



**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR.
Instituto Superior Minero Metalúrgico.**

Facultad de Geología y Minería.
Departamento de Geología.

TITULO: Evaluación de la calidad natural de las fuentes de abasto de agua a los asentamientos rurales del municipio Moa.



AUTORES:

Dixan Serret Hernández.
Carlos Manuel Suárez Cala.

TUTORA:

MsC. Amparo Velázquez Velázquez.

“Año del XXXX aniversario de la decisión de Patria o Muerte”.

Moa – 2000.

INTRODUCCION.

El agua forma parte del origen y desarrollo de las actividades humanas representando un elemento fundamental para su sostenimiento. De forma tal, que allí donde se torna escasa la vida llega a hacerse inviable, lo que está condicionado por el incremento constante de la población, que junto a un mayor nivel de bienestar generan demandas crecientes en cuanto a recursos de agua se refiere.

La calidad natural de las aguas queda establecida por su fondo hidroquímico y el conocimiento de los efectos negativos que puedan generar cada uno de los elementos contenidos o todos ellos en su conjunto, aspectos que permiten valorar las posibilidades de su utilización, definiéndolas en correspondencia a las normas y límites estudiados para su uso, fundamentalmente como aguas de consumo humano.

Producto de la impedirosa necesidad del conocimiento acerca del nivel de potabilidad que presentan las diferentes fuentes de abasto de agua, lo que está en estrecha vinculación con los parámetros físico – químicos y bacteriológicos, nos dimos a la tarea de llevar a cabo una investigación a fondo con respecto al estado real de las mismas tomando en consideración la aparición e incremento de enfermedades parasitarias severas en la población rural, principalmente en los niños.

Para la confección de la presente tesis de grado, nos hemos basado en la evaluación y caracterización físico – química de las fuentes de abasto de agua a los asentamientos rurales de Yamanigüey, Cañete, Cupey, Cayo Grande de Yamanigüey, Quemado del Negro, Jucaral, Centeno y Cayo Chiquito, determinándose las concentraciones de los macro y micro elementos más comunes, lo que permite clasificar las aguas de acuerdo a las metodologías y normas vigentes en nuestro país, en el resto del mundo y valorar sus posibles usos.

La población del municipio aboga por un agua de mejor calidad y condiciones, lo que implica un alto nivel de responsabilidad a la hora de realizar estudios de esta índole. Esta investigación no solamente tiene interés científico, sino que es la base

para trabajos que con posterioridad darán a conocer a la población y al resto de las entidades una panorámica de la calidad del agua que se consume, la localización de los focos contaminantes que tienen incidencia en su deterioro y el planteamiento de medidas correctivas y de prevención que posibiliten minimizar o eliminar al máximo las afectaciones existentes.

CARACTERISTICAS FISICO – GEOGRAFICAS Y ECONOMICAS DEL AREA DE ESTUDIO.

I. 1 SITUACION GEOGRAFICA.

La región de estudio se encuentra enmarcada dentro del municipio Moa, el cual se ubica hacia el noreste de la provincia Holguín, limitando al norte con el océano Atlántico, al sur con el municipio de Yateras, por el este con el municipio de Baracoa y al oeste con los municipios de Sagua de Tánamo y Frank País. La misma abarca un área de 465 Km² y según el sistema de Lambert, se localiza entre las coordenadas:

X: 680 000 – 719 000

Y: 207 000 – 229 000

I. 2 CLIMA.

El clima es tropical, este se ve influenciado por la orografía. Las barreras montañosas del grupo Sagua – Baracoa sirven de pantalla a los alisios del noreste, los cuales hacen descargas de abundantes lluvias en la parte norte del municipio.

I. 2. 1 PRECIPITACIONES ATMOSFERICAS.

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

Según los datos obtenidos por los pluviómetros ubicados en los límites de la cuenca del río Moa, se conoce que el promedio de precipitación anual para la misma es de 360.99 mm y la media mensual es de 146.70 mm, correspondiente los períodos más lluviosos a noviembre, octubre y mayo con 234.90 y 147.40 mm respectivamente.

