



INSTITUTO SUPERIOR  
MINERO METALÚRGICO DE MOA  
Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMÉNEZ

REPUBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA  
“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”  
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN EL  
POBLADO LA MELBA**

**Tesis presentada en opción al Título de Ingeniera en Geología**

Autora: Danay de la Caridad Rubio Caballero

Tutora: MsC. Moraima Fernández Rodríguez

Moa, 2017



## DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

---

En decisión conjunta, la autora Danay de la Caridad Rubio Caballero y la tutora Moraima Fernández Rodríguez, certificamos nuestra propiedad intelectual en este Trabajo de Diploma, el cual se titula "Evaluación de la calidad de las aguas en el Poblado de La Melba." El Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, podrá hacer uso del trabajo para sus fines educativos y docentes a partir del 2019.

-----  
Autora: Danay de la Caridad Rubio  
Caballero.

-----  
Tutora: Moraima Fernández  
Rodríguez.



## *PENSAMIENTO*

*"Hay hombres que luchan un día y son buenos. Hay otros que luchan un año y son mejores. Hay quienes luchan muchos años, y son muy buenos. Pero hay los que luchan toda la vida, esos son los imprescindibles."*

*Bertolt Brecht*

## DEDICATORIA

*Este trabajo va dedicado especialmente para mi mamá Enma Caballero de la Torre y a mi papá Roberto Rubio Lamorú por haberme apoyado en toda mi etapa de estudiante, a mi novio Over Luis Cantillo Goliat por haber estado a mi lado apoyándome cuando más lo necesite, a mi hermana Dania Caridad Rubio Caballero y a mi sobrina Danis Meriño Rubio por animarme en tantos momentos difíciles que he vivido en este último curso. A mi abuelo Pablo Caballero Valdés por haberme inculcado el amor por mi carrera y apoyarme y darme fuerzas para continuar la carrera cuando ya no las tenía el cual ya no está conmigo por eso le pido a Dios que hoy lo tenga en la gloria. A toda mi familia y amistades por ayudarme de alguna u otra forma.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*Agradezco a Fidel y a la Revolución por haberme dado la posibilidad de estudiar una carrera universitaria de manera gratuita, a mi mamá y a mi papá por todo el apoyo que me han dado, a mi novio por tener tanta paciencia conmigo en estos últimos días, a mi tutora Moraima Fernández Rodríguez por dedicarme gran parte de su tiempo para que este trabajo tuviera la calidad necesaria, a todos mis profesores y compañeros de aula por estos 5 años .Muchas Gracias.*

## RESUMEN

La conservación de los recursos hídricos constituye una de las actividades prioritarias de la comunidad científica del país e internacional, por ello el estudio de la problemática ambiental, la contaminación y calidad de las aguas subterráneas y superficiales en el poblado de la Melba, es una de las prioridades de los investigadores de la temática en la zona, ya que constituye una de las reservas de agua superficial más importante ubicada dentro del Parque Nacional Alejandro de Humboldt. Moa. Cuba.

Para esta investigación se tuvo en cuenta la siguiente metodología: Recopilación y análisis de la información disponible de la región de estudio, levantamiento hidrogeológico a escala 1: 50 000, determinación de las posibles fuentes de contaminación, muestreo hidroquímico análisis físico-químicos, evaluación del índice de calidad de agua procesamiento de la información.

Según los estudios de la calidad del agua estas se clasifican como aguas dulces según su mineralización, por su pH como aguas neutras y ligeramente básicas, por su dureza son aguas muy blandas y blandas y por el índice de calidad del agua según los parámetros utilizados como débilmente contaminadas y contaminadas. Según las normas cubanas establecidas la turbidez, el cadmio, el cromo, el hierro, el mercurio, el níquel, el nitrito, el plomo y el silicio se encuentra fuera de los valores máximos permisibles para ellos.

**Palabras claves:** índice de calidad del agua, contaminación, aguas superficiales.



## SUMMARY

The conservation of the hydric resources constitutes an one belonging to the priority activities of the scientific community of the country and international for it, the study of the environmental problems, the contamination and quality of the subterranean and superficial waters at the Melba's town, one is of the priorities of the investigators of the subject matter at the zone, since you constitute an one belonging to the superficial more important water supplies located within Humboldt's Parquet National Alejandro. Moa. Cuba.

One had in account the following methodology for this investigation: Compilation and analysis of the available information of the region of study, uprising hydrogeological to scale 1: 50 000, determination of the possible sources of contamination, sampling hydrochemical physical analysis chemical, evaluation of the index of quality of water information processing.

According to the studies of the quality of water these classify themselves like waters the candy according to his mineralization, for his pH like neuter and lightly basic waters, for his hardness are very soft waters and soft and for the index of quality of the water according to the utilized parameters I eat weakly contaminated and contaminated. According to the standards established Cubans the turbidities, cadmium, chrome, iron, mercury, nickel, the nitrate, lead and silicon you meet out of the maximum permissible moral values for them.

**Key words:** index of quality of water, contamination, superficial waters



## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
Fundamentación científica de la investigación. ....	2
Marco teórico conceptual .....	4
CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO. ....	10
1.1. Introducción:.....	10
1.2.Caracterización del área de estudio. ....	10
1.2.1. Ubicación .....	10
1.2.2. Clima .....	11
1.2.3. Relieve .....	11
1.2.4. Hidrografía .....	12
1.2.5. Vegetación .....	14
1.2.6. Flora y Fauna .....	14
1.2.7. Población .....	15
1.2.8. Economía de la zona de estudio .....	15
1.3. Procesos Geodinámicos y Antrópicos.....	16
1.3.1. Geología.....	16
1.3.2. Sismicidad.....	17
1.3.3. Geomorfología .....	17
1.3.4. Estratigrafía.....	18
1.3.5 Meteorización.....	20
1.3.6 Erosión .....	20
CAPÍTULO II: VOLUMEN Y METODOLOGÍA DE LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS.....	21



2.1	Introducción.....	21
2.2	Recopilación y análisis de la información disponible a cerca de la región de estudio y áreas adyacentes.....	22
2.3	Levantamiento hidrogeológico a escala 1: 50 000. ....	22
2.3.1.	Puntos de muestreo .....	22
2.3.2.	Descripción de los puntos de muestreo. ....	23
2.4.	Muestreo hidroquímico y análisis químicos.....	24
2.4.1	Análisis en el laboratorio .....	24
2.4.2.	Técnica de tomas de muestras para análisis físico-químicos. ....	25
2.5.	Procesamiento y análisis de la información.....	26
2.6	Evaluación de la calidad de las aguas por su composición física-química..	27
2.6.1	Clasificación de las aguas según su mineralización. ....	27
2.6.2	Clasificación de las aguas por el pH. ....	28
2.6.3.	Dureza total.....	28
2.7	Metodología para la determinación del Índice de Calidad de Agua ICA <sub>sp</sub> ...	29
2.7.1	Índice de Calidad de Agua de Montoya ( ICA <sub>sp</sub> ) .....	30
2.7.2	Metodología del Índice de Calidad de Montoya .....	30
<b>CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICO E INDICE DE CALIDAD DE LAS AGUAS DEL POBLADO LA MELBA. ....</b>		
<b>34</b>		
3.1.	Introducción.....	34
3.2	Evaluación geoambiental de área de estudio.....	34
3.3.	Fuentes de contaminación. ....	36
3.4.	Caracterización física - química del agua.....	37
3.4.1.	Caracterización del agua según sus compuestos orgánicos.....	37
3.4.2	Caracterización del agua según sus compuestos metálicos. ....	47



3.4.4. Clasificación según la Mineralización (g/l).....	53
3.5. Índice de Calidad de Agua .....	55
CONCLUSIONES.....	58
RECOMENDACIONES .....	59
BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA .....	60
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....	62
ANEXOS .....	65

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso indispensable para el desarrollo de la vida, y por ende del progreso del hombre. La afectación en los procesos naturales del sistema hídrico puede ser atribuida a la falta de conocimiento de los caudales reales disponibles y la capacidad de carga contaminante que podrían soportar estos ecosistemas para mantener su funcionalidad.

La conservación de los recursos hídricos constituye una de las actividades prioritarias de la comunidad científica de nuestro país e internacionalmente, por ello el estudio de la problemática ambiental, la contaminación y calidad de las aguas subterráneas y superficiales es de vital importancia.

En Cuba la elevación del nivel de vida en las montañas, como parte fundamental del desarrollo del país, es un objetivo básico. Tal propósito condiciona la necesidad de evaluar, cuantitativamente la calidad de las aguas en las zonas de montaña ya que estas han sido relativamente poco estudiadas desde el punto de vista hidrogeológico e históricamente no se han evaluado con suficiente detalle. La Melba se encuentra ubicada dentro del Parque Nacional Alejandro de Humboldt el cual pertenece al macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa. Siendo este poblado una de las prioridades de los investigadores de la temática en la zona, ya que constituye una de las reservas de agua superficial más importante ubicada dentro de dicho parque, la cual conlleva consigo a que los pobladores de la Melba tengan cierto nivel de desconocimiento sobre la calidad del agua requerida para el consumo humano.

Con el presente trabajo se planea hacer un estudio de las aguas superficiales en el poblado de la Melba, determinar el comportamiento de los parámetros físicos-químicos y evaluar el Índice de Calidad del Agua (ICA\_ *sp*) con el propósito de conocer sus características y tomar medidas de mitigación, sobre la base del conocimiento de la calidad de las posibles fuentes de agua para consumo humano



### **Fundamentación científica de la investigación.**

La situación problemática está dada en el insuficiente conocimiento de la calidad de las aguas que utilizan los pobladores del sector La Melba para consumo humano y la necesidad de conocer la calidad de otras fuentes superficiales.

**El problema** de la investigación es el desconocimiento de la calidad de las aguas superficiales en el sector La Melba, las utilizadas para el consumo de los pobladores y otras fuentes superficiales de interés.

**El objeto de estudio** de la investigación son las aguas superficiales utilizadas para el consumo humano en el sector La Melba, teniendo como **campo de acción** la composición físico-química de las mismas.

**Objetivo general:** evaluar la calidad del agua del sector La Melba, mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA<sub>sp</sub>) teniendo en cuenta su composición físico-química.

### **Objetivos específicos**

- Caracterización geo ambiental de la zona.
- Monitoreo y análisis físico- químico de la calidad de las aguas superficiales en el sector la Melba.
- Determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA-sp) a las muestras seleccionadas.

**La Hipótesis es,** si se conocen las propiedades físico-químicas de las aguas en el sector La Melba, es posible determinar la calidad de las aguas de consumo humano que es abastecida el área de estudio, y evaluar su estado de contaminación y su clasificación mediante el Índice de Calidad de Agua Superficial (ICA<sub>sp</sub>) y los tratamientos para su posible utilización como agua de consumo humano.



## **Métodos utilizados para la realización de la investigación:**

### **Métodos teóricos**

- Histórico - Lógico: se utilizó para investigar los antecedentes existentes sobre el tema de investigación a nivel mundial, en Cuba y en la región oriental, específicamente en el parque Alejandro de Humboldt.
- Análisis y Síntesis: permitió analizar todo lo referido al agua y sus características y propiedades, además sintetizar los aspectos relacionados al cálculo de índice de calidad de agua.
- Inductivo - Deductivo: permitió realizar el análisis, categorización y síntesis de información obtenida de la revisión bibliográfica, así como las particularidades de la problemática objeto de estudio, sus fundamentos teóricos generales, posibilitando arribar a conclusiones sobre sus características.
- Método Sistémico: se empleó en la evaluación de las diferentes fuentes de abastecimiento del sector La Melba y el comportamiento de todas las propiedades del agua tanto física como química.

### **Métodos empíricos**

- Método de estudio de la documentación existente: permitió hacer una búsqueda detallada sobre estudios realizados relacionados la problemática abordada.

### **Métodos cartográficos**

- Se utilizaron diferentes herramientas de Sistemas de Información Geográfica en la representación cartográfica del sector La Melba y la delimitación de sus ríos y manantiales más importantes.

### **Metodología de trabajo**

El trabajo se dividió en tres etapas fundamentales las cuales fueron:

1. Revisión y análisis de la información geológica e hidrogeológica existente.
2. Ejecución del levantamiento hidrogeológico del área de estudio.
3. Trabajo de gabinete.

## **Marco teórico conceptual**

Por el gran interés patrimonial, cultural y conservacionista que presenta la región, esta ha sido objeto de estudio por encontrarse enclavada dentro del parque nacional Alejandro de Humboldt. La mayoría de los trabajos realizados en la zona están referidos a cuestiones generales de la geología general, al riesgo y otros estudios ambientales.

A partir de la necesidad de conocer las condiciones de vida de las personas que viven en el área, se vienen desarrollando diversos estudios hidrogeológicos los cuales han ido cobrando mayor importancia en la actualidad.

La evaluación de la calidad del agua es el proceso de valoración total de la naturaleza física, química y biológica del agua en relación a la calidad natural, a los efectos humanos y a los usos intencionales particularmente usos que puedan afectar la salud humana, y a los sistemas acuáticos (Chapman, 1996). Esta incluye el monitoreo que define la condición del agua, provee las bases para detectar tendencias y suministra información disponible para establecer las relaciones causa-efecto. La importancia radica en la interpretación y reporte de los resultados del monitoreo y que sirvan de base para realizar recomendaciones para acciones futuras. Así el manejo requiere inevitablemente del muestreo y de la evaluación, es decir es una cadena de retroalimentación (Chapman, 1996).

Sancha, 2002, realizó un trabajo titulado 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 el que se evaluó el riesgo potencial de contaminación de las aguas subterráneas del sistema acuífero de esta ciudad.

Cardona, 2003 realizó un trabajo titulado calidad y riesgo de contaminación de las aguas superficiales en la microcuenca del río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. Se analizó la calidad y riesgo de la contaminación del agua en la zona de estudio. Los resultados indican que en la microcuenca, no ocurre un deterioro significativo de la calidad del agua, aunque, el uso actual del suelo posee una participación notable en la misma. En general, el 12% de la cuenca presenta alta

vulnerabilidad de deterioro, constituyente de amenaza de contaminación del agua. Se evidencia un proceso gradual de deterioro de la calidad del agua, acorde a las actividades antrópicas realizadas, tal, que un marginamiento social en el acceso a agua para consumo está ocurriendo y no por limitaciones en la cantidad, sino por alteración de la calidad del agua.

Gramajo, 2004 realizó un trabajo titulado “Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos en la zona 11, Mixco”, se determina la calidad del agua para consumo humano y uso industrial de cuatro pozos mecánicos ubicados en la zona 11 de Mixco, específicamente en las colonias Lo de Fuentes, Lo de Molina y Primero de Mayo. Todos los parámetros evaluados se encontraron dentro de los límites aceptados en la norma para agua potable, por lo que se concluyó que el agua de estos cuatro pozos es adecuada para consumo humano. En cuanto a la calidad del agua para uso industrial, se encontró que es adecuada para uso en la industria de alimentos en general, no así para las industrias de bebidas carbonatadas, destilerías y cervecerías, y calderas por no cumplir con los requerimientos para estas industrias.

Mejía, 2005, realizó una investigación sobre el análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras, con el objetivo de hacer un análisis socio ambiental de la calidad del agua para consumo humano, y determinar la percepción local del uso de tecnologías apropiadas para desinfección de agua. Se hicieron análisis de laboratorio de las principales fuentes de consumo humano mediante parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua. Los resultados mostraron que la oferta es mayor a la demanda, y la disponibilidad está en su límite máximo ya que el recurso no se está utilizando de manera sostenible.

En la tesis de Calla; Cabrera, 2008 titulada Calidad del agua en la cuenca del río Rímac, sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras, aborda los efectos que ha presentado la calidad del agua del río Rímac frente al desarrollo de la actividad minera en el distrito de San Mateo de Huanchor ubicado en la provincia de Huarochirí del departamento de Lima, Perú.

La investigación en la calidad del agua ha sido desarrollada en un tiempo de diez años, tomando como patrones de análisis a los iones metálicos; los cuales han tenido un análisis comparativo con las normativas legales ambientales tanto nacionales como internaciones tales como los Estándares de la Organización Mundial de la Salud, los Estándares de Canadá para Agua de Irrigación, la Ley General de Aguas y los Estándares Nacionales de Calidad del Agua (ECAS) para la Categoría III aprobados mediante Decreto Supremo N.º002-2008-MINAM, siendo estos últimos el referente legal ambiental decisivo para el análisis de la calidad del agua del año 2008, ya que constituyen los valores óptimos que aseguran la calidad de los recursos hídricos superficiales del país.

Del análisis se obtuvo que el cadmio, plomo, manganeso, arsénico y hierro eran los elementos que tenían que recibir un tratamiento correctivo, ya que sus concentraciones en las aguas del Rímac eran mayores a lo establecido en los estándares de calidad de agua.

E. L. Díaz, E. C. Romero, N. G. Boschetti y O. C, 2009, realizaron un artículo llamado Vulnerabilidad del agua subterránea en la cuenca del Arroyo Feliciano. Los resultados de la aplicación de ambas metodologías 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, mientras que en el resto de la cuenca, el efecto de protección que ejerce el espesor de los limos y arcillas de la Formación Hernandarias, disminuye el grado de vulnerabilidad de los acuíferos.

Torres, 2009, efectuó una evaluación del índice calidad del agua en varias cuencas de Puerto Rico donde pudo visualizar la variación de la calidad del agua a través de las cuencas en Puerto Rico. Se espera que este ICA-sp desarrollado se pueda utilizar en el futuro como herramienta para informar al público la calidad de las agua en los ríos de Puerto Rico y para establecer prácticas de manejo adecuadas en las diferentes cuencas de la Isla.

Padilla; García y Pérez, 2010 publicaron un artículo titulado Caracterización físico-química y bacteriológica, en dos épocas del año, de la subcuenca del río Quiscab, Guatemala. Donde se proponer un estudio de la subcuenca del río Quiscab,

considerada como su mayor tributaria, que inició por la caracterización físico-química y bacteriológica de las aguas en dos épocas del año. Para ello fueron tomadas muestras de agua en diferentes puntos de la subcuenca, previamente seleccionados a partir de la existencia de fuentes contaminantes de diversos orígenes, a las que se les realizaron los análisis correspondientes, cuyos resultados se compararon con los establecidos por las normas guatemaltecas para estimar la calidad del agua superficial. La caracterización físico-química y bacteriológica de la subcuenca, en las épocas de lluvia y seca, permitió determinar el posible uso del agua en los dos momentos evaluados.

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

Chiliquinga, Donoso, 2012, realizaron una investigación en la cual caracterizaron la calidad del agua de la microcuenca del río Pachanlica de la provincia de Tungurahua en Ecuador, tomando como base la metodología ICA-sp de Montoya el cual contempla el análisis de 18 parámetros entre físico- químico y bacteriológico. La cual tuvo como resultado que el río muestra contaminación con un valor promedio de ICA 40,71 %.

Sucoshañay, Gutiérrez, García, Ledesma, Mira, 2015, en su trabajo Evaluación de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca del río Puyo de la amazonia ecuatoriana a partir de un índice integrador (ICA-sp), seleccionaron catorce puntos de monitoreo, divididos en la corriente principal y principales tributarios, en los cuales fueron determinados cinco parámetros de calidad de agua: pH, Conductividad eléctrica, Oxígeno Disuelto y Coliformes fecales, y aplicando el ICA-sp. Los resultados muestran que ocho puntos monitoreados se clasifican medianamente contaminados y dos contaminados, de los cuales uno de ellos es un balneario turístico importante en el territorio y localizado en un tributario principal.

Rodríguez Pacheco; Roberto L y Candela, 1985, realizaron un trabajo sobre la contaminación de las aguas subterráneas en el territorio de Moa, donde se expone

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

Fernández, 2003, realizó un trabajo titulado Evaluación actual de la calidad de las aguas del río Aserrío. Como objetivo del trabajo se realiza un reconocimiento hidrogeológico del área de estudio, para determinar y estudiar las principales fuentes de contaminación que llegan al río, muestreo y evaluación físico-química de diferentes parámetros analíticos en las aguas, se proponen medidas correctoras para minimizar la contaminación. Se realizó trabajo comunitario con los pobladores de la zona, estudiantes, jefes de zona, delegados de circunscripción, se realizaron encuestas, logrando un mayor conocimiento sobre la temática del agua como un importante recurso que se debe proteger. etc. Para clasificar las aguas según diferentes autores y pronosticar el grado de contaminación se han utilizado las Normas Cubanas e Internacionales y el Estándar Método Internacional. Al final se toman conclusiones y recomendaciones de interés.

Ricardo, 2006; Llorente, 2009, Castillo, 2016, realizaron estudios de los principales contaminantes que son vertidos a las aguas del río Aserrío realizando una caracterización físico- química de las mismas, una caracterización de la calidad del agua y la evaluación del impacto ambiental.

