaminación de estas aguas (por el vertido de los residuales domésticos y arrastres de materia orgánica descompuesta durante las crecidas).

Vulnerabilidad específica.

Tampoco hay razones para que la vulnerabilidad específica sea alta, ya que no hay en este sector una actividad económica intensa, con industrias o servicios que emitan residuales contaminantes peligrosos, ni una agricultura que utilice cantidades significativas de fertilizantes o plaguicidas, así como tampoco hay una presión demográfica que genere una carga contaminante alta. A esto se suma que las fuentes están en territorio del Parque Nacional Alejandro de Humboldt, por lo que el tránsito de personas es restringido y no se permite dentro del mismo tener una actividad económica que pueda afectar los ecosistemas presentes. De todas formas se encaminaron estudios específicos para descartar la posibilidad de que se produjera algún tipo de contaminación. Se indagó acerca de la presencia de plaguicidas provenientes del cultivo del café, que es uno de los pocos productos agrícolas que se observa en esta zona, aunque en pocos lugares y nos aseguraron que no se emplea ningún producto químico ni tampoco fertilizante; también se tomaron muestras para conocer si había metales pesados por encima de la norma permisible para el agua; se hicieron determinaciones de Nitratos, Nitritos, Coliformes Totales y Fecales, así como de pH, Sales Solubles Totales y otros elementos.

En el presente trabajo se ofrecen las tablas donde se plasman las concentraciones de los principales elementos, en los puntos monitoreados. (Anexo Textual 5).

En la presente investigación se ofrecen las tablas y planos donde se plasman las concentraciones de estos elementos, a excepción de los resultados de los Plaguicidas que se encargarán al Instituto de Sanidad Vegetal cuando se definan las posibles fuentes a utilizar. Los mapas de vulnerabilidad específica confeccionados permiten observar claramente como hay contaminación por Nitritos en la mayor parte del área (sobre todo en el Noroeste) y con Coliformes totales (absolutamente en toda el área, pero con los mayores valores hacia donde están las fuentes de abastecimiento). En cambio se demuestra que no hay contaminación por nitratos en ninguna parte, o sea que no hay aplicación masiva de abonos nitrogenados, de lo que da fe también el mapa de pH que da valores

predominantes ligeramente básicos que descartan también contaminación química de carácter ácida y también de carácter básica. En cuanto al volumen de los recursos hídricos presentes en la zona y su potencial para ser empleados para su consumo como agua embotellada, existen un gran potencial por la abundancia de aguas superficiales en todas las épocas del año, con corrientes permanentes (ríos y arroyos) y numerosos manantiales que aparecen por doquier. Como es conocido, el agua superficial es más vulnerable que la subterránea, por lo que durante los trabajos se enfatiza en alcanzar la parte superior u origen de estas corrientes donde hay menos focos contaminantes y podrían servir como fuentes de mayor calidad. Lo que se conjuga con su accesibilidad y el factor económico para decidir cualquier inversión. Aunque no es tradicional en la región el uso de las aguas subterráneas sería conveniente considerar la posibilidad de hacer estudiar las mismas en las terrazas aluviales, con el fin de conocer su factibilidad para la explotación.

Los resultados obtenidos hasta el momento, aunque favorables, no son suficientes para llegar a conclusiones definitivas sobre el objetivo de trabajo.

III.3 Propuesta de las áreas más perspectivas como fuentes para agua mineral natural envasada.

Teniendo en cuenta la interpretación de los resultados obtenidos de las propiedades físico químicas, microbiológicas y el estudio de vulnerabilidad se pudo seleccionar las áreas más perspectivas para el objetivo propuesto.

Las mismas se relacionan a continuación:

Salto Las Comadres, Arroyo Bueno y Arroyo Palmares. (Figura 10).