I. 2. 2 VIENTOS.

El régimen de este factor meteorológico en la región esta conformado por vientos de moderada intensidad, casi todo el año soplan los vientos alisios provenientes de la periferia del anticiclón subtropical oceánico de Los Azores - Bermudas, provocando que el mismo en superficie tenga una dirección noreste – este fundamentalmente. La distribución frecuencial anual de la dirección e intensidad del viento durante el año muestra que la sur es la más notable, con un 37.41 %, seguido de los vientos de sentido norte - este con 32.52 %, mientras que el resto de las direcciones poseen una frecuencia inferior al 10 %, siendo la dirección oeste la de menor ocurrencia, con un 0.41 %. La velocidad mínima posible del viento para un período de 50 años es igual a 43 m/seg para el sector marítimo mientras que para el costero se reduce y no alcanza los 20 m/seg.

I. 2. 3 TEMPERATURA DEL AIRE.

La temperatura del aire media anual es aproximadamente 27 °C, en el verano se alcanzan valores de 30 °C hasta 32 °C y en el invierno de 22 °C a 26 °C.

I. 2. 4 HUMEDAD RELATIVA.

La humedad relativa de la zona es alta debido a la exposición marítima del territorio, influyendo en este aspecto las precipitaciones, las que son abundantes todo el año. Los meses que poseen los mayores valores se ubican de noviembre - abril, alcanzándose las máximas de diciembre a enero, lo cual se debe al ascenso orográfico o forzado del viento que favorece las altas precipitaciones al inicio y final del período de transición verano - invierno.

I. 2. 5 PRESION ATMOSFERICA.

Durante el invierno se producen las más altas presiones, disminuyendo estas hasta alcanzar las mínimas en los meses de mayo a octubre. La presión media anual es de 1017.3 hP, siendo la media máxima mensual de 1022.2 hP en el mes de septiembre.

I. 3 HIDROGRAFIA.

La abundancia de precipitaciones, las cuales ocurren prácticamente durante todo el año conjugado con las características del relieve y del clima, favorecen la existencia de una red hidrográfica que corre de sur a norte. La misma es de tipo dendrítica, pudiéndose observar sin embargo algunos casos correspondientes a una red del tipo subparalela.

La región cuenta con una red hidrográfica bien desarrollada representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se destacan de este a oeste: Yamanigüey, El Medio, Semillero, Quesigua, Cayo Guam, Punta Gorda, Yagrumaje, Moa, Cabañas y Aserrío, los cuales son de carácter permanente, drenando en el mismo sentido que presenta la red. Estos ríos desembocan en el océano Atlántico formando deltas cubiertos de mangles, apreciándose en los mismos una zona de erosión y otra de acumulación.

Ellos forman terrazas al llegar a la zona de pie de monte y presentan no pocos meandros, sus orillas son abruptas y erosionadas en la zona montañosa mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas. Son alimentados por las precipitaciones atmosféricas teniendo como origen las zonas montañosas del grupo Sagua - Baracoa. Generalmente sobrepasan los 1.5 m/s de velocidad y los gastos oscilan entre 100 y 200 L/s.

Podemos decir que el nivel de los ríos cambia en dependencia de las precipitaciones, los niveles más bajos se observan en el período de seca, correspondiente a los meses de julio a septiembre y los más elevados en la época de lluvia, la cual está comprendida de octubre a enero.

Producto de que los ríos anteriormente mencionados conforman las reservas naturales del municipio, además de constituir las principales fuentes de abasto de los asentamientos poblacionales que han sido objeto de investigación en nuestro

trabajo, creemos necesario como autores de esta investigación, dar una breve reseña de sus características generales.