Miravet Sánchez, García Rivero y López Del Castillo, 2016, realizaron un estudio sobre la calidad de las aguas del río Ariguanabo según índices físico-químicos y bioindicadores donde el índice de calidad de las aguas superficiales y está basado en la tolerancia de los macroinvertebrados arrojando resultados muy similares caracterizando las aguas desde contaminadas hasta muy contaminadas para todos los puntos de muestreo del río Ariguanabo. Se destacan las bajas concentraciones de oxígeno disuelto provocadas por un alto nivel de estancamiento de la corriente, crecimiento desmedido de la vegetación acuática y una menor actividad fotosintética producto del alto grado de cubrimiento del bosque de galería. Aparecen valores de



DQO y coliformes fecales fuera de norma, debido a la gran cantidad de aportes de aguas residuales, con altas concentraciones de materia orgánica de origen doméstico y porcino. En la fauna macroinvertebrada existe un predominio de familias con alta tolerancia a la contaminación fundamentalmente del orden Molusca.

La situación problemática actual conlleva consigo a que los pobladores de la Melba tengan cierto nivel de desconocimiento sobre la calidad del agua requerida para el consumo humano, con el presente trabajo se planea hacer un estudio de las propiedades físico-químicas del agua en dicho poblado y crear conciencia sobre el cuidado de tan precioso líquido y tomar medidas sobre la base de aumentar la calidad del agua para su consumo y evaluar otras posibles fuentes de abasto.

## CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.

### 1.1. Introducción:

El presente capítulo tiene como objetivo destacar las características físico – geográficas y geológicas del área o zona de estudio a partir de los diferentes factores que determinan su localización. Este caso de estudio se refiere al poblado de La Melba el cual forma una parte emblemática del parque natural Alejandro de Humboldt.

### 1.2. Caracterización del área de estudio.

#### 1.2.1. Ubicación

La Melba se encuentra ubicada al sureste del poblado de Moa, Holguín; y al norte de la localidad de Bernardo, municipio de Yateras, Guantánamo. Su extensión es de 18590 ha, distribuidas entre los municipios Moa y Yateras. Se divide en cuatro subsectores: El Toldo, 2900 ha; Piloto, 3685 ha; Arroyo Bueno, 5730 ha y El Zapote 6275 ha. (Ver figura 1.1)

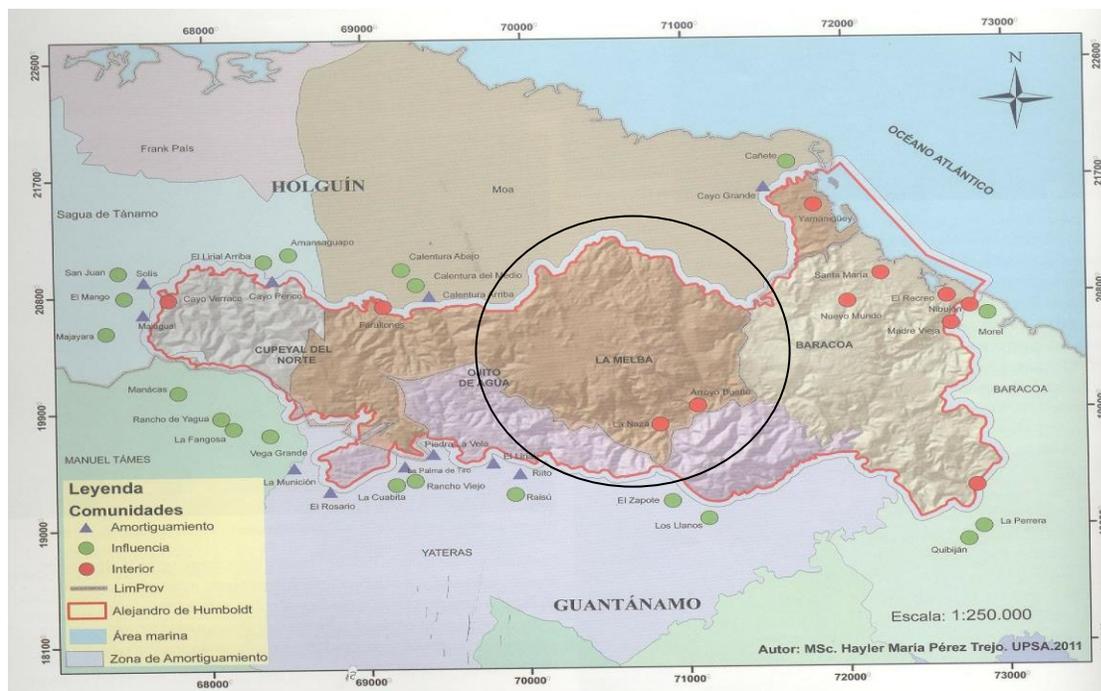


Figura 1.1: Mapa de ubicación geográfica. (Hayler Pérez Trejo, 2011)

### **1.2.2. Clima**

El clima es de tipo tropical con abundantes precipitaciones, es una de las áreas de mayor pluviometría del país. Estando estrechamente relacionadas con el relieve montañoso de esta región y la dirección de los vientos alisios provenientes de Océano Atlántico cargado de humedad.

Según los datos aportados por la estación hidrometeorológica. El Sitio y los datos tomados del pluviómetro Vista Alegre, la temperatura media anual oscila entre 22.6 °C – 30.5°C, siendo los meses más calurosos los de julio a septiembre y los más fríos enero y febrero. La diferencia en temperatura entre los meses más fríos (enero y febrero) y los más cálidos (julio y agosto) oscilan entre 4° y 5°C.

El promedio de precipitaciones anuales entre 1700 hasta más de 3800 mm al año, siendo los meses más lluviosos noviembre y diciembre y los más secos marzo, julio y agosto; la evaporación media anual entre 1880 – 7134 mm. (Galán 2011).

Los vientos que más soplan en esta área son provenientes del nordeste con velocidades de entre 11 y 20 km/h, e incluso entre 21 y 30 km/h en las elevaciones más altas.

### **1.2.3. Relieve**

La región en estudio se encuentra enclavada en el grupo orográfico Sagua-Baracoa lo cual hace que el relieve predominantemente sea agreste y muy montañoso formado por cuchillas y elevaciones abruptas, destacando el pico Toldo con 1175 msnm, sitio más elevado del parque. El terreno esta bruscamente accidentado, sobre todo en las laderas escarpadas de los valles fluviales y en los taludes.

Existen colinas bajas y altas, alturas tectónico-erosivas. Sobre estos tipos de relieves se han desarrollado un gran número de formas, incluyendo entre ellas el pseudo-carso sobre rocas ultrabásicas.

En general, el relieve del terreno y la situación orográfica de la región crean reservas de energía potencial, que condiciona el desarrollo de los fenómenos de deslizamientos. (Ver figura1.2)

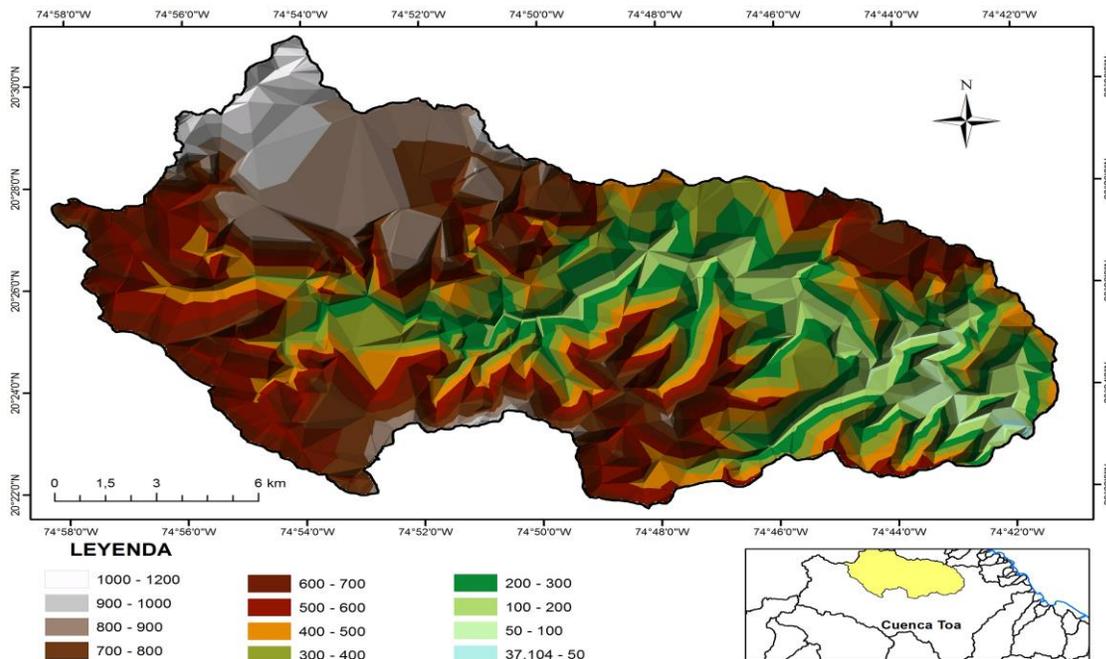


Figura 1.2. Mapa de relieve.

#### 1.2.4. Hidrografía

Lo más notable de su hidrografía es la subcuenca de mayor importancia del río Toa, la del Jaguaní, que atraviesa el territorio también son importantes los nacimientos de los ríos: Piloto, Cayo Guam, Quesigua y la caudalosa cuenca del río Jiguaní; además aparece una red de cursos de agua que supera por la complejidad de su topografía la media de los demás sectores. Se destacan: Morones, Jaragua, Arroyo Bueno, El Peñón, Boca Seca, La Vaca, Limones, El Sucio y Los Lirios. Todos son de carácter permanente y con medianos caudales de agua. (Ver figura 1.3)

La cuenca está enclavada dentro de la reserva de la biosfera Cuchillas del Toa, la que le da el nombre por la disección vertical de su relieve. Constituye una de las regiones más importante del país y el Caribe insular, por la variedad de paisajes, unicidad de los ecosistemas, gran diversidad biológica y elevado endemismo tanto en la flora como en la fauna.



### 1.2.5. Vegetación

Está representada por siete formaciones. Por su extensión y representatividad se destacan las pluvisilvas de baja altitud (de 0 a 400 msnm), las pluvisilvas submontanas (de 400 a 800 msnm), los pinares y las pluvisilvas montanas (más de 900 msnm), los bosques siempre verdes mesófilos y el matorral xeromorfo subespinoso sobre la serpentina (charrascal). (Ver figura 1.4)

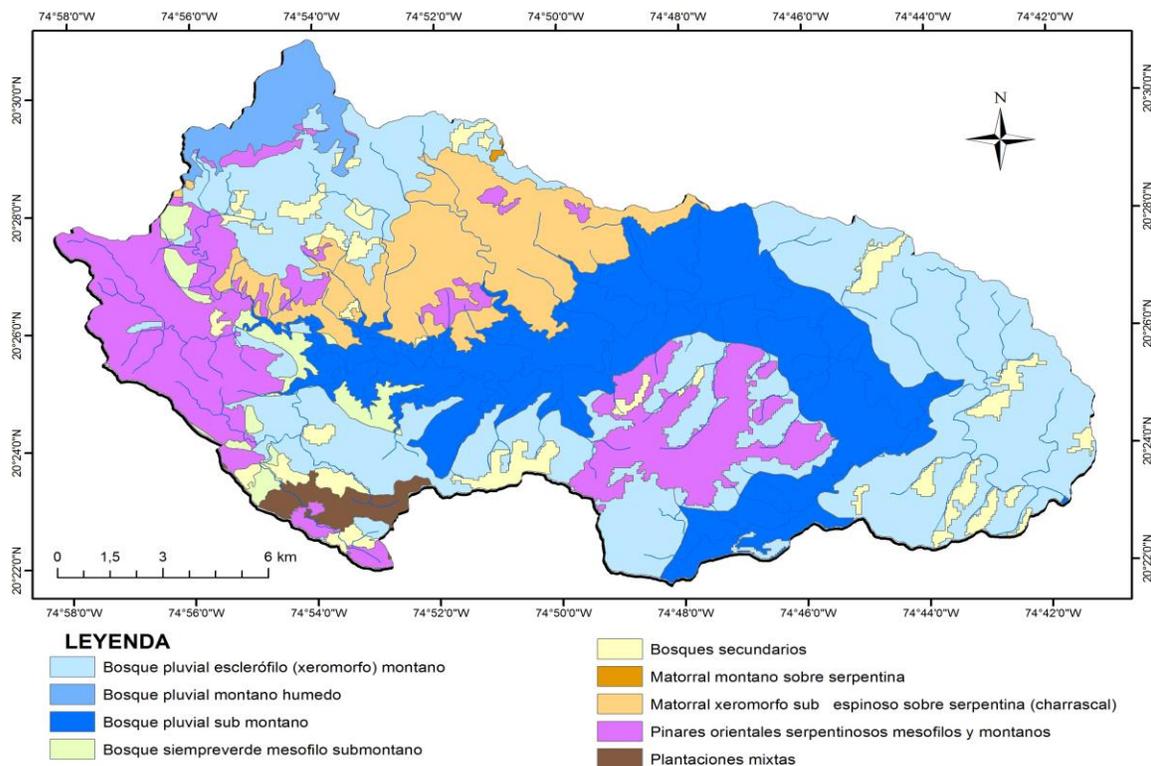


Figura 1.4. Mapa de vegetación.

### 1.2.6. Flora y Fauna

La flora es diversa y presenta altos niveles de endemismo. Hay especies amenazadas de extinción que mantienen poblaciones estables y con bajo manejo como es la dracena (*dracaena cubensis*) considerada fósil viviente, al mismo tiempo es refugio de una de las más grandes poblaciones de pinguícula lignícula, planta insectívora epifítica, endémica del parque Alejandro de Humboldt y zonas adyacentes. Es este lugar el de mayor abundancia de najesí (*carapa guianensis*) con buen estado de salud por vegetar en suelo de marcada vocación. Esta es una

especie forestal de amplio uso familia del cedro, aunque su madera no es superior a este. También encontramos la bourrería moensis, planta endémica de la zona.

La fauna es abundante con valores altos de endemismo y diversidad. .entre los taxones se destacan las aves con más de 75 especies. Las hay residentes permanentes y migratorias esencialmente nearticas. Existen representantes muy valiosos de la fauna de los invertebrados como las especies de moluscos, *polimyta picta*, *xenomopa hexedersoni*, *caracolus sagemon* y *coreda purpuragula*. Según los especialistas en el área no existen menos de 50 especies de este grupo, algunas de ellas no descritas. Otras especies importantes son los escorpiones *Centuroides anchorellus* y *Rhopalurus junceus*, ambos de importancia conservacionista y biomédica. El número de insectos y de otros grupos de invertebrados son tan elevados que no es posible hacer estimados preliminares. También encontramos el Gavilán Caguarero (*chondrohurax wilsoni*) especie endémica cuyas poblaciones se han reducido tanto que quizás queden unas pocas parejas. El Almiquí (*solenodon cubensis*) es considerado fósil viviente y es una especie amenazada. Se destaca el Anolis Toldo endémico de El Toldo, la ranita de iberia (*Eleutherodactylus iberia*), Biajaca del Guaso o Joturo (*nandopis ramsdenis*).

### 1.2.7. Población

Existen cuatro comunidades humanas: dos en el interior – las más céntricas e inhóspitas de todo el parque- y dos en la zona de amortiguamiento. Tiene un total de 101 viviendas con 382 habitantes y una densidad poblacional de dos habitantes por kilómetro cuadrado, sin incluir comunidades muy dispersas – la del Zapote y la de los Llanos que suman entre ellas 9 familias.

### 1.2.8. Economía de la zona de estudio

Por sus genuinas bellezas naturales y su gente y por su posición en el corazón de la selva del parque Humboldt, La Melba constituye un punto de gran atractivo para el turismo de naturaleza pero no posee licencia ambiental y aprobación legal por las autoridades competentes.



Tiene un área de autoconsumo de 2 ha, con cultivos de malanga, ñame, boniato y yuca, en el caso de los frutales se desarrolla bien la piña debido al clima y a los tipos de suelos que la componen. Es fuerte en el desarrollo forestal.

### **1.3. Procesos Geodinámicos y Antrópicos.**

#### **1.3.1. Geología**

El área de estudio se caracteriza desde el punto de vista geológico por el complejo ofiolítico, que se extiende como un cinturón que aflora en la parte norte del país. En el área las ofiolitas están representadas por serpentinitas del tipo harzburgitas y peridotitas serpentinizadas en diferente grado, además de cuerpos de gabro de diferentes tamaños, las que se cubren por espesores variables de suelos residuales a los que comúnmente se les denominan lateritas.

La faja ofiolítica constituye un cuerpo alóctono tabular con una longitud de 170 Km., geomorfológicamente dividido en diferentes partes por el valle del río Sagua de Tánamo y las montañas del Purial. Posee un espesor que en ocasiones sobrepasa los 1000 m, (Iturralde Vinent 1996).

#### **Complejo Ofiolítico Moa-Baracoa**

Este macizo de rocas de afinidad ofiolítica, se ubica en el extremo oriental de la faja Mayarí-Baracoa, ocupando una área aproximada de 1500 km<sup>2</sup> (Proenza, 1999).

En el macizo Moa-Baracoa se pueden reconocer los niveles mantélicos, niveles de gabros bandeados inferiores y niveles volcánicos discordantes. Sin embargo, los niveles de gabros isotrópicos superiores y de diques de diabasas de una secuencia ofiolítica ideal no afloran. Las diabasas descritas en la región aparecen principalmente en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo (Torres M, 1987).

La secuencia mantélicos tiene un espesor de “paleo manto” superior a 22 Km. y los niveles de gabros bandeados de aproximadamente 300 m (Proenza, 2003).Bajo las ofiolitas de la región de estudio subyacen, a través de una falla sub horizontal, rocas vulcano-sedimentarias del arco de islas Cretácico. Aunque en otras regiones los cuerpos ofiolíticos aparecen cubiertos por materiales vulcano-sedimentarios pertenecientes al arco de islas del Paleógeno (Fm. Sabaneta) y por secuencias terrígenas-carbonatadas más jóvenes (Quintas 1989; Iturralde-Vinent 1996). Los principales afloramientos de la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa están representados por los macizos Mayarí-Cristal y Moa-Baracoa (Proenza, 1999).

### **1.3.2. Sismicidad**

La zona de estudio se encuentra localizada al Noreste de la Provincia Holguín y Norte y Noreste de la Provincia Guantánamo, en lo que podría llamarse una zona de transición entre el límite sur de la placa Norteamericana y los territorios de Cuba pertenecientes al interior de la misma. Esto conlleva a que se presente una sismicidad moderada (Cotilla et al., inédito), debido a la influencia de la principal zona sismo generadora de Cuba (falla Bartlett - Caimán). Según la NC: 46/1999 sobre las construcciones sismorresistentes Arroyo Bueno está ubicado entre los límites de las zonas sísmicas 1B y 2A y La Naza en la zona 2A.

### **1.3.3. Geomorfología**

La integración entre los diferentes componentes naturales existentes ha condicionado el desarrollo de una gran variedad de los paisajes terrestres donde se destacan:

**Valles fluvio – acumulativos encajados aterrizados**, sobre serpentinitas, gabros, tobas, lavas, calizas pizarrosas, aglomerados y margas, suelos esquelético natural, ferrítico púrpura, fersialítico rojo parduzco ferromagnésico, pardos con y sin carbonato, pendientes de (8 a 45%) de inclinación y vegetación de matorral xeromorfo subespinoso, pinar, cultural y secundaria. Estos valles ocupan el 0.65% del área total de los paisajes terrestres del Parque.



**Cañones fluviales erosivo denudativos encajados**, sobre serpentinita, tobas, lavas, calizas pizarrosas, aglomerados y esquistos, suelos ferrítico púrpura, fersialítico rojo, esquelético natural y pardo sin carbonato, pendientes de (30 a 60%) de inclinación y vegetación de pinar, matorral xeromorfo subespinoso (charrascal) y pluvial. Ocupan el 7.75% de los paisajes terrestres del Parque.

**Pendientes de enlaces tectónico – erosivas**, sobre serpentinita, tobas, lavas, calizas pizarrosas y aglomerados, suelos ferríticos púrpura, fersialíticos rojo parduzco ferromagnésico, esquelético natural, pardo sin carbonato y fersialítico rojo, pendientes de 8 a 60% de inclinación y vegetación de matorral xeromorfo subespinoso (charrascal), pinar, pluvial, siempre verde y cultural. Ocupan el 7.74% de los paisajes terrestres del Parque

**Altiplanos tectónico erosivos bajos**, sobre serpentinita, suelo ferrítico púrpura, de fuertemente inclinado a escarpado (16 a 60%) y vegetación de bosque pluvial submontano esclerófilo, matorral xeromorfo espinoso (charrascal) y pinares. Representan el 0.64% de los paisajes terrestres del área de estudio.

**Altiplanos tectónico erosivos altos**, sobre serpentinita, tobas, lavas, calizas pizarrosas y aglomerados, suelos ferrítico púrpura, fersialítico rojo parduzco ferromagnésico, pardo sin carbonato, fersialítico rojo y pardo con carbonato, pendientes de 8 a 45% de inclinación y vegetación de matorral xeromorfo subespinoso, pluvial, pinares y cultural. Ocupan el 7.83% de los paisajes terrestres del Parque.