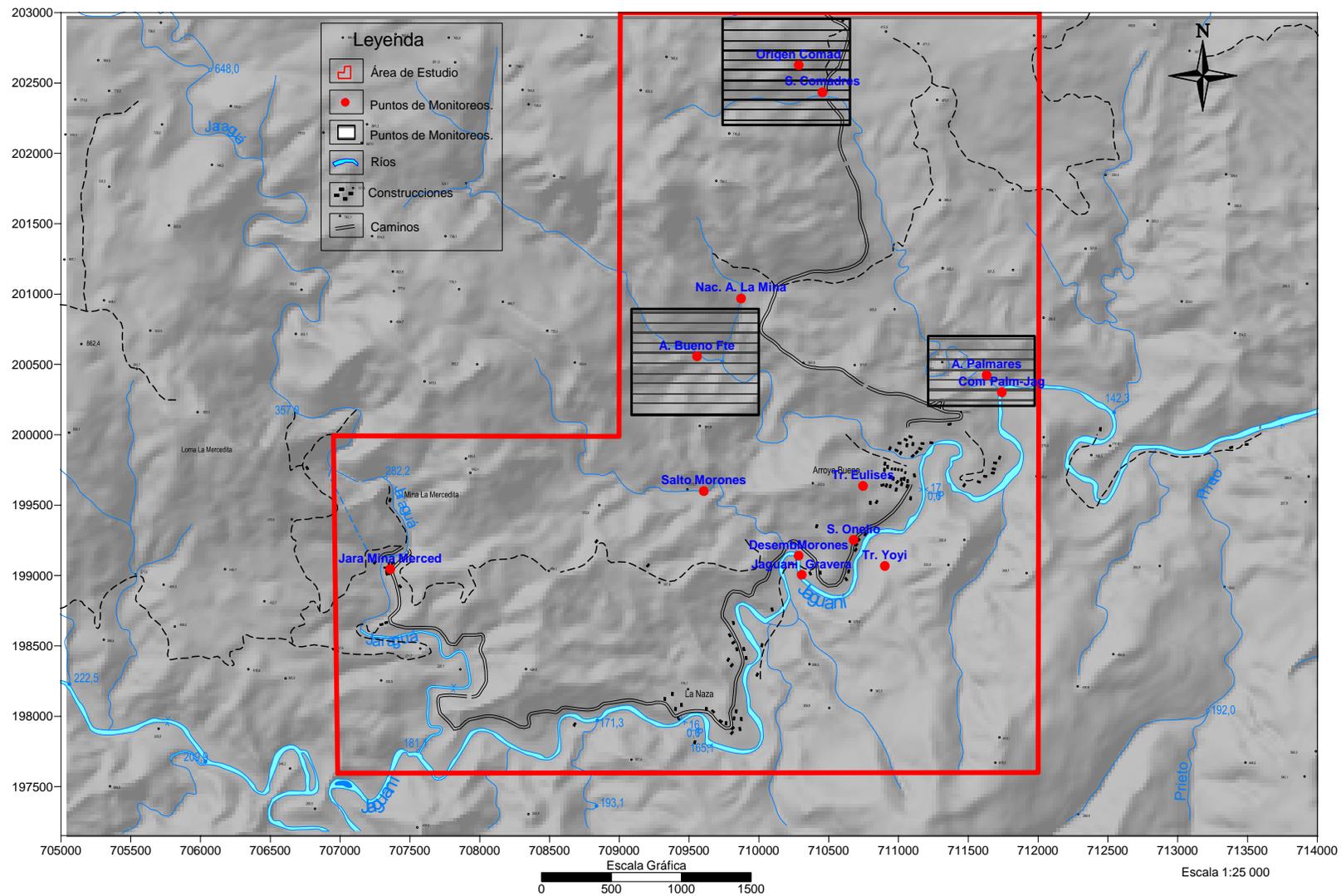


Figura 10. Ubicación de las áreas con más perspectivas para su utilización como agua mineral natural envasada. Pérez Jara, 2018.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

1. Las aguas subterráneas procedentes de las fuentes muestreadas se clasifican por su dureza total en blandas, por su grado de mineralización en dulces, y por su composición química Bicarbonatadas-cálcicas, excepto en Arroyo Bueno, Salto Onelio y Jaguaní que son Bicarbonatadas-magnésicas. Se clasifican por su dureza en blandas y por su salinidad como aguas normales. Todas las fuentes se encuentran dentro del límite máximo permisible en cuanto a los iones NO_2 , NO_3 , y NH_4 , las aguas de forma general son de buena calidad.
2. Una vez realizado el estudio de vulnerabilidad se pudo establecer que las áreas concentradas en la parte superior del plano de vulnerabilidad intrínseca son las más indicadas desde este punto de vista, ya que no presentan ningún foco contaminante que pueda perjudicar la calidad a mediano y largo plazo. No siendo así en la parte inferior ya que se encuentra la comunidad de La Melba donde los principales puntos de peligros son las letrinas.
3. Una vez caracterizada las aguas en cuanto a sus propiedades físico-químicas, microbiológicas y realizado el estudio de vulnerabilidad se determinaron las fuentes más factibles para el objetivo propuesto hasta el nivel de estudio realizado, las mismas son: Salto Las Comadres, Arroyo Bueno y el Arroyo Palmares.