❖ **Río Cayo Guam.**

Tiene su origen en la cota 820 m y desemboca en el océano Atlántico, presenta un área de alimentación de 57.71 Km². Su principal fuente de alimentación son las precipitaciones atmosféricas; en la temporada de seca los gastos medios son de 1 a 3 m³/seg. y en la de lluvia se han manejado valores que pueden llegar hasta 4 m³/seg.

❖ **Río Quesigua.**

Su origen difiere del anterior, este se encuentra ubicado en la cota 420 m, desemboca en el océano Atlántico, el área de alimentación alcanza los 26.7 Km². En época de seca los gastos medios son de 0.5 a 1 m³/seg., experimentando en tiempo de lluvia una ligera variación, presentando además gastos que oscilan entre 1 - 2 m³/seg. en algunas ocasiones.

❖ **Río Yagrumaje.**

Situado al suroeste del yacimiento Punta Gorda, su formación parte de la cota 620 m, desembocando en el Océano Atlántico. Forma barrancos casi verticales, su longitud es de 11 Km., presentando una cuenca con un área de aproximadamente 12 Km²; el mismo tiene un gasto de 0.2 m³/seg.

❖ **Río Moa.**

Tiene su origen a mayor altura, correspondiéndose con la cota 950 m, desemboca en la bahía de Moa, presenta 21 Km. de extensión y corre en dirección noroeste - noreste. Este se alimenta de los ríos Cabaña, Los Lirios, además de arroyos y cañadas que provienen de regiones montañosas. Al llegar a la zona de pie de monte puede constatarse la formación de terrazas, sus orillas son abruptas y de erosión en las partes montañosas, mientras que en las partes bajas, que coinciden con las zonas de terrazas, son llanas y acumulativas; cabe destacar que su cauce ha experimentado la formación de numerosos meandros.

Su principal fuente de alimentación son las precipitaciones atmosféricas, siendo las velocidades del caudal en período de seca de 4 m³/seg., aumentando considerablemente en la estación de lluvia, alcanzando valores de hasta 20 m³/seg.

❖ **Río Cabaña.**

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

❖ **Río Los Lirios.**

Tiene su origen en la cota 380m, constituye una fuente de alimentación del río Moa, siendo su valle estrecho con la presencia de pendientes suaves. Suele tener por lo general un gasto de 0.14 m³/seg.

I. 4 PARTICULARIDADES GEOMORFOLOGICAS.

El conocimiento más avanzado que se tiene acerca de este tópico es el aportado por el trabajo de la Dra. C Alina Rodríguez (14). Hace referencia a que el relieve del municipio Moa y las áreas adyacentes se relacionan genéticamente a zonas de Horst y bloques correspondientes a cuerpos de rocas ultrabásicas en la etapa neotectónica, presentes a lo largo de dislocaciones antiguas y rupturas recientes, que pueden presentar un alto o bajo grado de disección.

A raíz del desarrollo de su investigación, para el relieve del territorio se consideró el predominio de dos formas fundamentales, las cuales son explicadas en detalle a continuación.

Primeramente se plantea la existencia de un *relieve de llanura*, el cual se desarrolla en toda la parte norte del área, ocupando toda la zona comprendida desde la barrera arrecifal, específicamente hacia la parte más septentrional, la cual alcanza cotas de aproximadamente 100 - 110 m de altura hacia el sur. Este

tipo de relieve, según la hipótesis planteada, debe su formación a la relación que existe con la acción de diferentes procesos morfogénicos que en ella han actuado, predominando los procesos fluviales y marinos. Las llanuras acumulativas marinas ocupan el área comprendida entre la barrera coralina y el litoral como ocurre en el extremo noreste de Cayo Moa Grande, Punta de río Moa, Quemado del Negro, Punta de Mangle y Punta Guarico de Yamanigüey.

Los sedimentos que se acumulan proceden de la erosión de las cortezas lateríticas, transportados por los ríos que desembocan en la zona, principalmente el río Moa, cuya cuenca es la de mayor extensión y atraviesa extensas zonas descubiertas de vegetación.