**Picos tectónico erosivos**, sobre serpentinita y calizas, suelos esquelético natural, ferrítico púrpura y pardo con carbonato, pendientes de 16 a 45% de inclinación, vegetación de matorral xeromorfo subespinoso, pinares y siempre verde. Ocupan el 0.16 % de los paisajes terrestres del área total del Parque.

#### **1.3.4. Estratigrafía**

Las formaciones presentes en el área de estudio se muestran en la figura 1.5.

**Formación Farola (far):** esquistos verdes, cloríticos y sericíticos, tobas de composición intermedia, intercalaciones de grafito, lentes de mármol verde grisáceo a gris blancuzco.

**Formación Miranda (mir):** tobas acidas, areniscas, raramente esquistos y tobas calcáreas. Edad Cretácico - Terciario

**Formación Téneme (tm):** tobas 50 % de la formación, lavas, conglomerados en cantidades subordinadas, pequeños cuerpos porfídicos de dioritas, andesita y diabasa, caliza en horizontes poco potentes, calizas pizarrosas finamente estratificadas de color gris a color parduzco achocolatado por el intemperismo y gris castaño. Edad Cretácico Superior.

**Formación Gran Tierra(gt):** calizas brechosas, abundancia de conglomerados, brechas de cemento calcáreo, margas, clastos de rocas efusivas, gabros y areniscas, macizo homogéneo sin agrietamiento abrupto y su zona de alteración no sobrepasa los 3 m. Edad Paleoceno inferior

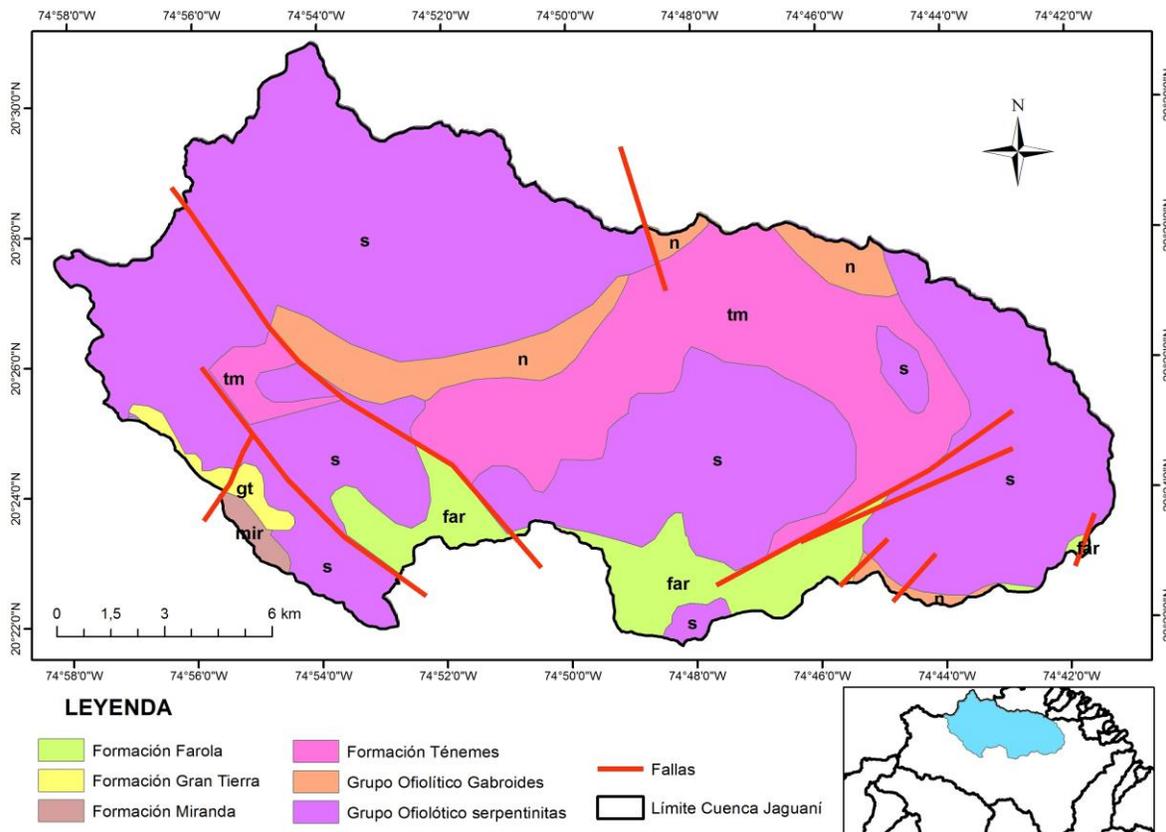


Figura 1.5: Mapa estratigráfico del sector la Melba

### 1.3.5 Meteorización

Es el fenómeno físico-geológico vinculado con la formación de potentes cortezas lateríticas sobre rocas ultrabásicas y básicas. Las condiciones climáticas, geomorfológicas, tectónicas y características mineralógicas de las rocas existentes favorecieron los procesos de meteorización química del medio. Ha dado lugar a una corteza de intemperismo compuesta por suelos lateríticos muy ricos en óxidos de Hierro y Aluminio, con espesores variables.

### 1.3.6 Erosión

Se debe a la acción de corrientes temporales, dando lugar a la formación de surcos y grandes cárcavas en los suelos ocasionadas por escurrimiento de las precipitaciones atmosféricas.



Figura 1.1 Procesos de erosión de los suelos.

## CAPÍTULO II: VOLUMEN Y METODOLOGÍA DE LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS.

### 2.1 Introducción

En este capítulo se hace referencia a la metodología empleada para el estudio hidrogeológico de la región de trabajo y dar cumplimiento a los objetivos que en el mismo se expresan para lograr que se realice con la calidad requerida la caracterización físico – química de las aguas en el poblado de la Melba.

La Metodología de trabajo desarrollada durante esta tesis se puede resumir gráficamente como se muestra en la Fig. 2.1.

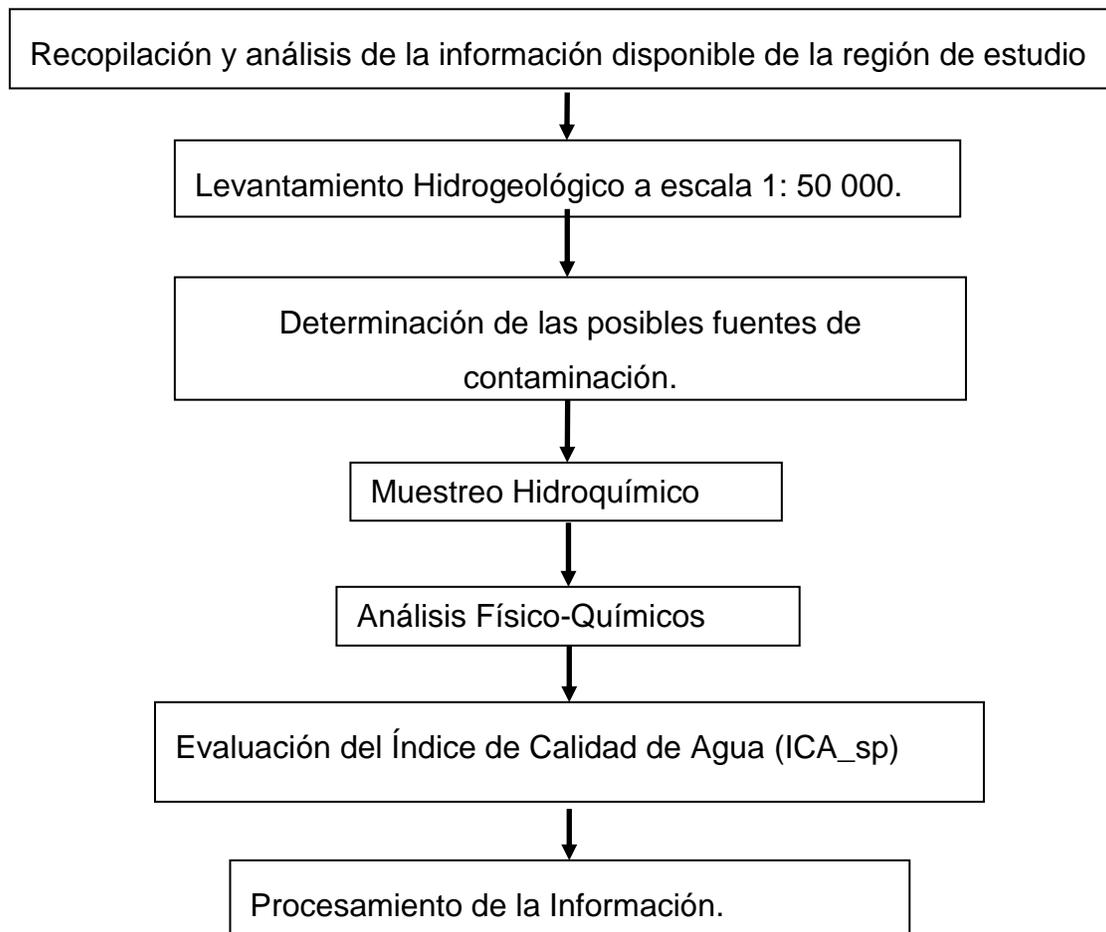


Figura 2.1 Diagrama de flujo con la metodología de trabajo.

## **2.2 Recopilación y análisis de la información disponible a cerca de la región de estudio y áreas adyacentes.**

Con el objetivo de obtener la mayor cantidad de información posible sobre estudios realizados en el área se consultó un número significativo de trabajos geológicos, hidrogeológicos y medio ambientales desarrollados en los últimos años. Además se consultó bibliografía actualizada sobre metodología utilizada en Cuba y en el mundo sobre contaminación de aguas subterráneas y superficiales, lo que permitió de forma más acertada conocer las vías más idóneas para la realización de la investigación.

## **2.3 Levantamiento hidrogeológico a escala 1: 50 000.**

Fue previsto que el mismo se realizara en una sola marcha ruta en los 15 puntos que consideraron como más importantes dentro del área de estudio tomando una muestra por cada punto para un total de 15, en los trabajos de campo ejecutados fue posible describir con gran detalle la geología del área, el grado de alteración y erosión intensa a que están sometido ciertos sectores del área de estudio, se hace una descripción de la vegetación presente en dicho área, se destacó la afectación de los diferentes focos contaminantes, fundamentalmente lo relacionado con la antigua actividad minera, junto a las precipitaciones, arrastran materiales que son incorporados a lo diferentes ríos y arroyos muestreados.

### **2.3.1. Puntos de muestreo**

Uno de los problemas más importantes de la metodología de obtención de muestras es la garantía de su representatividad.

Al obtener una muestra de agua, deben observarse las condiciones de limpieza química de los recipientes, conservación del contenido de sales del agua y elementos pesados además el volumen suficiente de éstas.

En el estudio se tomó una muestra de agua por cada punto de los que consideraron como más importantes por su cercanía con el poblado de La Melba, además de

algunos manantiales de posible interés económico para el país. (Ver Fig.2.2. Ubicación de los puntos de muestreo).

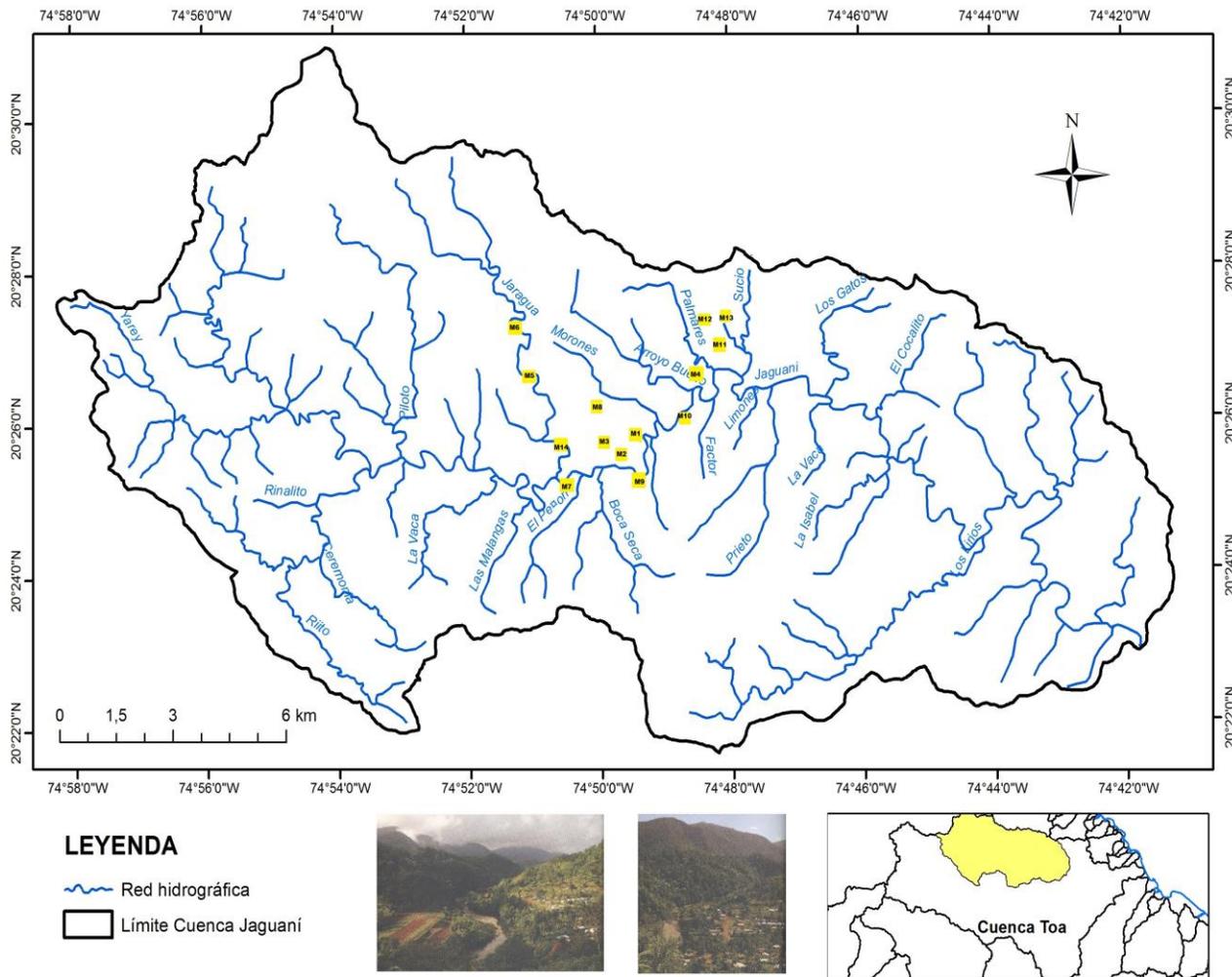


Figura.2.2. Ubicación de los puntos de muestreo. Escala 1:50000

### 2.3.2. Descripción de los puntos de muestreo.

Como se señala anteriormente para la valoración de la calidad de los recursos hídricos se realizó un muestreo hidroquímico en las aguas superficiales en el poblado de La Melba. Se tomaron en total 15 muestras de agua de consumo de los pobladores y muestras de cursos de agua superficial. A continuación se hace una descripción de los diferentes puntos de muestreo.

Tabla 2.1 Ubicación de los puntos de muestreo

No	Muestra	Comentario
1	Presa Beto	Agua de abastecimiento para el consumo humano.
2	Presa Ulises	Agua de abastecimiento para el consumo humano
3	Presa Pedro	Agua de abastecimiento para el consumo humano
4	Presa Isaías	Agua de abastecimiento para el consumo humano
5	Rio Jaragua 1	Cercanía al poblado
6	Rio Jaragua 2	Cercanía al poblado
7	Rio Jaguaní	Cercanía al poblado
8	Rio Quesigua	Cercanía al poblado
9	Manantial Puente de Jaragua	Interés económico
10	Rio Jiguaní 1	Cercanía al poblado
11	Rio Jiguaní 2	Cercanía al poblado
12	Manantial El Alujado	Interés económico
13	Manantial La Comadre	Interés económico
14	Manantial El Compadre	Interés económico
15	Presa Mini Hidroeléctrica	Agua de abastecimiento para el consumo humano

## 2.4. Muestreo hidroquímico y análisis químicos.

### 2.4.1 Análisis en el laboratorio

Para la realización de los análisis en el laboratorio se tuvo en cuenta el estudio de las siguientes propiedades y elementos presentes en las muestras tomadas, los cuales se realizaron en el CEDINIQ.

**Propiedades químicas:** Se determinaron los contenidos de materia orgánica existente en las aguas de dicho poblado (As así como  $\text{Cr}^{6+}$ , Fe,  $\text{Al}^{3+}$ , Ni,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ )

Las técnicas de laboratorio se ejecutaron según el “Standard Method for the Examination of Water and Wastewater”, 21<sup>th</sup> Edition, APHA. AWWMA. WEF. 2005.

Para la realización de este conjunto de análisis se emplearon equipos instrumentales con una alta precisión en los resultados, los mismos se mencionan a continuación:

Los principales métodos utilizados fueron: colorimétrico, y el espectrofotómetro ultravioleta visible Helios  $\lambda$  UNICAM, el método de valoración volumétrica, se hicieron mediciones in situ con una sonda multiparamétrica. Esta sonda es capaz de medir parámetros de calidad del agua (temperatura, conductividad eléctrica (CE), salinidad, sólidos totales disueltos (STD) y pH).

Para la determinación de los metales se utilizó el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica, el cual es un método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales (aparato 3111B, APHA-AWWMA-WEF).

#### **2.4.2. 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  $45^\circ$ , 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. Los siguientes procedimientos resumen los principales aspectos del control y vigilancia de las muestras:

**Etiquetas:** para prevenir confusiones en la identificación de las muestras, pegar el frasco de muestra antes de o en el momento del muestreo, papel engomado o etiquetas adhesivas en las que se anote, con tinta a prueba de agua, por lo menos la siguiente información: número de muestra, fecha, hora y lugar de recolección, y preservación realizada.

**Libreta de Campo:** registrar toda la información pertinente a observaciones de campo o del muestreo, localización del punto de muestreo con referencias tales como mapas, fotografías del sitio de muestreo, etc.

**Muestreo:** es importante tener en cuenta que el resultado de un análisis depende de la forma y el lugar de donde se toma la muestra, por lo que para garantizar la confiabilidad e imparcialidad de los mismos, es necesario e importante observar las condiciones de limpieza química de los recipientes.

**Entrega de la muestra en el laboratorio:** las muestras se deben entregar al laboratorio lo más pronto que sea posible después del muestreo

## **2.5. Procesamiento y análisis de la información.**

A partir de los resultados obtenidos en el laboratorio se procesó la información mediante metodologías existentes al efecto que permitieron la clasificación de las aguas según diferentes autores; así como el empleo de diferentes softwares que permitieron cumplir el objetivo, por ejemplo: El Microsoft Word, se utilizó para la confección y configuración del informe de la investigación. El Surfer 12 y ArcView 3.2 que son los encargados de todo lo que corresponde a generación de mapas, complejos acuíferos, ubicación geográfica, entre otros. Se empleo el Microsoft Excel en la realización de las tablas que definen las características específicas de cada muestra.

Se expresaron los resultados de los análisis físico-químicos obtenidos en el laboratorio en mg/l y mg-eq/l. La interpretación de los análisis físico-químicos se puede simplificar con el manejo de gráficas, diagramas y diferentes clasificaciones, principalmente cuando se realizan comparaciones entre varias muestras analizadas.

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

En la presente investigación se evalúan los 15 puntos muestreados basándose en los resultados de los análisis físico-químicos, se determina que las aguas del poblado La Melba se encuentran contaminadas por los diferentes tipos de contaminantes. Los resultados están reflejados en los anexos (tablas 1 y 2). Para esto se tomaron como base las NC 25/1999 (Evaluación de los objetos hídricos de Uso pesquero. Especificaciones) y la NC 827/2012 (Agua potable. Requisitos sanitarios). La primera establece los valores de los índices que se utilizarán para clasificar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua dulce, la segunda los requisitos sanitarios para agua potable.

### 2.6.1 Clasificación de las aguas según su mineralización.

Para determinar la clasificación de las aguas según su mineralización nos basamos en la clasificación de Aliokin, utilizando la fórmula que relaciona mediante una fracción la sumatoria de los aniones y los cationes, expresado en mg/L, dividida entre 1000 si deseamos trabajar en g/l. (Ver tabla 2.2)

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

Tabla 2.2. Clasificación de las aguas por su mineralización según Aliokin. (De Miguel. C. 2012)

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

### 2.6.2 Clasificación de las aguas por el pH.

La concentración de iones de hidrógeno (pH) en el agua se acostumbra a expresarla en forma logarítmica con signo negativo, el cual es representado por el símbolo pH, que nos determina el grado de acidez del agua.  $pH = -\log (H^-)$

Para la determinación de las aguas por su pH nos hemos basado en la clasificación de E. B. Pasovox. (Ver tabla 2.3)

Tabla 2.3. Clasificación de las aguas por su pH según E. B. Pasovox. (De Miguel. C. 2012)

Valor del pH	Denominación de las aguas
< 3	Muy ácida
3 – 5	Ácidas
5 - 6.5	Débilmente ácida
6,5 - 7,5	Neutras
7,5 - 8,5	Débilmente básicas
8,5 - 9,5	Básicas
> 9,5	Muy básicas

### 2.6.3. Dureza total.

Se denomina dureza del agua a la concentración de compuestos minerales de cationes polivalentes (principalmente divalentes y específicamente los alcalinotérreos) que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. Son éstas las causantes de la dureza del agua y el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de sales de esos metales alcalinotérreos.