Recomendaciones.

1. Continuar el monitoreo de la calidad de las aguas para contar con una información más actualizada que posibilite en el momento oportuno la toma de decisiones acertadas.
2. Extender los estudios y el monitoreo de la calidad de las aguas, de manera que se abarque todo el año (período seco y período lluvioso).
3. Implementar un Plan de Acciones para garantizar la sostenibilidad de las fuentes propuestas.
4. Adicionar calcio antes del envasado, ya que las aguas de la región se caracterizan por tener bajo contenido de este elemento químico.

Bibliografía.

ACC. (1989). Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. La Habana.

Blanco M., J. y Proenza, J. (1994). Esquema de los terrenos tectonoestratigráficos en Cuba Oriental.

Decreto-Ley N° 138. De las aguas terrestres. En Gaceta Oficial de la República de Cuba. Edición ordinaria. 2 julio 1993. N° 9, p. 121. Consejo de Estado. 14 p.

Decreto-Ley N° 199. Contravenciones de las regulaciones para la protección y el uso racional de los recursos hidráulicos. En Gaceta Oficial de la República de Cuba. Edición ordinaria. 11 mayo 1995. N° 14, p. 216. Consejo de Ministros. 3 p.

De Miguel Fernández, C. (1993). Regionalización hidrogeológica de la provincia Holguín. Archivo Técnico RAUDAL.

De Miguel Fernández, C. (2012). Hidrogeología aplicada con aspectos ambientales. Editorial Digital Universitaria Moa. 384 p.

De Miguel Fernández, C. - Vázquez Taset, Y. (2005). Regionalización hidrogeológica de la provincia Holguín, República de Cuba. En: Revista Minería y Geología, volumen 21, número 3.

Díaz, R. y Proenza, J. 2005: Metalogenia asociada a las ofiolitas y al arco de islas del cretácico del nordeste de Cuba. Minería y Geología v. 21 n. 1.

Domínguez González, L. y Rodríguez Infante, A. (2007). Potencial geológico-geomorfológico de la región de Moa para la propuesta del modelo de gestión de sitios de interés patrimonial. En: Revista Minería y Geología, volumen 23, número 4.

EMN. (2001). Normas para la proyección y ejecución de las medidas técnico-ingenieras de Defensa Civil. Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil República de Cuba. 166 p.

Fagundo Castillo, J. R. – González Hernández, P. Aguas naturales, minerales y mineromedicinales. Disponible en <http://www.sld.cu>. Bajado de internet:

14/03/2015.

Fernández Rodríguez, M. (2003). Evaluación de la calidad de las aguas de consumo humano en la zona urbana de la ciudad de Moa. Tesis de Maestría. ISMM Moa.

Gyarmati, P. y otros. (1990). Informe final Levantamiento geológico y sus Búsquedas acompañantes CAME-Guantánamo. Archivo Técnico GeoMinera Oriente.

IGP. (1985). Mapa Geológico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología. La Habana.

IGP. (2013). Léxico Estratigráfico de Cuba. (Versión digital).

INRH. Política Nacional del Agua. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Cuba. 13 p.

Iturralde, M. 1998: Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba. En Acta Geológica Hispánica.

Iturralde, M.1994: "Introduction to Cuban Geology and Tectonics". En Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba. IUGS/UNESCO, International CorrelationProgram. Project 364. Ciudad de la Habana. Pp3-47.

Ivonnet Borrero, H. - Tapia Basterrechea, M. E. (2013). Programa de Investigaciones Estudio de vulnerabilidad de acuíferos Sagua de Tánamo. Archivo Técnico RAUDAL.

Ivonnet Borrero, H. y otros. (2013a). Informe final Investigación hidrogeológica de los sectores Cuentas Claras y Cayo Redondo. Manzanillo II. Tomo II. Estudio de vulnerabilidad. Archivo Técnico RAUDAL.

Ivonnet Borrero, H. y otros. (2013b). Informe parcial de la Primera etapa Estudio de vulnerabilidad de acuíferos Sagua de Tánamo. Archivo Técnico RAUDAL.

Ivonnet Borrero, H. y otros. (2014a). Programa Investigación hidrogeológica preliminar para aguas minerales. (Sector Collazo). Archivo Técnico RAUDAL.

Ivonnet Borrero, H. y otros. (2014b). Programa Investigación hidrogeológica

preliminar para aguas minerales. (Sector El Pílon). Archivo Técnico RAUDAL.

Jiménez Hechevarría, S. Vulnerabilidad de acuíferos. En: Curso Internacional de Aguas.