Las llanuras fluviales se clasifican en acumulativas y abrasivo – acumulativas, lo cual depende del proceso que prime en su morfogénesis.

Las primeras son localizadas fundamentalmente en toda la franja norte del área, comprendidas entre la línea litoral hasta los 100 – 110 m de altura hacia el sur, teniendo como ejemplos típicos los causes inferiores y desembocaduras de los ríos Moa, Cayo Guam, Yamanigüey y Quesigua. Por su parte, las llanuras fluviales abrasivo – acumulativas se localizan en el valle del río Cabaña, así como en la zona comprendida entre Quesigua y Cupey. Los sedimentos que se acumulan en estas llanuras son de origen fluvial, su deposición es generalmente de carácter temporal y son desplazados con frecuencia en períodos de crecidas. Toda la zona de relieve de llanura de edad cuaternario, no ha estado exenta de la acción de los procesos tectónicos.

La otra forma propuesta fue el *relieve de montaña*, siendo este el más extendido dentro del área. Es de destacar que los valores morfométricos así como la configuración de las elevaciones son extremadamente variables, lo cual está en correspondencia con las características litológicas y el agrietamiento de las rocas sobre las cuales se desarrollan así como el nivel isométrico que ocupan. Teniendo en cuenta estos parámetros el relieve de montaña fue clasificado en cuatro subtipos.

- Premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas.
- Submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas.
- Montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas.
- Montañas bajas diseccionadas.

En las rocas que componen el complejo ultramáfico, específicamente en el área comprendida entre las cuencas de los ríos Moa y Calentura, en la sección noreste y del curso superior del río Jiguaní, en la parte más elevada del peniplano antiguo y en las mayores elevaciones de las cuchillas de Moa, que presentan alturas comprendidas entre los 700 y 1200 m sobre el nivel del mar, pueden encontrarse dolinas, sumideros, karrens, además de otras formas cársticas típicas de la zona presentando estructuras columnares y piramidales de extremos afilados con cuellos erosionados. Es muy frecuente dentro del territorio encontrar la formación de barrancos en la parte alta y media de los ríos que atraviesan el complejo ofiolítico y que tienen un fuerte control estructural.

Estos barrancos alcanzan su mayor expresión en la parte centro - meridional y llegan a desarrollar pendientes de hasta 45° y alturas de hasta 240 m, lo cual hace susceptibles estos sectores al deslizamiento y arrastre de suelo. Existen otras dos formas del paisaje que a pesar de presentar origen antrópico son tratadas en este epígrafe porque constituyen una preocupación constante para el hombre ante el peligro latente de las consecuencias que ellas pueden acarrear al medio ambiente. Estas son las áreas minadas, específicamente las escombreras, las que adquieren un acelerado desarrollo debido al desarrollo de la explotación niquelífera, constituyen sectores preconcebidos y descubiertos, los cuales aumentan de manera considerable la formación de cárcavas, intensifican el arrastre de suelos con la evidente ruptura del equilibrio fluvial y la acumulación anómala de sedimentos. La otra forma se refiere a las presas de colas que son características del paisaje del municipio, las que deterioran paulatinamente el medio físico.

Actualmente, 20 Km. de la superficie del territorio de Moa se encuentra afectado por estos fenómenos, no tomando en consideración las áreas desprovistas para

finos constructivos. Estas formas de paisaje además de alterar morfológicamente la superficie, constituyen sectores en los cuales la cobertura vegetal desaparece, lo que rompe con la continuidad del ciclo hidrológico fundamentalmente, además de todos los daños que acarrea al sector social en general.