$(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ , mg-equiv/l.

Tabla 2.3. Clasificación de las aguas por la dureza total según O.A.Aliokin. (De Miguel. C. 2012)

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

## 2.7 Metodología para la determinación del Índice de Calidad de Agua ICA<sub>sp</sub>.

Los índices de calidad del agua (ICA<sub>sp</sub>) surgen como una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico fundamental en procesos decisorios de políticas públicas y en el seguimiento de sus impactos. Se definen los (ICA<sub>sp</sub>) como una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que sirven como expresión de la calidad del agua; el índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color. (Chiliquinga y Donoso, 2012)

Estos traen aparejados a ellos una serie de ventajas y desventajas que se explican a continuación:

### **Ventajas**

- Permiten mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua.
- Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio.
- Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales.
- Permiten a los usuarios una fácil interpretación de los datos.
- Pueden identificar tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas.
- Permiten priorizar para evaluaciones de calidad del agua más detalladas.



- Mejoran la comunicación con el público y aumentan su conciencia sobre las condiciones de calidad del agua.
- Ayudan en la definición de prioridades con fines de gestión.

### **Desventajas**

- Proporcionan un resumen de los datos.
- No proporcionan información completa sobre la calidad del agua.
- No pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua.
- Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación.
- No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región a otra.
- Se basan en generalizaciones conceptuales que no son de aplicación universal.
- Algunos científicos y estadísticos tienden a rechazar y criticar su metodología, lo que afecta la credibilidad de los ÍCA como una herramienta para la gestión.

### **2.7.1 Índice de Calidad de Agua de Montoya ( ICAsp)**

Este índice fue utilizado como una herramienta de indicación en el estudio sobre las aguas superficiales en países como México, Colombia y Ecuador el cual que plantea como establecer una caracterización y un diagnóstico general sobre la situación ecológica y ambiental que guardan los diversos sistemas acuáticos en los que se ha empleado.

### **2.7.2 Metodología del Índice de Calidad de Montoya**

El grado de contaminación del agua es medido en términos del índice, definido como el grado de contaminación existente en el agua de la muestra, expresado como un



porcentaje de agua pura. Así, para el agua totalmente contaminada tendrá un índice de calidad cercano o igual a 0 y para aguas de excelentes condiciones de 100.

Por lo tanto el índice es un porcentaje promedio que causan diferentes niveles de cada uno de los variables en un cuerpo de agua. (Chiliquinga y Donoso, 2012)

El índice de calidad del agua está constituido por 18 variables clasificadas dentro de cuatro categorías:

- 1- Cantidad de materia orgánica: determinadas por el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno.
- 2- Materia bacteriológica presente: determinada por coliformes totales y coliformes fecales.
- 3- Características físicas: determinadas por el color y la Turbiedad.
- 4- Materia orgánica: es determinada por alcalinidad, dureza, cloruros, conductividad específica, concentración de iones hidrógeno (pH), grasas y aceites, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, nutrientes: nitratos, nitrógeno amoniacal, fosfatos y detergentes.

Se considera que estas variables son relativamente fáciles de coleccionar y analizar y por lo tanto de monitorear periódicamente. Este índice de calidad de agua tiene como características que el valor del grado de contaminación determina el uso a que puede destinarse el agua de la cuenca hidrológica en estudio. (Chiliquinga y Donoso, 2012)

Los usos del agua considerados para el cálculo del índice de Calidad del Agua son:

- a) Abastecimiento público
- b) Natación y otros deportes acuáticos en contacto directo con el cuerpo humano.
- c) Pesca, acuicultura y vida acuática
- d) Industrial y agrícola
- e) Navegación
- f) Transporte de desechos tratados o almacenamiento en caso de lagos

Debido a que ciertas pruebas son más representativas de la calidad de agua que otras, se asignan ciertos pesos específicos a las cuatro diferentes variables designadas, representadas por  $W$ , estos pesos específicos están de acuerdo con la naturaleza del cuerpo de agua en estudio como lago, bahía, río o manantial de tal manera que la fórmula que proporciona el índice de calidad es:

$$ICA_{sp} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i * W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Dónde:

$ICA_{sp}$  = Índice de Calidad de Agua,  $0 \leq I \leq 100$ .

$I_i$  = Función subíndice del Parámetro  $i$ ,  $0 \leq I \leq 100$ .

$W_i$  = Peso de importancia del parámetro (Factor de Ponderación)  $i$ ,  $0 \leq W_i \leq 5$ .

Las ecuaciones funcionales de los subíndices para cada una de las variables empleadas en el cálculo del índice se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.4: Metodología de Montoya.

Parámetro	Ecuación	Ponderación $W$
pH	$I = 10^{[4,22-0,293(x)]}$	1,0
Dureza	$I = 10^{x-[0,00174-238]}$	1,0
Turbidez	$I = 108(x)^{-0,178}$	0,5
STD	$I = 109,1 - 0,0175(x)$	0,5

Una vez determinado el ICAsp en cada uno de los sitios muestreados se procede a clasificarlos de acuerdo a la tabla siguiente, en cada intervalo denota la calidad que tiene el agua por sitio muestreado.

Tabla 2.5. Clasificación de las aguas según Montoya.

ICA	Criterio General
85 – 100	No Contaminada
70 – 84	Aceptable
50 – 69	Poco Contaminada
30 – 49	Contaminada
0 – 29	Altamente Contaminada

## **CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICO E INDICE DE CALIDAD DE LAS AGUAS DEL POBLADO LA MELBA.**

### **3.1. Introducción.**

Para determinar un agua con fines de abasto es necesario definir su calidad y si cumplen las normas que establecen los valores máximos deseados y permisibles para clasificarlas como agua potables. En este capítulo se hace referencia a los resultados obtenidos tras la realización de los análisis de laboratorio, su interpretación y descripción además de darnos una reseña del estado en que se encuentra el agua en la región de estudio.

### **3.2 Evaluación geoambiental de área de estudio**

El sector de la Melba se encuentra enclavado dentro del Parque Nacional “Alejandro de Humboldt” el cual constituye una de las áreas protegidas más estrictas e importante de Cuba en la referente a biodiversidad destacándose la misma no solo por poseer la mayor riqueza y endemismo del país sino también por ser en la actualidad el representante del más grande remanente de los ecosistemas montañosos conservados de Cuba, y constituye además la principal reserva de agua potable de Cuba y del Caribe Insular.

La favorable ubicación físico-geográfica del área de estudio, así como la gran diversidad geológica, geomorfológica, climatológica, y de la vegetación, ha condicionado la existencia de una gran diversidad de paisajes terrestres, fundamentalmente montañosos algunos de ellos únicos en la geografía cubana. (Figura 3.1 y 3.2)



b)

Figura 3.1. Vegetación endémica de la zona a) *Bouqueria Moensis*, b) Plantas insectívoras



b)

c)

Figura 3.2. Animales endémicos de la zona a) *Heraclides andragedus* b) *Polimitas* c) *Almiquí*

### **3.3. Fuentes de contaminación.**

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

El área de estudio es una de las zonas más protegida, las características geográficas y alta conservación de la biota hace de la zona una de las priorizadas para los estudios de la biodiversidad cubana y su conservación, esto indica la preservación de las cuencas hidrográficas que influye además en la flora y la fauna. Se determinaron las principales afectaciones de las cuencas hidrográficas y de las presas que abastecen la población de la Melba. (Figura 2.1).

Las presas se ven afectadas por materia orgánica y acciones antrópicas que aumentan los valores de turbidez y color.

La antigua minería del cromo afecta las aguas superficiales, esta genera además otros contaminantes que pueden alterar algunos elementos metálicos y propiedades físicas. Los procesos de erosión de los suelos, los deslizamientos y el escurrimiento superficial que arrastra sólidos al río en zonas afectadas, provocado además, por la pérdida de vegetación natural.

La litología de la zona influye en la composición química de las aguas principalmente en las concentraciones de metales.



Figura 3.3. Principales fuentes de contaminación que afectan las aguas superficiales en el sector La Melba.

### 3.4. Caracterización física - química del agua.

#### 3.4.1. Caracterización del agua según sus compuestos orgánicos.

##### Clasificación del agua según su pH.

El pH se comporta de manera normal en las 15 muestras analizadas según las normas aplicadas (287/2012). En muchas aguas naturales, que se usan para propósitos potables, existe un equilibrio entre carbonato, bicarbonato y dióxido de carbono. Los contaminantes ácidos que entran a los abastecimientos de aguas en cantidad suficiente, pueden alterar el equilibrio carbonato - bicarbonato - dióxido de carbono. Estadísticamente los valores oscilan entre (7,374 – 8,134) demostrando que se encuentran en el rango permisible el cual es de (6,8 – 8,5). Por lo que podemos decir que las aguas de las zona se clasifican como aguas debilmente básicas y neutras. (Ver gráfico 3.1 y Tabla 3.1)

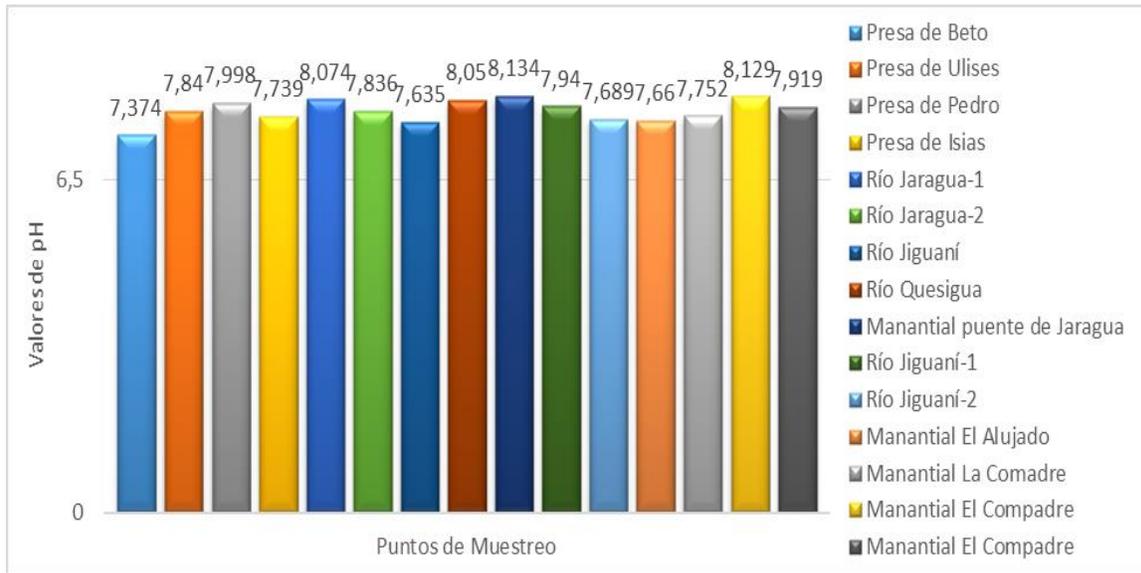


Figura 3.1. Comportamiento del pH.

Tabla 3.1. Clasificación del agua por su pH

No	Muestra	pH	Clasificación
1	Presa Beto	7.374	Neutras
2	Presa Ulises	7,840	Débilmente básicas
3	Presa Pedro	7,998	Débilmente básicas
4	Presa Isaías	7,739	Débilmente básicas
5	Rio Jaragua 1	8,074	Débilmente básicas
6	Rio Jaragua 2	7,836	Débilmente básicas
7	Rio Jaguaní	7,635	Débilmente básicas
8	Rio Quesigua	8,050	Débilmente básicas
9	Manantial Puente de Jaragua	8,134	Débilmente básicas
10	Rio Jaguaní 1	7,940	Débilmente básicas
11	Rio Jaguaní 2	7,689	Débilmente básicas
12	Manantial El Alujado	7,660	Débilmente básicas
13	Manantial La Comadre	7,752	Débilmente básicas
14	Manantial El Compadre	8,129	Débilmente básicas
15	Presa Mini hidroeléctrica	7,919	Débilmente básicas

## Turbidez (NTU)

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

La turbidez se comportó en el rango establecido en solo 5 muestras de un total de 15 muestras analizadas: Presa Pedro, Jaragua 1, Quesigua y la Comadre con valores de 0 NTU, según las normas aplicadas (287/2012) el valor máximo permisible es de 5 NTU. Las demas muestras analizadas se encuentran por encima de las normas permisibles. Estos altos valores pueden ser por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos. La turbiedad es de importante consideración en las aguas para el consumo humano por tres razones, la estética, la filtrabilidad y la desinfección. (Ver gráfico 3.2). En el análisis estadístico se registraron valores mininos de 0 y máximo 120 NTU y la media de los resultados (0-120 NTU)

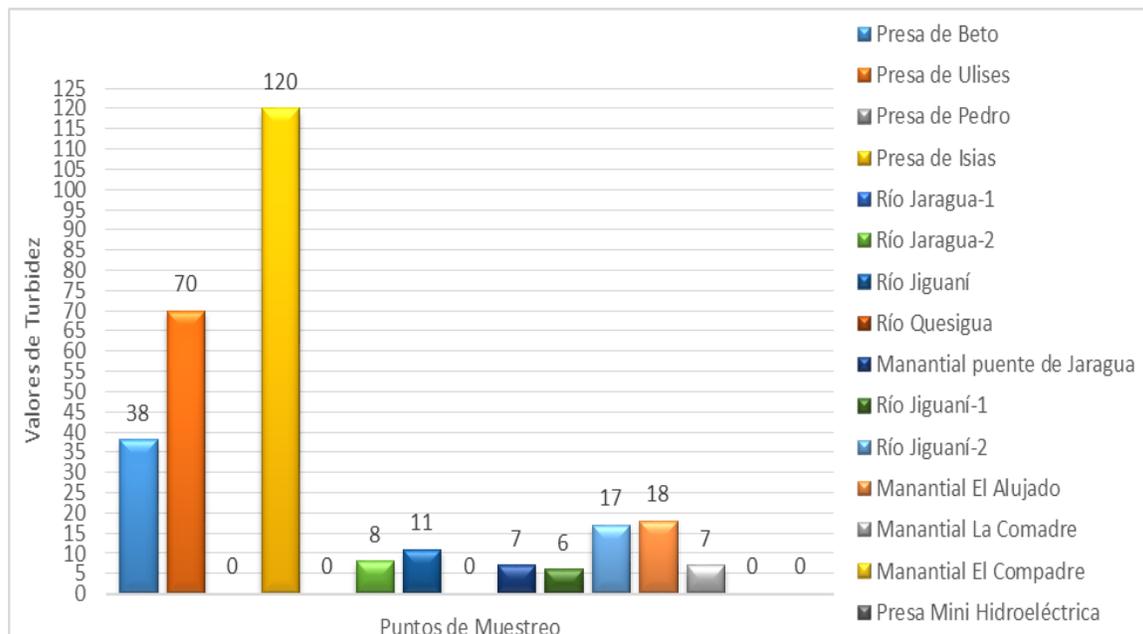


Figura 3.2. Comportamiento de los Turbidez. (NTU)

### Sólidos Totales Disueltos (STD)

La determinación de los sólidos totales permite estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en un agua, pero el resultado está condicionado por la temperatura y la duración de la desecación.

Los STD se encuentran por debajo de la norma establecida (287/2012) según la cual puede tomar valores de hasta 1000 mg/l oscilando los valores entre (32 – 144 mg/l). Debido a las diferentes solubilidades de diferentes minerales, las concentraciones de STD en el agua varían considerablemente de unas zonas geológicas a otras. (Ver gráfico 3.3)

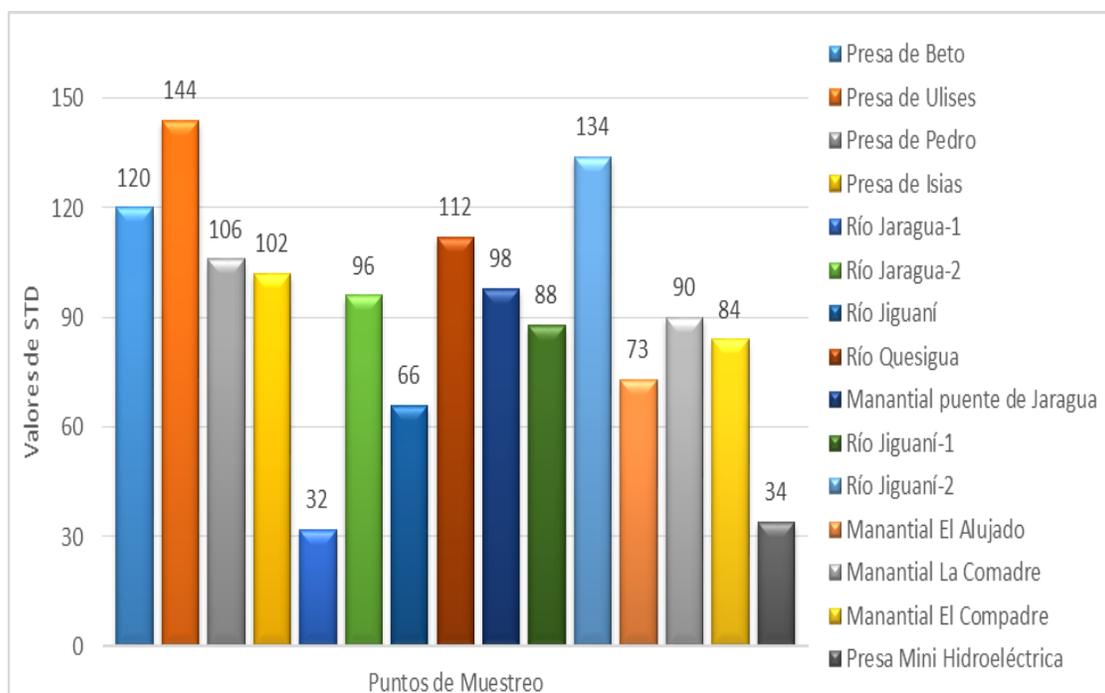


Figura 3.3. Comportamiento de los STD. (mg/l)

De forma general los contenidos de sólidos totales disueltos se encuentran en concentraciones bajas, considerando que son directamente proporcionales a la conductividad, se deduce que los valores no determinados de conductividad son bajos.

### Calcio (Ca<sup>2+</sup>)

El calcio se encuentra por debajo de la norma establecida (827/2012) en la cual se plantea que el calcio no puede sobrepasar de los 200 mg/l, en los análisis realizados a las 15 muestras tomadas, estadísticamente los valores oscilan entre (1,31 – 20,95 mg/l) (ver Anexo 1 tabla 1). Las muestras con mayores valores son las aguas de las presas con valores hasta 20.95 mg/l, excepto la presa mini hidroeléctrica que arrojó valores de 1.9 valores muy bajos de calcio. (Ver gráfico 3.4). Estos valores son significativos

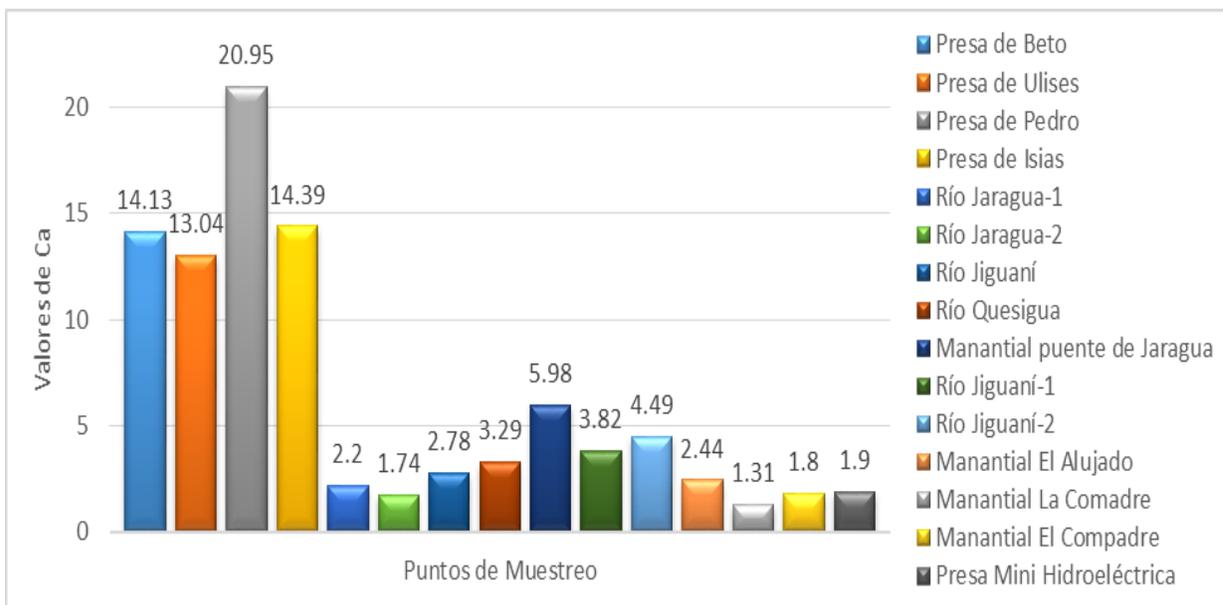


Figura 3.4. Comportamiento del contenido de Calcio. ( $Ca^{2+}$  mg/L)

Por la baja concentración mostrada la cual se debe a la litología existente en la zona. Este elemento está relacionado fundamentalmente con la dureza del agua.