I. 5 VEGETACION.

En la región se desarrollan siete formaciones vegetales naturales que ocupan alrededor del 90 % del área de estudio, entre las cuales podemos destacar el bosque tropical ombrofilo submontano, bosque tropical ambrofilode de árboles latifolios y aciculifolios, bosque tropical ambrofilo aluvial, sempeavirente tropical xeromorfo espinoso, matorral tropical xenomorfo subespinoso, entre otros.

I. 6 FLORA Y FAUNA.

❖ Fauna.

La fauna del municipio es rica y diversa, presentándose heterogeneidad y abundancia de especies raras con características peculiares desde las pequeñas Microrrisas hasta el Cocosí, además de poder contar con la vistosa Cotorra, la Cartacuba, el Ruiseñor, el Catey, el Zunzún, el Murciélago, el Colibrí, entre otros que corresponden a los grupos característicos de muchos bosques de nuestro país.

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

❖ Flora.

En el municipio de Moa tenemos una situación particular, siendo la vegetación del mismo muy característica y particular, a continuación procederemos a dar una explicación mas detallada. Los suelos sobre los cuales yace la flora son generados a partir de rocas ultrabásicas serpentinizadas, correspondientes al grupo de las rocas ígneas, los mismos presentan altos contenidos de níquel, cobalto, hierro entre otros metales pesados apareciendo también elevadas concentraciones de magnesio, mientras que existe un déficit de calcio, por lo que a evolucionado una flora muy típica que comprende el 33 % de todos los endemismos cubanos, en la cual podemos encontrar pinares, pluvisilvas charrasco y bosques de galerías. La vegetación que estos suelos sustentan se mantiene por la elevada humedad y por los mecanismos de conservación de los nutrientes que los mismos han desarrollados, predominando el *pinus cubensis* y plantas latifodias, ellas endémicas de la región. Debe destacarse que los pinares presentan hojas en forma de agujas con alturas que oscilan entre 20 y 30 m, con una cobertura que constituye entre el 80 y el 90 % de la superficie. Entre los principales exponentes presentes en la región, incluimos los siguientes.

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

Esta es la vegetación más importante y explotada económicamente, es muy valiosa en la biodiversidad y la ecología por constituir una flora generadora de suelo. Además se pueden observar ejemplares del bosque de pluvisilvas, típico de selvas lluviosas, es una formación vegetal de constitución vigorosa que puede alcanzar hasta 40 m de altura, se implanta sobre cortezas lateríticas. A continuación destacamos estas especies.

- *Carapas Guianesis* (Najesí).
- *Manilkara Albescens* (Acana).
- *Hibiscus Elactus* (Majagua Azul).
- *Calphillum Utole* (Ocuje Colorado).
- *Ocatea Cuneata* (Canelón).
- *Hipholis Jubilla* (Jubilla).
- *Hidymopanax Morototoni* (Yagruma Macho).
- *Cyathea Arbórea* (Helecho Arborescente).

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

I.7 CARACTERISTICAS SOCIOECONOMICAS.

Económicamente la región se encuentra dentro de las más desarrolladas en el país desde el punto de vista industrial, debido a que cuenta con las plantas procesadoras de níquel Comandante Pedro Soto Alba y Ernesto Che Guevara respectivamente que impulsan el desarrollo de la rama minero - metalúrgica. Además existen otras entidades tales como: La Empresa Mecánica del Níquel, Las Camariocas (actualmente en construcción), la Empresa Constructora y Reparadora de Industrias del Níquel (ECRIN) y el Centro de Proyecto del Níquel (CEPRONIQUEL), todas en apoyo al desarrollo de este renglón económico.

En esta región existen yacimientos de cromo refractarios, clasificados como los mayores de su tipo en el territorio nacional, los cuales se encuentran distribuidos en las cuencas de los ríos Cayo Guam y Yamanigüey respectivamente, donde una parte del mineral extraído se procesa en la plata de beneficio de Cayo Guam. Los gabros y ultrabasitas, típicos del complejo ofiolítico, pueden ser empleados como áridos en la industria de Materiales de la Construcción. En Cayo Moa Grande se encuentra una barrera de arrecifes cuyos corales son extraídos y utilizados como materia prima en el proceso tecnológico de la planta Comandante Pedro Soto

Alba. Además existen otras empresas de las cuales depende la economía de la región como son: Empresa geólogo – minera, la EMA y diferentes instalaciones de apoyo social, entre las cuales están enmarcadas la Presa de Nuevo Mundo, el Tejar, el Combinado Lácteo, entre otras. Al sur del área se desarrolla la ganadería y se lleva a cabo la explotación de recursos forestales que son abundantes en la zona, siendo un eslabón importante para la economía de nuestro país. La población ha crecido considerablemente alcanzando valores de aproximadamente 76 000 habitantes; cuenta con dos hospitales, dos hoteles, instituciones para la enseñanza primaria, media y universitaria, un aeropuerto nacional, terminal de ómnibus y un puerto para el embarque de los productos obtenidos en las empresas de níquel y las plantas beneficiadoras de cromo.

I. 8 VIAS DE COMUNICACION.

Actualmente contamos en el municipio con las vías de comunicación necesarias para el desarrollo del mismo. Fundamentalmente se destaca la carretera que une los municipios de Sagua de Tánamo, Moa y Baracoa, con su consiguiente extensa red de carreteras y caminos aledaños.

Se disfruta de los servicios de un aeropuerto nacional, mediante el cual se puede acudir rápidamente a diferentes provincias de nuestro país entre las que se encuentran Santiago de Cuba, Holguín, Bayamo, Baracoa, Ciudad de la Habana, entre otras.

Se ha desarrollado la actividad marítima, esto se debe a que el municipio cuenta con un puerto habilitado a tales efectos, que permite exportar e importar el mineral procesado, así como introducir la materia prima necesaria para la rama minero – metalúrgica que es la que se desarrolla con más perspectiva.

Además en Moa se implementó una novedosa red telefónica y una estación postal telegráfica que asegura la rápida comunicación con las demás provincias del país y con el extranjero.

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS E HIDROGEOLOGICAS REGIONALES Y DEL AREA DE ESTUDIO.

II. 1 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS REGIONALES.

Para conformar todo trabajo investigativo referente a nuestra especialidad, el contexto geológico regional y del área en particular de los trabajos que van a ser desarrollados con posterioridad es un apoyo vital, debido a que este repercute de forma directa en la obtención e interpretación de los resultados. Por esto creemos necesario abordar acerca de este tópico para que se tenga una visión más amplia de los procesos y fenómenos que han tenido y están teniendo lugar, lo cual incide evidentemente en el marco hidrogeológico que es el objetivo fundamental de nuestro trabajo.

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

El Dr. C Quintas Caballero en su tesis doctoral (13), desarrolla una clasificación geológica de carácter regional la cual incluye en esencia ocho asociaciones estructuro – formacionales, de las cuales haremos referencia solamente a seis de ellas, debido a que estas son las que forman parte de nuestro sector de estudio, las cuales mencionamos a continuación.

- Arco insular volcánico del cretácico.
- Asociación ofiolítica.
- Cuencas superpuestas de primera generación.
- Arco insular volcánico del paleógeno.
- Cuencas superpuestas de segunda generación.
- Neoplataforma.

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

En 1996, Iturralde Vinent reconoce en la constitución geológica del archipiélago cubano dos elementos estructurales principales: el cinturón plegado y el neoaútóctono.

El cinturón plegado, según el autor, está constituido por terrenos oceánicos continentales deformados y metamorfizados de edad correspondiente al pre - eoceno medio, que ocupan en la actualidad una posición muy diferente a la original, representando las unidades geológicas que lo integran grandes entidades paleogeográficas que marcaron la evolución del Caribe noroccidental. El autor divide al cinturón plegado en unidades continentales y unidades oceánicas.