### Magnesio ( $Mg^{2+}$ )

El Magnesio se encuentra entre los valores de (7,73 - 15,95 mg/l) (ver Anexo 1 tabla 1) por lo que se puede evidenciar que todas las muestras analizadas se encuentran por debajo de la norma establecida (287/2012), los valores más bajos se encuentran en las muestras de la presa Beto 7,73 mg/l, presa Ulises 8,37 mg/l y el río Jiguaní 7,95 mg/l, y el mayor valor está representado por la muestra manantial Puente de

Jaragua con un valor de 15,95, valor muy bajo en comparación con las normas permisibles. El rango permisible para el magnesio es de hasta 150 mg/l, este al igual que el calcio se encuentra relacionado con la dureza del agua y con el pH. (Ver gráfico 3.5)

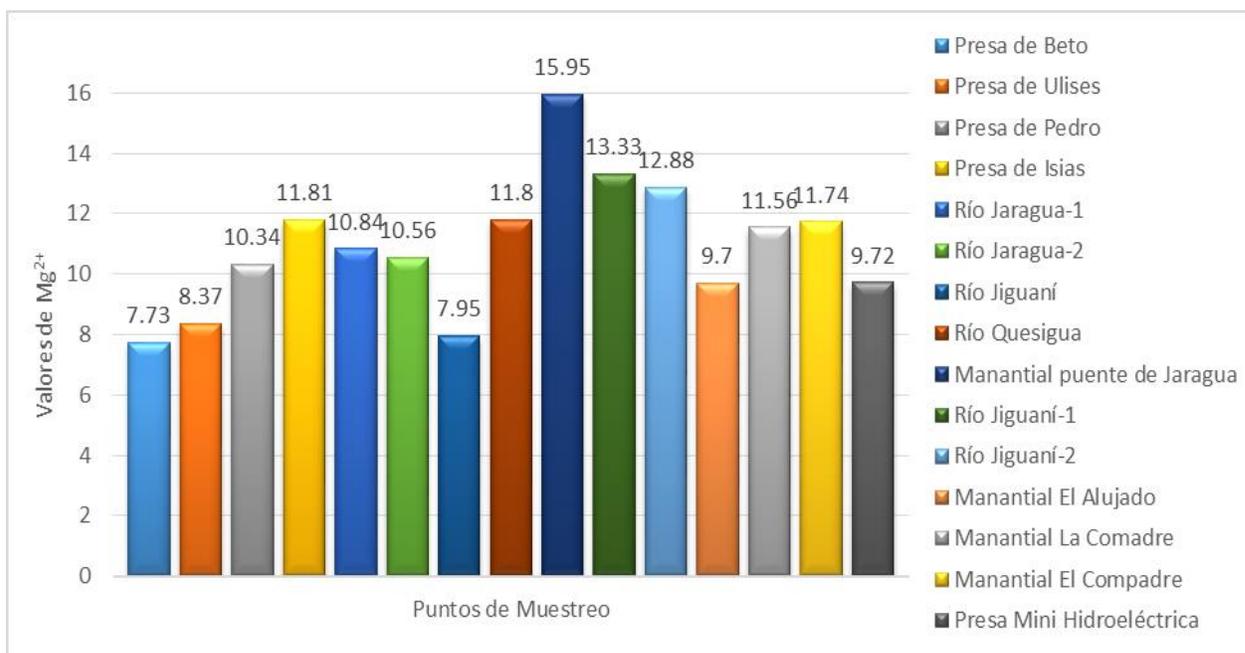


Figura 3.5. Comportamiento del contenido de Magnesio. (Mg<sup>2+</sup>)

### Cloruro (Cl<sup>-</sup>)

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

El cloruro en las muestras analizadas se encuentra por debajo de la norma establecida (287/2012) en la cual se plantea que los valores de dicho elemento no pueden sobrepasar los 250 mg/l y en este caso los valores oscilan entre (6,73 – 9,22 mg/l) (ver Anexo 1 tabla 1). Este elemento no es perjudicial para la salud, pero, influye directamente en el sabor del agua. (Ver gráfico 3.6)

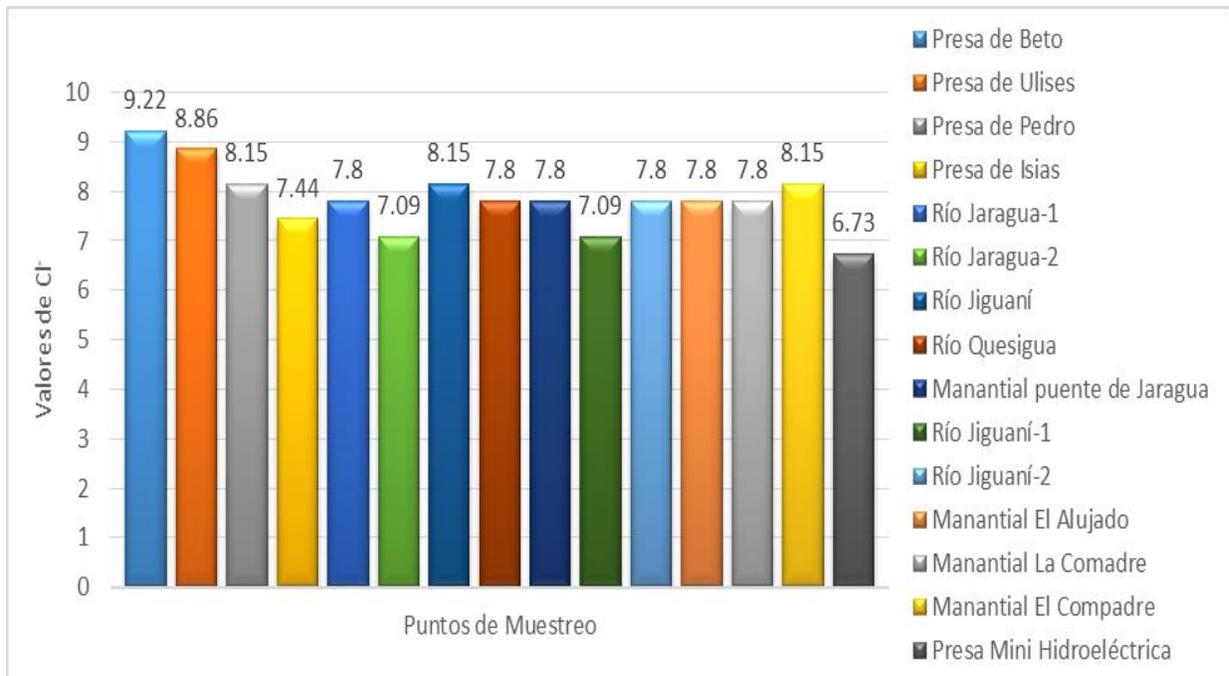


Figura 3.6. Comportamiento del contenido de Cloruro. (Cl<sup>-</sup>)

### Sodio (Na<sup>+</sup>)

El sodio se encuentra entre los valores (0,56-1,87mg/l) (ver Anexo 1 tabla 1) por lo que podemos decir que se encuentra por debajo de las normas establecidas (287/2012) la cual tiene un rango permisible para dicho elemento de 200mg/l. (Ver gráfico 3.7)

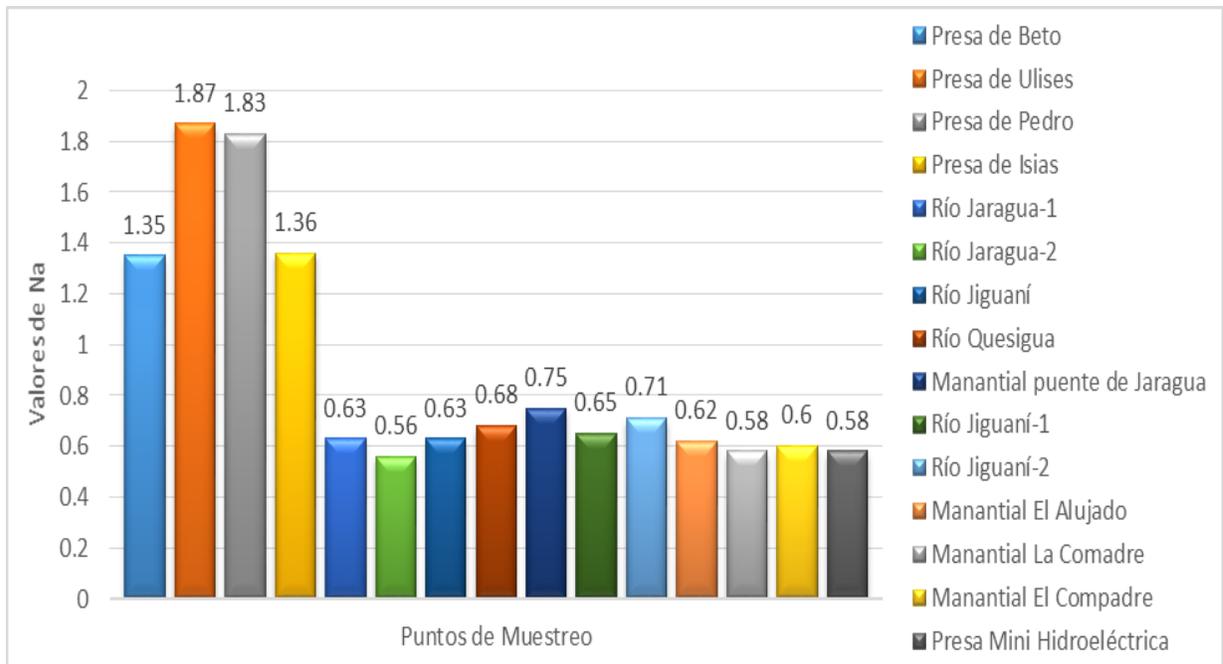


Figura 3.7. Comportamiento del Sodio. (Na)

### Potasio (K<sup>+</sup>)

Procede de la meteorización de los feldspatos, ocasionalmente de la solubilización de depósitos de evaporitas, en particular de sales tipo silvina (KCl) o carnalita (KMgC<sup>2</sup>). El potasio tiende a ser fijado irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de adsorción en la superficie de minerales con alta capacidad de intercambio iónico.

En aguas subterráneas su contenido no suele sobrepasar los 10 mg/l, a excepción de algunas salmueras. En ocasiones, más altas concentraciones pueden ser indicio de contaminación por vertidos de aguas residuales.

El potasio se encuentra según los análisis realizados entre los valores de (0,07 - 0,40 mg/l) (ver Anexo 1 tabla 1) por lo que podemos evidenciar que dicho elemento está por debajo de la norma establecida (287/2012) la cual es de 12 mg/l. (Ver gráfico 3.8)

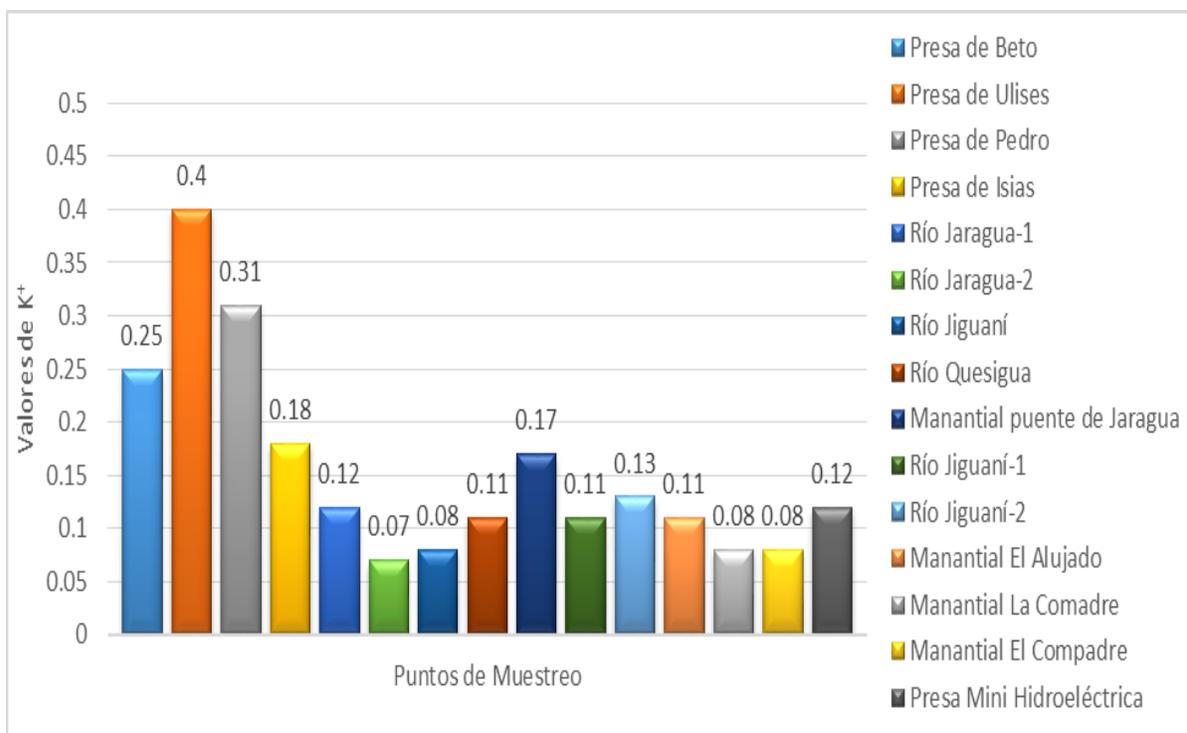


Figura 3.8. Comportamiento del contenido de Potasio (K<sup>+</sup>).

### Silicio (Si)

En el muestreo realizado el silicio se mostró de forma anormal en 5 de las 15 muestras analizadas oscilando los valores entre (6,33 – 15mg/l) (ver Anexo 1 tabla 1) siendo 10 mg/l el valor máximo permisible por la norma aplicada (287/2012). Las muestras con mayores valores registrados fueron las Presas Beto, Ulises, Pedro e Isaías y el manantial puente de Jaragua. Este elemento no es dañino para la salud humana. (Ver gráfico 3.9)

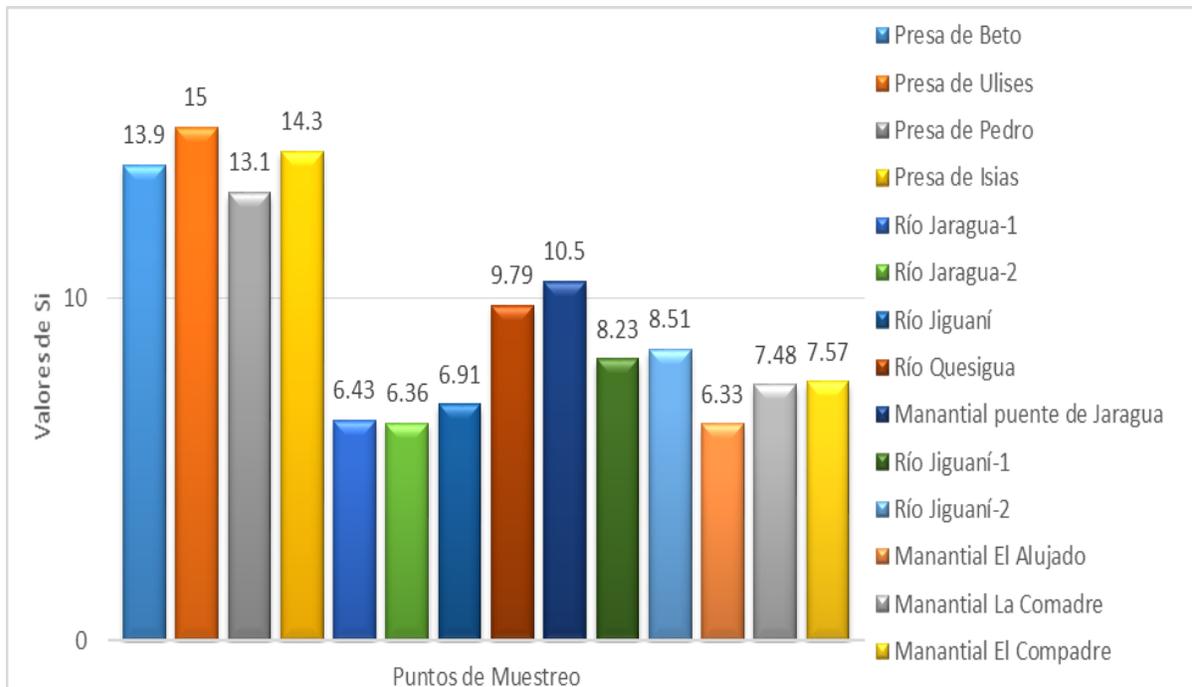


Figura 3.9. Comportamiento del Silicio. (Si)

### Nitrito (NO<sub>2</sub>)

El nitrito se encuentra fuera de norma en 7 de las 15 muestras analizadas siendo 0,02 mg/l el valor máximo permisible por las normas aplicadas (287/2012) y en los analisis los valores oscilaron en un rango entre (0 - 0,671mg/l) (ver Anexo 1 tabla 1) encontrandose por encima de el valor establecido en las muestras Presa Beto, río Jiguaní, río Quesigua, ríos Jiguaní-1 y Jiguaní-2 y los manantiales La Comadre y El Compadre. La presencia de este elemento en el agua suele indicar la contaminación de carácter fecal orgánico, habida cuenta de su inestabilidad, además, sus niveles de concentración deben tenerse en cuenta, porque a partir de esta sustancia se forman nitrosaminas, las cuales son cancerígenas en los seres humanos. (Ver gráfico 3.10)

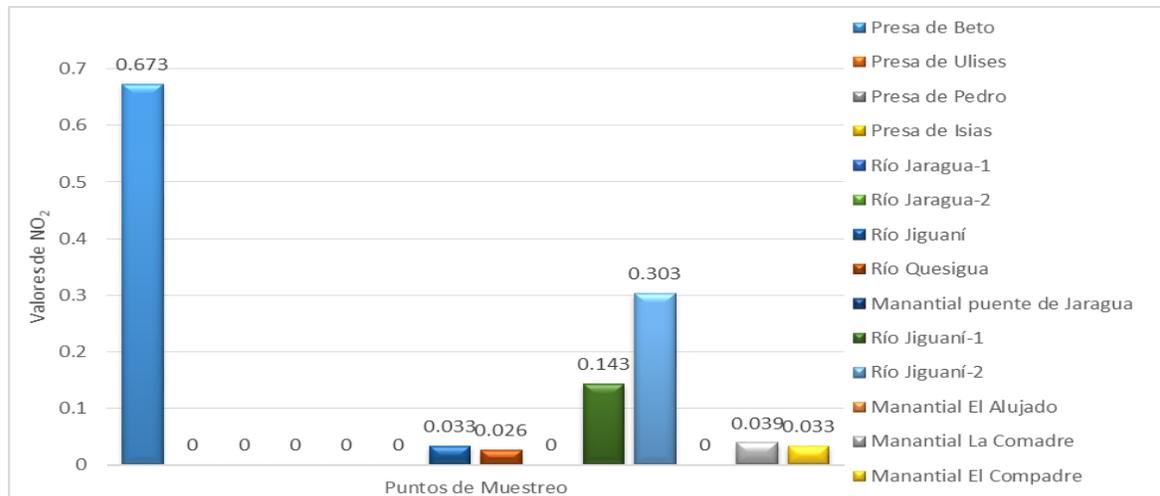


Figura 3.10. Comportamiento del Nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

### 3.4.2 Caracterización del agua según sus compuestos metálicos.

#### Mercurio (Hg)

El mercurio se encuentra fuera de las normas aplicadas (287/2012) en 7 de las 15 las muestras analizadas, en la cual se plantea que el máximo permisible es de 0,001 mg/l. Estadísticamente los resultados se comportan entre los valores (0 - 0,042 mg/l) (ver Anexo 1 tabla 2) destacándose Presa Ulises, Presa Isaías, río Jiguaní, río Quesigua, ríos Jiguaní-1 y 2 y el manantial La Comadre como las muestras con valores anómalos, por lo que se deben tener en cuenta por lo dañino e incluso fatal que puede llegar a ser el mercurio en el organismo ser humano, por su alto nivel de toxicidad. (Ver gráfico 3.11). Estos contenidos de mercurio pueden ser producto a la utilización de productos químicos en la minería artesanal que se ha practicado en el área. Otra fuente de contaminación puede ser natural por la litología de la zona por la cual circulan las aguas.

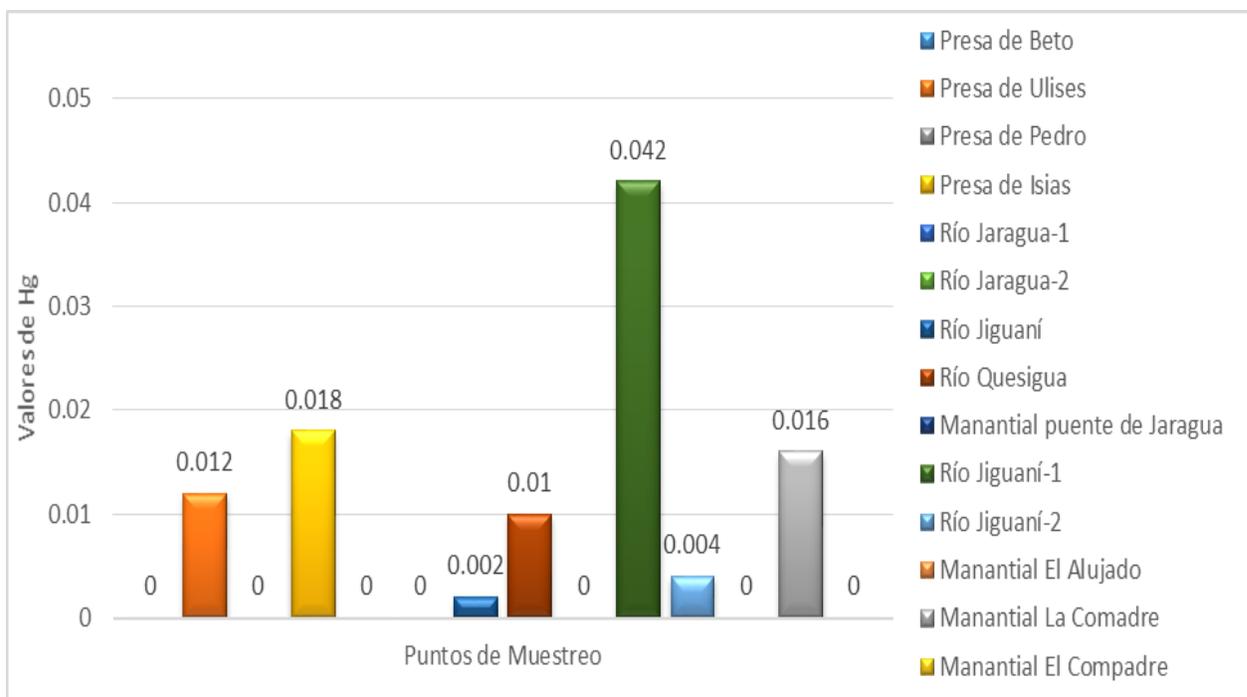


Figura 3.11. Comportamiento del contenido de mercurio (Hg).

### Cadmio (Cd)

El cadmio se comporta de manera normal en 14 de las 15 muestras analizadas según la norma aplicada (287/2012) en la cual el valor máximo permisible es de 0,003 mg/l, estadísticamente los valores registrados oscilan entre (0-0,004 mg/l) (ver Anexo 1 tabla 2) siendo la Presa Isaías la muestra con mayor concentración dentro de las analizadas. Anexo 1 Tabla 2.

Este elemento se encuentra de manera natural en diferentes tipos de terrenos y rocas, este puede causar serios daños en el organismo humano ya que es uno de los metales más tóxicos y biopersistentes de la corteza terrestre. (Ver gráfico 3.12)

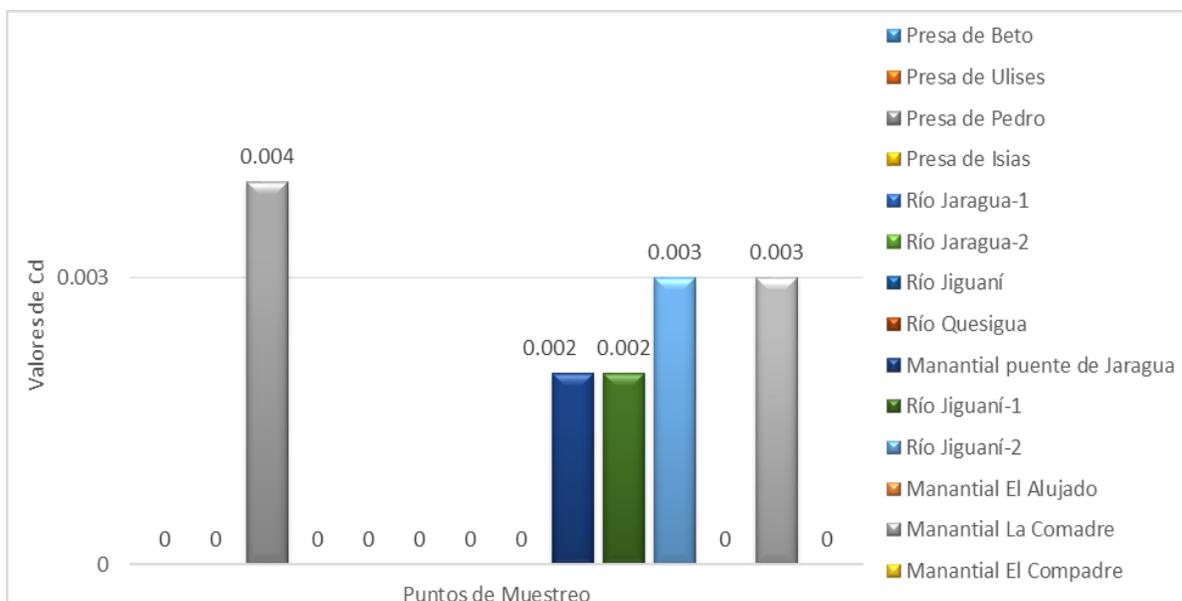


Figura 3.12. Comportamiento del contenido de Cadmio. (Cd)

### Cromo Total (CrT)

El cromo se comportó de manera normal en 13 de las 15 muestras analizadas mostrando valores entre (0,01-0,10 mg/l) (ver Anexo 1 tabla 2) siendo el manantial El Alujado y río Jiguaní-1 las de mayores valores para este elemento según la norma (287/2012) el valor máximo permisible es de 0,03 mg/l. (Ver gráfico 3.13)

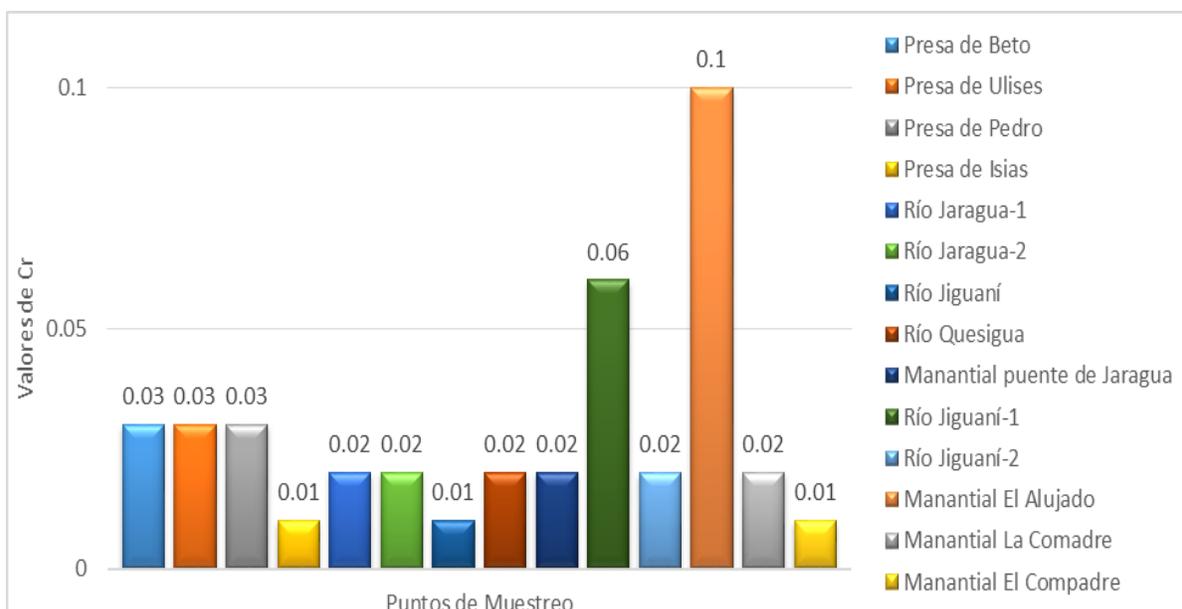


Figura 3.13. Comportamiento del contenido de Cromo Total.

Este elemento natural se encuentra con mayor predominio en el tipo de litología presente en el área de estudio por lo que hay que tener en cuenta su comportamiento porque este metal es carcinógeno en los seres humanos.

### Hierro (Fe)

El hierro se comporta de manera normal en 14 de las 15 muestras analizadas mostrándose con valores que pueden oscilar entre (0,019-0,73 mg/l) (ver Anexo 1 tabla 2) siendo el manantial El Alujado la de mayor concentración de este elemento para un rango permisible de 0,30 mg/l según las normas establecidas (287/2012). Este elemento se encuentra de manera natural en área de estudio por la litología presente en la zona, el hierro en bajas concentraciones es beneficioso para el organismo, pero al sobrepasar los valores permisibles puede causar intoxicación principalmente en los niños pequeños. (Ver gráfico 3.14)

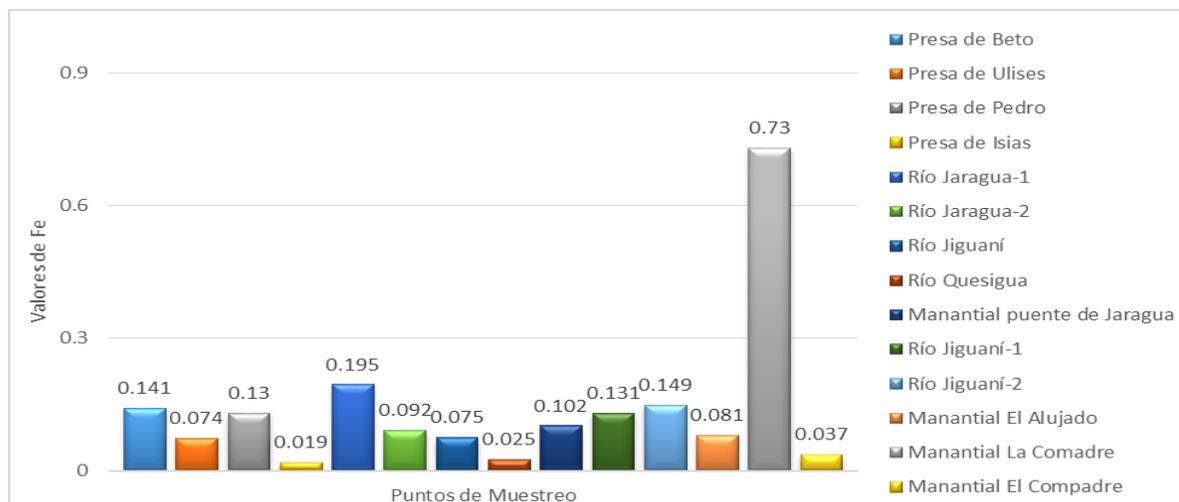


Figura 3.14. Comportamiento del contenido de Hierro.

### Níquel (Ni)

El níquel según las normas establecidas (287/2012) puede alcanzar un valor máximo permisible de 0,02 mg/l en este caso en todas las muestras analizadas sobrepasan dichas normas con valores que oscilan entre (0,037 - 0,149 mg/l) (ver Anexo 1 tabla

2). Este elemento se encuentra de manera natural y en abundancia en el área de estudio por esto debemos tener en cuenta su comportamiento ya que este elemento en altas concentraciones puede causar reacciones alérgicas. (Ver gráfico 3.15)

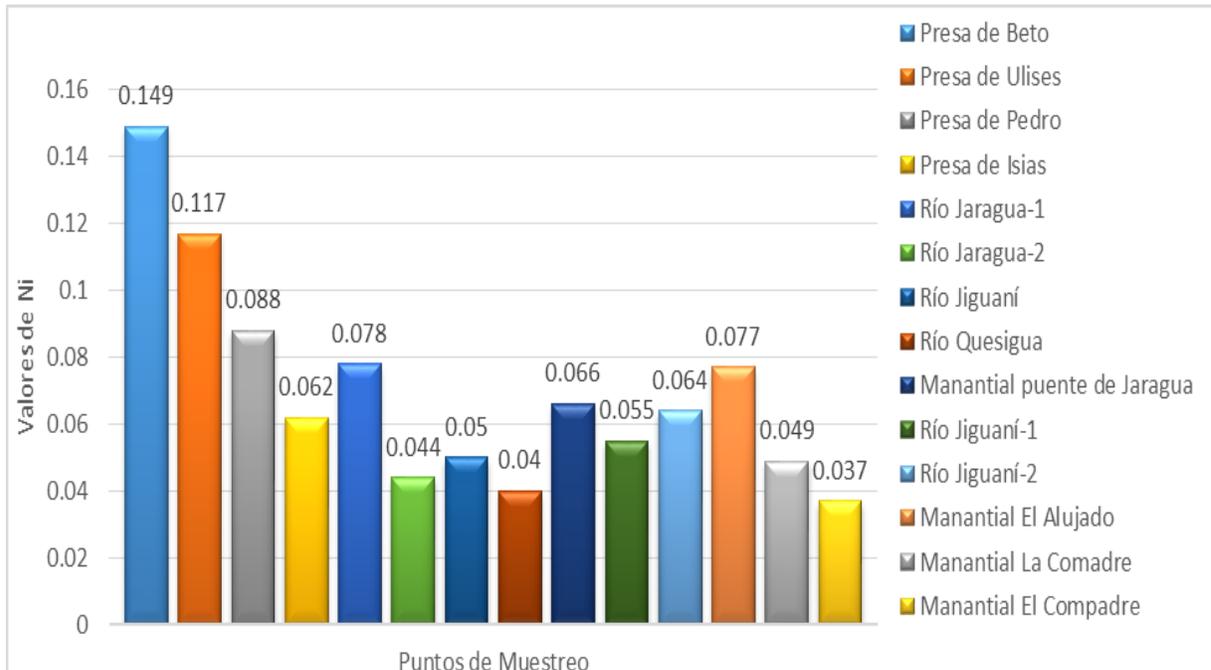


Figura 3.15. Comportamiento del contenido de Níquel (Ni)

### Plomo (Pb)

El plomo se encuentra fuera de rango en 3 de las 15 muestras analizadas las cuales son la Presa Isaías, río Jaragua-1 y río Jiguaní-2, estadísticamente el valor máximo permisible por las normas utilizadas (287/2012) es de 0,01 mg/l en este caso los valores registrados oscilan entre (0-0,048 mg/l) (ver Anexo 1 tabla 2). Este metal es de suma peligrosidad para la salud por ser altamente tóxico y su ingestión en altas concentraciones puede llegar a ser fatal. (Ver gráfico 3.16)

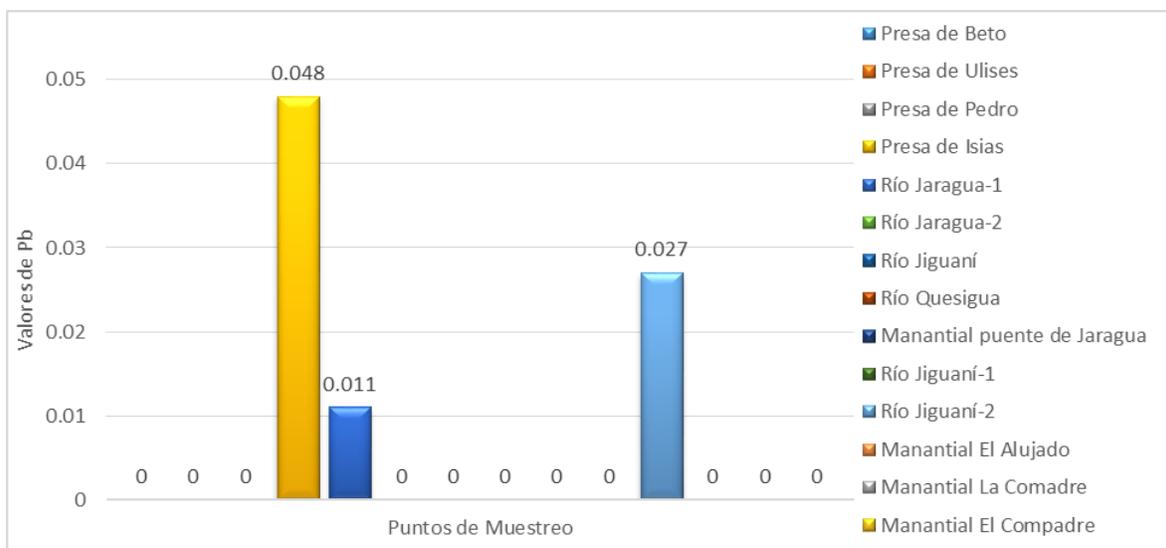


Figura 3.16. Comportamiento del contenido de Plomo (Pb)

### 3.4.3. Clasificación según la Dureza Total

La dureza Total se comportó en todas las muestras analizadas en un rango entre (0,1 – 0,9 mg-equiv/l) en 4 de las 15 muestras se registraron como aguas blandas: presa Pedro, Presa Isaías, río Quesigua y el río Jiguaní. El resto de las muestras se clasifican como aguas muy blandas por las bajas concentraciones de calcio y magnesio en las aguas de la zona, relacionado con la litología de la zona por la cual circulan (Ver gráfico 3.15 y Tabla 3.17)

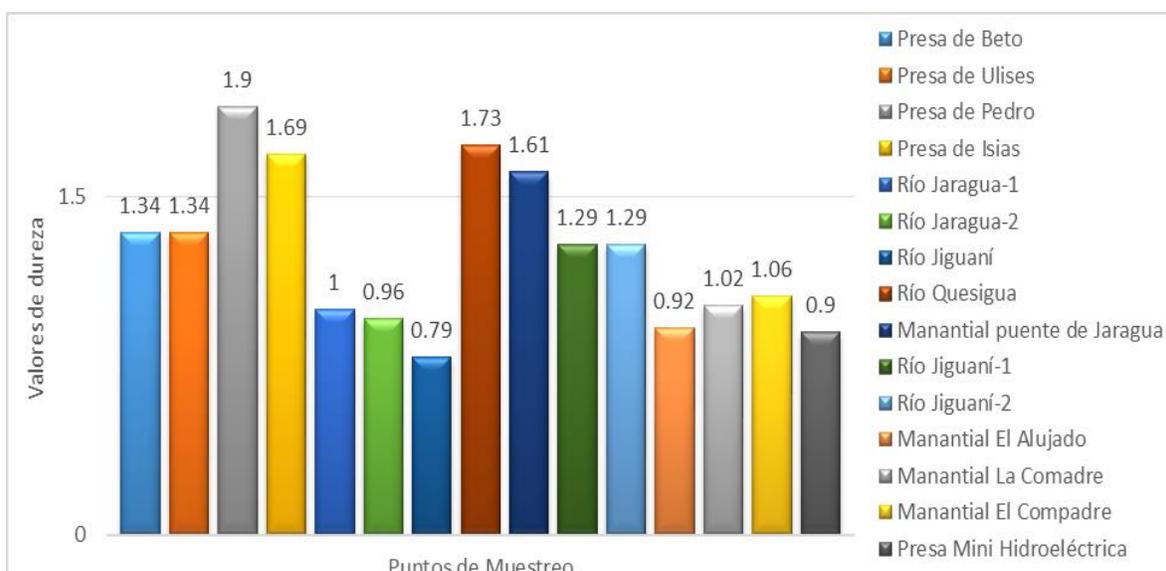


Figura 3.17. Comportamiento de la Dureza Total. (mg-equiv/l de Dtotal)

Tabla 3.2. Clasificación de las aguas de acuerdo a su Dureza Total.

No	Muestra	Mg-equiv/l de Dureza total	Clasificación
1	Presa Beto	1,34	Aguas muy Blandas
2	Presa Ulises	1,34	Aguas muy Blandas
3	Presa Pedro	1,9	Aguas Blandas
4	Presa Isaías	1,69	Aguas Blandas
5	Rio Jaragua 1	1	Aguas muy Blandas
6	Rio Jaragua 2	0,96	Aguas muy Blandas
7	Rio Jaguaní	0,79	Aguas Blandas
8	Rio Quesigua	1,73	Aguas Blandas
9	Manantial Puente de Jaragua	1,61	Aguas muy Blandas
10	Rio Jaguaní 1	1,29	Aguas muy Blandas
11	Rio Jaguaní 2	1,29	Aguas muy Blandas
12	Manantial El Alujado	0,92	Aguas muy Blandas
13	Manantial La Comadre	1,02	Aguas muy Blandas
14	Manantial El Compadre	1,06	Aguas muy Blandas
15	Presa Mini hidroeléctrica	0,9	Aguas muy Blandas

#### 3.4.4. Clasificación según la Mineralización (g/l).

La mineralización de las aguas es un factor que en muchos casos resulta determinante en la utilización de las mismas para distintos fines.

En las aguas naturales se han encontrado más de 60 elementos, los cuales están presentes en forma de iones, moléculas no disociadas y coloidales. Sin embargo, generalmente en las aguas solo se encuentra una parte de estos elementos; de ellos solo algunos se encuentran en cantidades considerables, que son los que determinan la mineralización de las aguas.

La mineralización se comportó en todas las muestras analizadas en un rango entre (0,01905 – 0,048 g/l), estadísticamente valores (minino y máximo) respectivamente, clasificando las aguas de la zona en aguas dulces. (Ver tabla 3.3 y gráfico 3.18)

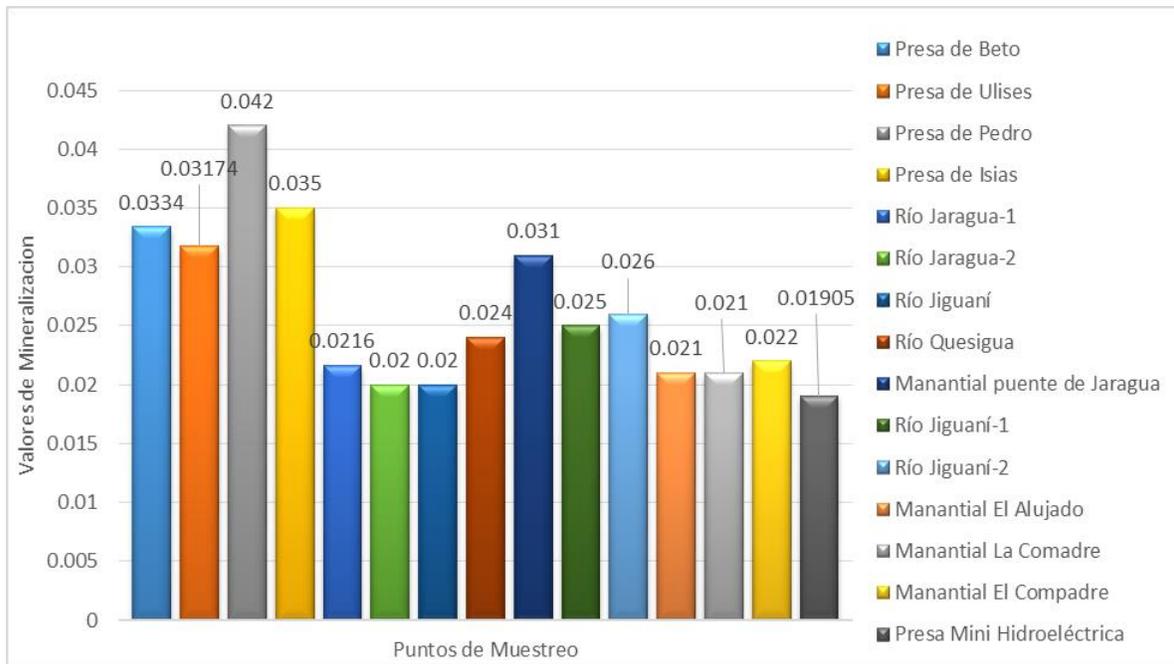


Figura 3.18. Comportamiento de la Mineralización (g/l)

Tabla 3.4. Clasificación de las aguas por su mineralización

No	Muestra	Mineralización (g/l)	Clasificación
1	Presa Beto	0,0334	Aguas Dulces
2	Presa Ulises	0,03174	Aguas Dulces
3	Presa Pedro	0,042	Aguas Dulces
4	Presa Isaías	0,035	Aguas Dulces
5	Río Jaragua 1	0,0216	Aguas Dulces
6	Río Jaragua 2	0,02	Aguas Dulces
7	Río Jaguaní	0,02	Aguas Dulces
8	Río Quesigua	0,024	Aguas Dulces
9	Manantial Puente de Jaragua	0,031	Aguas Dulces
10	Río Jaguaní 1	0,025	Aguas Dulces
11	Río Jaguaní 2	0,026	Aguas Dulces
12	Manantial El Alujado	0,021	Aguas Dulces
13	Manantial La Comadre	0,021	Aguas Dulces
14	Manantial El Compadre	0,022	Aguas Dulces
15	Presa Mini hidroeléctrica	0,01905	Aguas Dulces

### 3.5. Índice de Calidad de Agua

El índice de calidad de agua (ICA) fue calculado con el objetivo de hacer una evaluación general sobre el estado de la calidad del agua en el área de estudio, para esto se calculó en base a la sumatoria de cuatro parámetros los cuales fueron turbidez, sólidos disueltos totales (STD), pH y dureza según los resultados obtenidos los valores oscilaron entre (42,38-68,28 %) clasificando el agua de la zona como aguas entre poco contaminadas y contaminadas, dándolas como no aptas para el consumo humano. (Ver gráfico 3.19 y tabla 3.5)

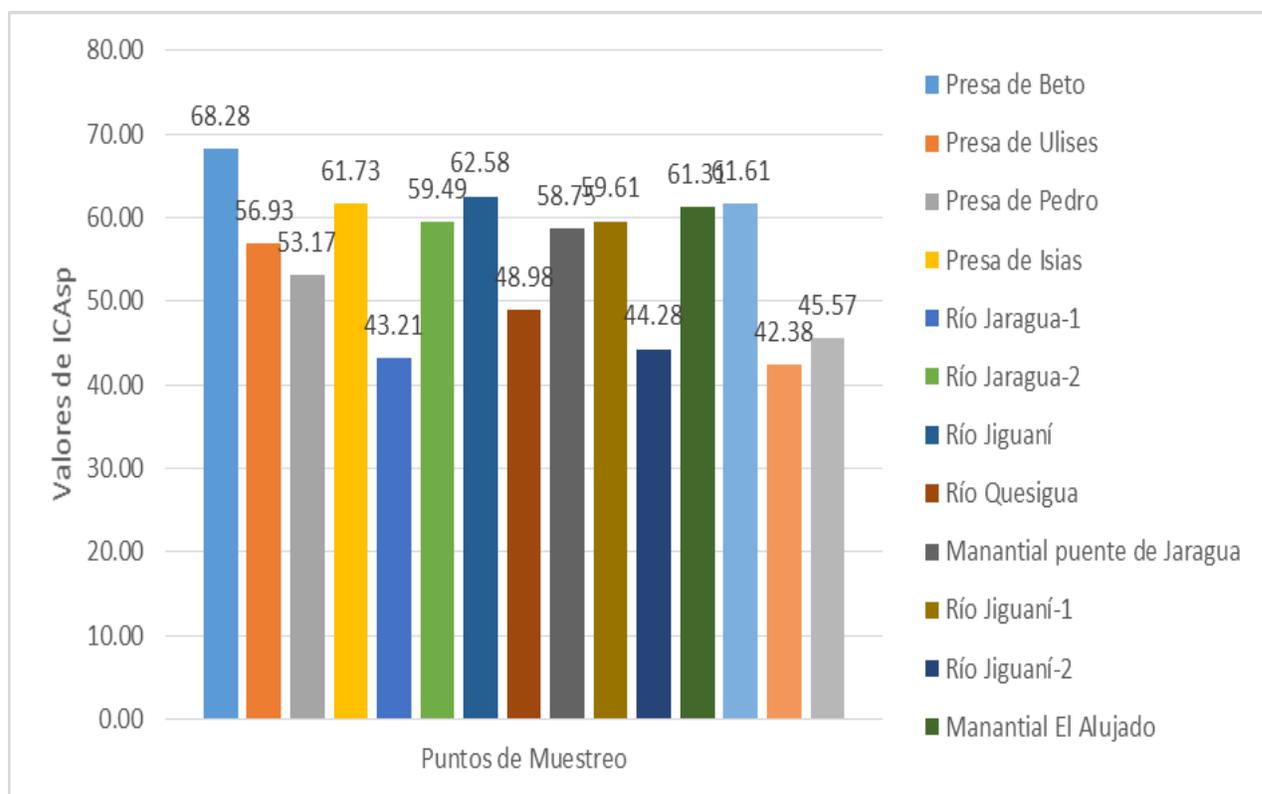


Figura 3.19. Gráfico de valores del Índice de Calidad del Agua.

Tabla 3 .5. Resultados del cálculo del Índice De Calidad Del Agua

No	Muestra (Punto de	ICA	Clasificación
1	Presa Beto	68,28	Poco contaminada
2	Presa Ulises	56,93	Poco contaminada
3	Presa Pedro	53,17	Poco contaminada
4	Presa Isaías	61,73	Poco contaminada
5	Rio Jaragua 1	43,21	Contaminada
6	Rio Jaragua 2	59,49	Poco contaminada
7	Rio Jaguaní	62,58	Poco contaminada
8	Rio Quesigua	48,98	Contaminada
9	Manantial Puente de Jaragua	58,75	Poco contaminada
10	Rio Jaguaní 1	59,61	Poco contaminada
11	Rio Jaguaní 2	44,28	Contaminada
12	Manantial El Alujado	61,31	Poco contaminada
13	Manantial La Comadre	61,61	Poco contaminada
14	Manantial El Compadre	42,38	Contaminada
15	Presa Mini hidroeléctrica	45,57	Contaminada

El resultado de las evaluaciones del Índice de Calidad del Agua superficial es preocupante en el área de estudio, todas las muestras analizadas reflejan contaminación en el rango de poco contaminada (10 muestras) y contaminada (5 muestras). Figura (3.4). A pesar de encontrarse en una zona poco afectada por las acciones antrópicas hay factores que están incidiendo de forma negativa en la calidad del agua.

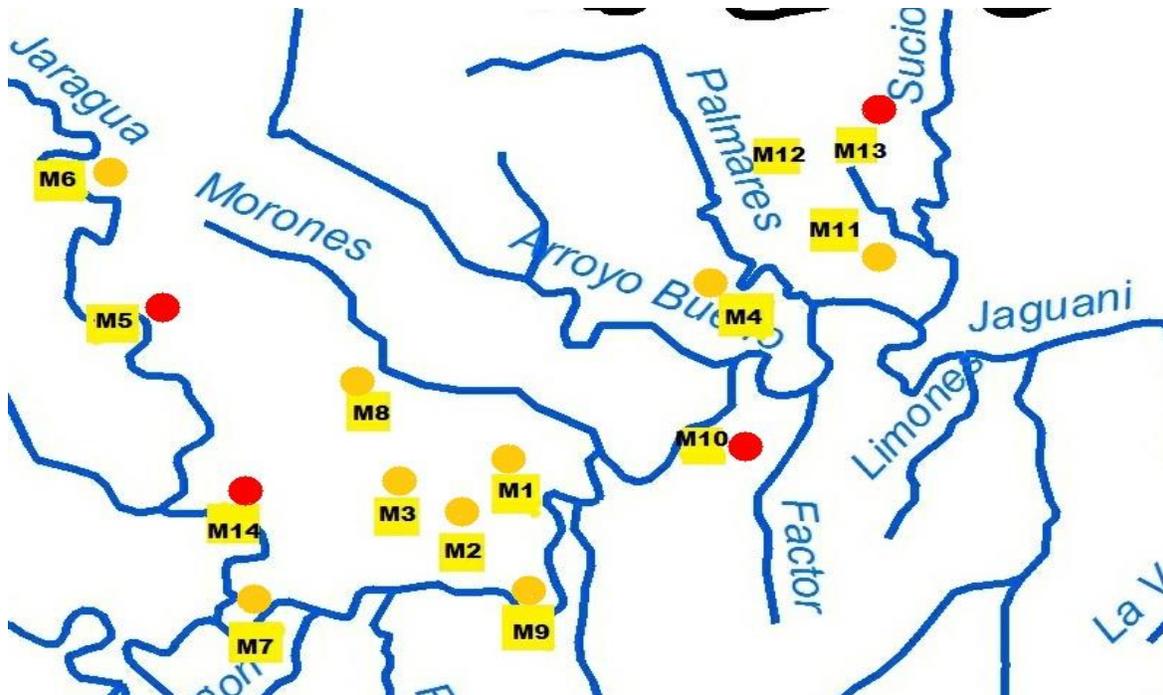


Figura 3.4. Representación de los Indices de Calidad del Agua superficial por puntos de monitoreo.

Se considera importante realizar otras determinaciones analíticas que pueden estar incluidas en la evaluación del índice de calidad del agua, que son parámetros importantes en la caracterización de las muestras. Otros elementos no analizados como los  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2+}$ , y la conductividad ya que es una propiedad física que puede indicar alguna consideración sobre la composición de sales y otros elementos en el agua.

De interés desde el punto de vista higiénico- sanitario, es importante realizar control estricto y sistemático del estudio bacteriológico de los coliformes totales, fecales y otras bacterias que pudieran estar presentes en las aguas de abasto.

Los grupos comunitarios correspondientes a estas zonas deben lograr una cultura general integral sobre la temática del agua como un recurso primordial para el desarrollo de la vida., y poder mantener algunas de las condiciones que se requieren para el cuidado y resguardo de los recursos hídricos en la zona.



## CONCLUSIONES

- ❖ El sector La Melba posee grandes reservas de agua superficiales, las condiciones climáticas y ambientales son favorables para los ecosistemas, posee un gran atractivo para el turismo de naturaleza por su gran diversidad faunística y altos niveles de conservación, es fuerte en el desarrollo forestal y otros sectores.
- ❖ Según los estudios de la calidad del agua estas se clasifican como aguas dulces según su mineralización, por su pH como aguas neutras y ligeramente básicas, por su dureza son aguas muy blandas y blandas. El agua analizada cumple con los rangos de calidad establecido en cuanto a: pH, aluminio, antimonio, arsénico, bario, boro, zinc, calcio, cloruros, cobre, fósforo, manganeso, magnesio, molibdeno, potasio, selenio, sodio y sólidos totales disueltos. Los parámetros que afectan la calidad del agua de manera general son: turbidez, cadmio, cromo, hierro, mercurio, níquel, plomo, silicio y nitritos.
- ❖ . Según los cálculos realizados sobre el índice de calidad del agua por la metodología empleada para los parámetros turbidez, pH, dureza y sólidos totales disueltos en el agua se clasificó como aguas poco contaminadas y contaminadas, dándola como no apta para su consumo.



## RECOMENDACIONES

- ❖ Mantener un control sistemático de las características físicas-químicas que definen la calidad del agua y continuar realizando un muestreo de las aguas en los puntos establecidos y en otros no estudiados aun.
- ❖ Realizar análisis bacteriológicos del agua en el poblado de La Melba e inspección higiénica sanitaria en estas aguas con mayor frecuencia, con el fin de tomar las medidas necesarias y profundizar sobre las causas que provocan el deterioro de la calidad de estas.
- ❖ Realizar trabajos de educación ambiental y manejo de las aguas en la comunidad.
- ❖ Profundizar en el estudio del el tema tratado en la investigación en otras áreas adyacentes para un mejor dominio sobre la calidad de las aguas en la zona de estudio



## BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- ❖ APHA. AWWMA. WEF, "Standard Method for the Examination of Water and Wastewater", 21<sup>th</sup> Edition, 2005.
- ❖ BEGUÉ-QUIALA GERARDO, LARRAMENDI JOA JULIO A, Parque Nacional Alejandro de Humboldt, ediciones Polymita, 2013.
- ❖ CHACON, IBETTE. Características hidrogeológicas, hidroquímicas, y bacteriológicas de la ciudad de Moa. Trabajo de Diploma. ISMM. Moa, 1991
- ❖ Calidad de las aguas superficiales. [2010-03-15]. Disponible en: [http://www.mma.es/info\\_amb/estado\\_ma/coyunt/sintesis02/pdf/pto33\\_sintesis02.pdf](http://www.mma.es/info_amb/estado_ma/coyunt/sintesis02/pdf/pto33_sintesis02.pdf)
- ❖ CHILQUINGA QUINATAPA CRISTINA A, DONOSO CRUZ HENRY E, Caracterización la calidad del agua de la microcuenca del río Pachanlica de da provincia de Tungurahua en Ecuador, tomando como base la metodología ICA-sp de Montoya. Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- ❖ Diccionario enciclopédico del agua. [2010-03-25]. Disponible en: <http://www.aguamarket.com/diccionario/resultados>
- ❖ Estudio Diagnóstico de la cuenca del río San Juan y lineamientos del plan de acción. [2012-03-15]. Disponible en: <http://www.oas.org/usle/publications/unit/oea05s/beging.htm>
- ❖ FERNANDEZ, M. Evaluación de la calidad de las aguas de consumo humano en la zona urbana del municipio de Moa. Tesis de Maestría. ISMM. MOA. 2003.
- ❖ FERNANDEZ, M. Impacto ambiental por contaminación de las aguas subterráneas y superficiales en el municipio de Moa. CINAREM' 2013.
- ❖ HERRERA, DAVID. Evaluación preliminar de las características físico-químicas y contaminación ambiental de las aguas del río Cabañas. Tesis de Diploma. ISMM. Moa, 2000.
- ❖ NC 827-2012 (CUBA). Agua potable, Requisitos sanitarios. Vigente diciembre 2012.



- ❖ NC -93-02: 1985 (CUBA). Higiene comunal, Agua potable. Requisitos Sanitarios y muestreo. Aprobada Octubre 1985. Vigente Marzo 1986.
- ❖ NC 93-01-210: 1987 (CUBA). Requisitos generales para la protección de las aguas superficiales y subterráneas por petróleo y sus derivados. Aprobada Junio 1987. Vigente Junio 1988.
- ❖ NC 93-01-206: 1988 (CUBA). Franjas forestales de las zonas de protección a embalses y cauces fluviales. Aprobada Marzo 1988. Vigente Sept. 1986.
- ❖ NC 93-03: 1985 (CUBA). Sistemas de abastecimiento de agua. Requisitos sanitarios. Aprobada Dic. 1985. Vigente Sept. 1986.
- ❖ SUCOSHAÑAY-VILLALBA DARWIN JAVIER .Evaluación de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca del río Puyo de la amazonia ecuatoriana a partir de un índice integrador (ICA\_sp) Ciencias de la Tierra y el Espacio, 2015.
- ❖ Sustancias contaminantes del agua. [2011-03-15]. Disponible en: <http://www.1.ceit.es/asignaturas/Ecologia/hipertexto/lcagua>
- ❖ VELAZQUEZ, AMPARO. Estudio sobre la calidad natural de los recursos hídricos en el entorno de la zona minera de Moa, provincia de Holguín. Tesis de Maestría. ISMM, Moa. 1999.



## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ❖ BATISTA , J.A. Características geológicas y estructurales de la región de Moa a partir de la interpretación del levantamiento aereomagnético 1:50 000. Tesis de Maestría. Dpto. de geofísica. ISPJAE. La Habana, 1998.
- ❖ CITMA 2002B. Proyecto de Gestión integrada de cuencas hidrográficas (resumen). La Habana, CIGEA.
- ❖ Diccionario enciclopédico del agua. [2010-03-25]. Disponible en: <http://www.aguamarket.com/diccionario/resultados>
- ❖ ENTREMERA PALACIOS, J. Calidad del agua en la cuenca alta del río Miño. Tecnología del agua, octubre 1996, 158: 64-71
- ❖ FADEL–MORABISH. Evaluación preliminar y caracterización de la manifestación de caolinitas en la zona de Cayo Guam, Moa. Tesis de diploma. 2009.
- ❖ Fuentes y mecanismos de contaminación por nitratos. Ingeniería civil y medio ambiente. [2009-03-15]. Disponible en: <http://www.miliarium.com/socios/boletin.asp>.
- ❖ FERNÁNDEZ- RODRÍGUEZ. Y. Factores que influyen en la desertificación en el sector Cerro Miraflores- Playa La Vaca, municipio Moa. Tesis de Maestría. 2012.
- ❖ GARCÍA DANNIER. Q. Análisis de los factores de degradación de los suelos en la cuenca del 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
- ❖ 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



- ❖ 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
- ❖ MIGUEL FERNÁNDEZ, C DE. Hidrogeología Aplicada. (2 da. Edic). Edit. Félix Varela, La Habana, 2008. 453p.
- ❖ MIGUEL FERNÁNDEZ, C DE. Hidrogeología Aplicada con Aspectos Ambientales. Edit. EDUM, Moa, ISMM, 2012. 374 p. Disponible en; <http://www.ismm.edu.cu/edum>
- ❖ MIGUEL FERNÁNDEZ, C DE. Hidrogeología General. Moa, ISMM, 2009. 4 p. Disponible en; <http://www.ismm.edu.cu/edum>
- ❖ Milan-Milan.E; Carcases-Ulloa; Krebs-Jornada S.A, Ferrer-Rosario (2012).Procedimiento para la rehabilitación minero-ambiental de yacimientos piríticos polimetálicos cubanos *Minería y Geología* / v.28 n.4 / octubre-diciembre / 2012 / p. 20-40 ISSN 1993 8012
- ❖ MOHAMED, ABDEMULA. Evaluación de las reservas de explotación de las aguas subterráneas de las terrazas del río Moa. Tesis de Diploma. ISMM. Moa.2001.
- ❖ Monografía sobre la contaminación del agua. [2011-03-15]. Disponible en: <http://alipso.com/monografias/contaminaciondelagua>.
- ❖ MONTES DE OCA, A Impactos ambientales producidos por la actividad minera. 2008.
- ❖ MONTES DE OCA, A. Rehabilitación de zonas afectadas por la minería. Impacto al medio acuífero y su mitigación. 2008.
- ❖ 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.
- ❖ PEREZ, A. Caracterización de las aguas de consumo humano en los asentamientos rurales del suroeste de Moa. Trabajo de diploma. ISMM. Moa. Facultad de Minería y Geología, 1999. 43p.
- ❖ Población ecología y medio ambiente. Universidad de Navarra. Contaminación del agua. [2013-03-13]. <http://www.1.ceit.es/asignaturas/ecologia/hipertexto/ilcagua>



- ❖ QUINTAS, FELIX. Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia de Guantánamo y áreas cercanas. Tesis de Doctorado. 1989. ISMM. Moa.
- ❖ RIVAS, NIURKA. Estudio morfotectónico del área Moa – Cabañas. Trabajo de diploma. ISMM. Moa. Facultad de Geología y Minería, 1992
- ❖ RODRÍGUEZ INFANTE, ALINA. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de los riesgos de génesis tectónica. Tesis de Doctorado. ISMM. Facultad de Geología y Minería. Moa, 1988
- ❖ REGALADO. Z (2011) "MEDIDAS CONTRA LA DESERTIFICACIÓN Y LA SEQUÍA EN PINAR DEL RÍO",
- ❖ Standard methods for the examination of water and wastewater. 19 ed. New York: American Public Health Association, 1995
- ❖ 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.
- ❖ RICARDO, TATIANA. Evaluación físico química y bacteriología e impacto ambiental del río Aserrío. Tesis de grado. 2006. ISMM. Moa.
- ❖ 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.
- ❖ TOIRAC SUÁREZ, M. Cálculo de Reservas de las aguas subterráneas en las terrazas del río Moa. Tesis de Diploma. ISMMM. Moa, 1983.

## ANEXOS

### Conceptos Fundamentales

**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.

**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.

**Calidad del agua:** Se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua. Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito. Se utiliza con mayor frecuencia por referencia a un conjunto de normas contra los cuales puede evaluarse el cumplimiento. Los estándares más comunes utilizados para evaluar la calidad del agua se relacionan con la salud de los ecosistemas, seguridad de contacto humano y agua potable.

Existen 2 tipos de muestras que son:

**Muestras simples o puntuales:** Se define como aquella tomada en un momento determinado (puntual) y resulta apropiada para caracterizar la calidad del agua en un momento dado (vigilancia) o proveer valores mínimos o máximos de determinados parámetros (control). Una muestra representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en la que se realizó la captación. Cuando la composición de una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado a lo largo de distancias sustanciales en todas las direcciones, puede decirse que la muestra representa un intervalo de tiempo o un volumen más extenso. En tales circunstancias, un cuerpo de agua puede estar adecuadamente representado por muestras simples, como es el caso de algunas muestras de suministro y aguas superficiales. Es necesario coger los intervalos del

muestreo de acuerdo con la frecuencia esperada en los cambios, que puede variar desde tiempos tan cortos como 5 minutos hasta una hora y más.

**Muestras compuestas:** Se define como, la formada por las mezcla de muestras separadas a espacios periódicos de tiempo, o una porción continua de flujo; que sirven para determinar las concentraciones medias. En la mayoría de los casos, el término de “muestras compuestas” se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. El uso de muestras compuestas representa un ahorro sustancial en costo y esfuerzo en el laboratorio comparativamente con el análisis por separado de un gran número de muestras y consecuentemente cálculo de promedios.

### **Contaminación de las aguas superficiales**

Se define como la contaminación de las aguas como el vertido en ella de productos diversos, de modo que el agua adquiere propiedades toxicas para los seres que en ella habitan, y se convierten 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 biológicos, químicos y físicos.

**Contaminantes Biológicos:** Corresponden a desechos orgánicos, tales como la materia fecal y restos de alimentos. Llegan a estas aguas del río a través de los sistemas de alcantarillados. Tienen la propiedad de fermentar, es decir, se descomponen utilizando el oxígeno disuelto del agua. Los desechos orgánicos de tipo biológicos son biodegradables.

Efectos que puede ocasionar esta contaminación de tipo biológica: cuando el ser humano se alimenta de cultivos regados con estas aguas contaminadas pueden contraer enfermedades de tipo gastrointestinales.

**Contaminantes Químicos:** Son compuestos químicos orgánicos e inorgánicos que llegan al agua proveniente de las actividades domésticas. Están formadas por hidrocarburos derivados del petróleo, aceites, detergentes. No suelen ser biodegradables por lo que permanecen en el agua mucho tiempo después del vertido. Los desechos (basura) los depositamos en el suelo y permanecen mucho

tiempo sin ser recogidos, al mojarse se generan líquidos contaminantes, éstos se filtran al subsuelo afectando la pureza del agua de los mantos acuíferos.

Efectos de la contaminación química: las aguas residuales que contienen sustancias tóxicas químicas, pueden introducirse en la cadena alimentaria y llegar hasta el hombre a través de los alimentos.

**Contaminantes Físicos:** Entre estos contaminantes tenemos el color, la turbidez, las espumas, etc. Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminantes. El aumento de la temperatura disminuye la solubilidad de gases oxígeno y aumenta, en general, la de las sales. Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua.

Hay un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de diferentes maneras. Una posibilidad bastante usada es agruparlos en los siguientes tres grupos:

**Desechos Orgánicos:** Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, corrales de cerdos, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno.

**Compuestos Orgánicos:** Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc., acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.

**Sedimentos y Materiales Suspendidos:** Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los

sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan los ríos.

### **Índice de calidad de agua:**

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

- 1- Manejo del recurso: Pueden proveer información a personas que toman decisiones sobre las prioridades del recurso.
- 2- Clasificación de Áreas: Para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.
- 3- Aplicación de normatividad: Permite determinar si se está sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes.
- 4- Análisis de la tendencia: El análisis de los índices en un periodo de tiempo, pueden mostrar si la calidad ambiental está empeorando o mejorando.
- 5- Información pública: Los índices pueden tener utilidad en acciones de concientización y educación ambiental.
- 6- Investigación Científica: Simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales.

## **Tecnologías para la desinfección del agua**

### **Desinfección física**

Hervido es una práctica segura y tradicional que destruye virus, bacterias, quistes y huevos. Es un método efectivo como tratamiento casero, pero no es factible para abastecimientos públicos; se puede usar el hervido como medida temporal en situaciones de emergencia. Desinfección por ebullición. Una recomendación típica para desinfectar el agua mediante desinfección es la de hacer que el agua hierva vigorosamente por 10 a 12 minutos.

En realidad, un minuto a 100 °C, destruirá la mayoría de los patógenos, incluidos los del cólera y muchos mueren a 70 °C. Las desventajas principales de hervir el agua son las de utilizar combustible y es una labor que consume mucho tiempo.

### **Radiación solar**

Es un método efectivo para aguas claras, pero su efectividad es reducida cuando el agua es turbia o contiene constituyentes tales como el nitrato, sulfato, hierro en su forma ferrosa. Este método no produce ningún residuo el agua contra una nueva contaminación ha sido usados en países en desarrollo. La desinfección solar utiliza la radiación solar para inactivar y destruir a los patógenos que se hallan presentes en el agua. El tratamiento consiste en llenar recipientes transparentes de agua y exponerlos a plena luz solar por unas cinco horas (dos días consecutivos bajo un cielo que está 100% soleado). La desinfección ocurre por una combinación de radiación y tratamiento térmico (la temperatura del agua no necesita subir muy por encima de 50 °C). La desinfección solar requiere agua relativamente clara (turbidez inferior a 30 NTU).

### **La aireación**

Puede lograrse agitando vigorosamente un recipiente lleno de agua hasta la mitad o permitiendo al agua gotear a través de una o más bandejas perforadas que contienen pequeñas piedras. La aireación aumenta el contenido de aire del agua, elimina las sustancias volátiles tales como el sulfuro de hidrógeno, que afectan al olor y el sabor, y oxida el hierro y el manganeso a fin de que formen precipitados que puedan eliminarse mediante sedimentación o filtración.

## **Coagulación y floculación**

Si el agua contiene sólidos en suspensión, la coagulación y la floculación pueden utilizarse para eliminar gran parte del material. En la coagulación, se agrega una sustancia al agua para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión. Hace que las partículas, que anteriormente tendían a repelerse unas de otras, sean atraídas las unas a las otras o hacia el material agregado. La coagulación ocurre durante una mezcla rápida o el proceso de agitación que inmediatamente sigue a la adición del coagulante.

El proceso de floculación que sigue a la coagulación, consiste de ordinario en una agitación suave y lenta. Durante la floculación, las partículas entran más en contacto recíproco, se unen unas a otras para formar partículas mayores que pueden separarse por sedimentación o filtración. El alumbre (sulfato de aluminio) es un coagulante que se utiliza tanto al nivel de familia como en las plantas de tratamiento del agua. Los coagulantes naturales incluyen semillas en polvo del árbol Moringa olífeira y tipos de arcilla tales como la bentonita.

## **Desalinización**

Las sales químicas excesivas en el agua le dan mal sabor. La desalinización mediante destilación produce agua sin sales químicas y pueden utilizarse varios métodos al nivel de familia; por ejemplo, para tratar el agua de mar. La desalinización también es eficaz para eliminar otros productos químicos tales como el fluoruro, el arsénico y el hierro.

## **La filtración**

Incluye el tamizado mecánico, la absorción y la adsorción y, en particular, en filtros de arena lentos, los procesos bioquímicos. Según el tamaño, el tipo y la profundidad del filtro, y la tasa de flujo y las características físicas del agua sin tratar, los filtros pueden extraer los sólidos en suspensión, los patógenos y ciertos productos químicos, sabores y olores. El tamizado y la sedimentación son métodos de tratamiento que preceden.

Útilmente a la filtración para reducir la cantidad de sólidos en suspensión que entran en la fase de filtración. Esto aumenta el período en el cual el filtro puede operar antes

de que necesite limpieza y sustitución. La coagulación y la floculación también son tratamientos útiles antes de la sedimentación y mejoran aún más la eliminación de sólidos antes de la filtración.

### **Almacenamiento y sedimentación**

Al almacenar el agua en condiciones no contaminantes por un día se puede conseguir la eliminación de más del 50% de la mayoría de las bacterias. Los períodos más largos de almacenamiento conducirán a reducciones aún mayores. Durante el almacenamiento, los sólidos en suspensión y algunos de los patógenos se depositarán en el fondo del recipiente. El agua sacada de la parte superior del recipiente será relativamente clara (a menos que los sólidos sean muy pequeños, tales como partículas de arcilla) y tendrá menos patógenos. El sistema de tratamiento de tres ollas en las que se echa agua sin tratar a la primera olla, donde se decanta en la segunda olla después de 24 horas y se echa en la tercera olla después de 24 horas adicionales, aprovecha los beneficios del almacenamiento y la sedimentación.

### **Tamizado**

Echar el agua a través de un paño de algodón limpio eliminará una cierta cantidad de sólidos en suspensión o turbidez. Se han construido telas de filtro de monofilamento especial para uso en las zonas en las que prevalece la enfermedad del nematodo de Guinea. Las telas filtran los copépodos que son los huéspedes intermedios de las larvas del nematodo de Guinea.

### **Desinfección química**

#### **Cloración**

Es el método más ampliamente utilizado para desinfectar el agua. Se empezó a utilizar a inicios del siglo XX; y fue quizás el evento tecnológico más importante en la historia del tratamiento del agua. La fuente de cloro puede ser el hipoclorito de sodio (tal como blanqueador casero o electrolíticamente generado a partir de una solución de sal y agua), la cal clorada o el hipoclorito hiperconcentrado (comprimidos de cloro). El yodo es otro desinfectante químico excelente que se utiliza a veces. El yodo no debería utilizarse por períodos prolongados (más de unas cuantas



semanas). Tanto el cloro como el yodo deben agregarse en cantidades suficientes para destruir todos los patógenos, pero no tanto que el sabor se vea adversamente afectado. Puede ser difícil decidir cuál es la cantidad apropiada debido a que las sustancias en el agua reaccionarán con el desinfectante y la potencia del desinfectante puede reducirse con el tiempo según la forma en que se almacene.



Tabla 2. Resultados de los análisis de metales de las muestras en el sector La Melba

Puntos de muestreo	Cr	Fe	Hg	Ni	Pb	Si	Al	Ba	B	Zn	Cu	Mn	Mo
Presa de Beto	0,03	0,14	0	<u>0,15</u>	0	<u>13,9</u>	0,102	0,05	0,025	0,064	0,02	0,06	0
Presa de Ulises	0,03	0,07	<u>0,012</u>	<u>0,12</u>	0	<u>15</u>	0,128	0,058	0,028	0,053	0,03	0,04	0
Presa de Pedro	0,03	0,13	0	<u>0,09</u>	0	<u>13,1</u>	0,16	0,062	0,037	0,07	0,01	0,028	0
Presa de Isaías	0,01	0,02	<u>0,018</u>	<u>0,06</u>	<u>0,048</u>	<u>14,3</u>	0,077	0,042	0,019	0,049	0	0,022	0,008
Río Jaragua-1	0,02	0,2	0	<u>0,08</u>	<u>0,011</u>	6,43	0,069	0,045	0,014	0,022	0,01	0,009	0,006
Río Jaragua-2	0,02	0,09	0	<u>0,04</u>	0	6,36	0,083	0,036	0,012	0,033	0	0,006	0
Río Jiguaní	0,01	0,08	<u>0,002</u>	<u>0,05</u>	0	6,91	0,075	0,051	0,015	0,031	0	0,004	0
Río Quesigua	0,02	0,03	<u>0,01</u>	<u>0,04</u>	0	9,79	0,051	0,047	0,02	0,05	0	0,013	0
Manantial puente de Jaragua	0,02	0,1	0	<u>0,07</u>	0	<u>10,5</u>	0,054	0,055	0,017	0	0	0,001	0
Río Jiguaní-1	<u>0,06</u>	0,13	<u>0,042</u>	<u>0,06</u>	0	8,23	0,059	0,051	0,032	0,021	0	0,003	0
Río Jiguaní-2	0,02	0,15	<u>0,004</u>	<u>0,06</u>	<u>0,027</u>	8,51	0,045	0,042	0,01	0,008	0	0,014	0
Manantial El Alujado	<u>0,1</u>	0,08	0	<u>0,08</u>	0	6,33	0,052	0,044	0,012	0,008	0	0	0
Manantial La Comadre	0,02	0,73	<u>0,016</u>	<u>0,05</u>	0	7,48	0,064	0,043	0,011	0,016	0	0,003	0
Manantial El Compadre	0,01	0,04	0	<u>0,04</u>	0	7,57	0,055	0,054	0,012	0	0	0	0
Rango normado	0,05	0,3	0,001	0,02	0	10	0,2	0,7	0,3	5	1	0,5	0,07
Norma aplicada	NC <sup>5</sup>	NC <sup>4</sup>	NC <sup>5</sup>	NC <sup>5</sup>	NC <sup>5</sup>	CEE <sup>2</sup>	NC <sup>4</sup>	NC <sup>5</sup>	OMS <sup>3</sup>	NC <sup>4</sup>	NC <sup>5</sup>	NC <sup>5</sup>	OMS <sup>3</sup>
Unidad medida	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L



Tabla 2.1 Análisis estadístico de los resultados de los análisis de metales

	Cr	Fe	Hg	Ni	Pb	Si	Al	Ba	B	Zn	Cu	Mn	Mo
N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Min	0,01	0,02	0	0,02	0	6,33	0,045	0,036	0,01	0	0	0	0
Max	0,1	0,73	0,042	0,15	0,048	15	0,2	0,7	0,3	5	1	0,5	0,07
Mean	0,03	0,153	0,007	0,0673	0,0057	9,627	0,085	0,092	0,0376	0,362	0,071	0,047	0,0056
Std.error	0,0062	0,045	0,003	0,0086	0,0036	0,796	0,012	0,043	0,0189	0,331	0,066	0,033	0,0046
Variance	0,0006	0,031	0,0001	0,0011	0,0002	9,51	0,002	0,028	0,0053	1,647	0,066	0,016	0,0003
Stand. Dev	0,0239	0,175	0,0116	0,0335	0,0138	3,084	0,045	0,168	0,0731	1,283	0,257	0,127	0,018



Tabla 1. Resultados de los análisis físico- químicos de las muestras estudiadas en el sector La Melba

Puntos de muestreo	pH	Turb	STD	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	P	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Presa de Beto	7,37	<u>38</u>	120	14,13	9,22	0,2	7,73	0,25	1,35	<u>0,67</u>
Presa de Ulises	7,84	<u>70</u>	144	13,04	8,86	0,23	8,37	0,4	1,87	0
Presa de Pedro	8	-	106	20,95	8,15	0,21	10,34	0,31	1,83	0
Río Jaragua-1	8,07	<u>120</u>	32	2,2	7,8	0,16	10,84	0,12	0,63	0
Presa Mini Hidroeléctrica	7,92	-	34	1,9	6,73	0,18	9,72	0,12	0,58	0
Río Jaragua-2	7,84	<u>8</u>	96	1,74	7,09	0,19	10,56	0,07	0,56	0
Manantial puente de Jaragua	8,13	<u>11</u>	98	5,98	7,8	0,2	15,95	0,17	0,75	0
Río Jiguaní-1	7,94	0	88	3,82	7,09	0,22	13,33	0,11	0,65	<u>0,03</u>
Río Jiguaní-2	7,69	<u>7</u>	134	4,49	7,8	0,18	12,88	0,13	0,71	<u>0,03</u>
Presa de Isaías	7,74	<u>6</u>	102	14,39	7,44	0,21	11,81	0,18	1,36	0
Manantial El Alujado	7,66	<u>17</u>	73	2,44	7,8	0,28	9,7	0,11	0,62	<u>0,14</u>
Manantial La Comadre	7,75	<u>18</u>	90	1,31	7,8	0,18	11,56	0,08	0,58	<u>0,3</u>
Manantial El Compadre	8,13	<u>7</u>	84	1,8	8,15	0,19	11,74	0,08	0,6	0
Río Jiguaní	7,64	-	66	2,78	8,15	0,21	7,95	0,08	0,63	0,04
Río Quesigua	8,05	5	112	3,29	7,8	0,16	11,8	0,11	0,68	<u>0,03</u>
Rango normado	6,5-8,5	NC <sup>4</sup>	1000	200	250	5	150	12	200	0,02
Norma aplicada	NC <sup>4</sup>	NTU	NC <sup>4</sup>	NC <sup>4</sup>	NC <sup>4</sup>	CEE <sup>2</sup>	NC <sup>4</sup>	CEE <sup>2</sup>	NC <sup>4</sup>	NC <sup>5</sup>
Unidad medida	-		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L



Tabla 1.1. Análisis estadístico de las propiedades físicas y elementos mayoritarios.

	<b>pH</b>	<b>Turbidez</b>	<b>STD</b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>P</b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>
N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Min	7,37	0,02	32	1,31	6,73	0,16	7,73	0,07	0,56	0
Max	8,13	0,73	144	20,95	9,22	0,28	15,95	0,4	1,87	0,67
Mean	7,8513	0,153	91,9	6,284	7,845	0,2	10,95	0,155	0,89	0,08
Std. error	0,0552	0,045	8,19	1,596	0,166	0,01	0,563	0,025	0,12	0,05
Variance	0,0457	0,031	1006	38,2	0,411	0	4,749	0,009	0,22	0,03



Tabla 3. Normas utilizadas para la interpretación de los resultados.

<u>Elementos</u>	<u>Unidades</u>	<u>Cuba(287/2012)</u>	<u>OMS</u>
Sólidos totales	mg. / l	1 000	1 500
pH-		8,5	9,5
Dureza total	mg. / l	400	-
Ca	mg. / l	200	-
Cl	mg. / l	250	600
Cu	mg. / l	1,0	1,5
Mg	mg. / l	150	-
Mn	mg. / l	0,1	0,5
SO4	mg. / l	400	400
Zn	mg. / l	1,5	15,0
Na	mg. / l	200	-
Ag	mg. / l	0,05	-
Ni	mg. / l	0,02	-
Al	mg. / l	0,2	-
As	mg. / l	0,05	-
Cd	mg. / l	0,05	0,01
Cn	mg. / l	0,05	-
Hg	mg. / l	0,001	-
Pb	mg. / l	0,05	0,05
Sc	mg. / l	0,001	-
Ba	mg. / l	0,03	-
Cr	mg. / l	0,05	-
Be	mg. / l	0,0002	-
Mo	mg. / l	0,5	-
Co	mg. / l	1,0	-
Sr	mg. / l	2,0	-
NH4	mg. / l	0,4	-
NO3	mg. / l	45,0	-
NO2	mg. / l	0,0	-