En Cuba oriental las unidades continentales están representadas por el terreno Asunción compuesto por dos unidades litoestratigráficas bien diferenciadas, las formaciones Sierra Verde y Asunción, constituidas por materiales metaterrígenos y metacarbonatados respectivamente, del jurásico superior al cretácico inferior, las cuales no aparecen representadas en el área de esta investigación.

Las unidades oceánicas están constituidas por las ofiolitas septentrionales, las rocas del arco de islas volcánico del cretácico, denominado como paleoarco, las secuencias de la cuenca de piggy back del campaniano tardío al daniano, el arco de islas volcánico del paleógeno y las rocas de la cuenca de piggy back del eoceno medio al oligoceno. El neoaútóctono está constituido por materiales terrígenos carbonatados poco deformados del eoceno superior tardío al cuaternario que cubren discordantemente las rocas del cinturón. Seguidamente daremos una descripción más detallada acerca de las diferentes asociaciones estructuro – formacionales que se desarrollan en el área.

❖ ***AEF del arco insular volcánico del Cretácico.***

Un aspecto de marcada importancia acerca de geología de la región es el amplio desarrollo de las secuencias volcánicas y vulcanógeno – sedimentarias del cretácico inferior pre - aptiano al cretácico superior indiferenciado, probablemente

pre - coniaciano. Estas secuencias se componen por tobas de diferentes tipos, basaltos, basalto – andesitas y otras rocas. La misma está bien representada por la formación Santo Domingo.

✓ *Formación Santo Domingo.*

Como única representante del arco volcánico cretácico en el área, está constituida por tobas, lavas y aglomerados, apareciendo pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Además, se incluyen en esta formación las calizas pizarrosas finamente estratificadas y muy plegadas de color grisáceo. Las tobas ocupan algo más del 50 % de la formación apareciendo en la parte superior preferentemente, siendo comunes las variedades vitroclásticas y cristalovitroclásticas. Las lavas aparecen en ocasiones con texturas amigdaloidales, predominando las variedades porfidíticas, yaciendo en forma de mantos interestratificados casi concordantes con las tobas. A menudo, junto con las lavas se observan aglomerados de composición intermedia, ubicándolos en un rango que van desde dacíticos hasta andesíticos, los cuales se encuentran muy alterados. Se le asignan una edad correspondiente al cretácico aptiano hasta el turoniano. Aflora en la región de Farallones y Calentura, juntamente con un área restringida en la región de Centeno.

❖ ***AEF del complejo ofiolítico.***

Las rocas que predominan en la asociación ofiolítica son ultramáficas, las que aparecen serpentinizadas en mayor o menor grado, asociadas a gabros, diabasas y basaltos, que en su conjunto forman la asociación ofiolítica.

Los contactos observados con las estructuras circundantes son tectónicos. Estas estructuras son complicadas debido al clásico emplazamiento que presentan, estando afectadas por dislocaciones plicativas y disyuntivas.

En Cuba, así como en el resto del mundo las ofiolitas constituyen parte de la corteza oceánica y participan en el emplazamiento de las rocas ultramáficas en estado frío, conocido en la literatura como protucción. Los complejos que mencionaremos a continuación son representativos de las secuencias pertenecientes a la asociación ofiolítica.

- Complejo ultramáfico.
- Complejo máfico cumulativo.
- Complejo de diques paralelos o de diabasas.
- Complejo efusivo.

El complejo ultramáfico es de composición heterogénea, con evidente predominio de las harzburgitas y en menor cantidad lherzolitas y piroxenitas.

Por su parte, el complejo máfico cumulativo está representado de abajo hacia arriba por troctolitas, gabros olivínicos, noritas, anortositas, y gabros normales de diferentes granulometrías. Los cuerpos de gabroides presentan estructuras en forma de grandes bloques, aunque la mayoría de los cuerpos están incluidos en el complejo ultramáfico. En el complejo Moa – Baracoa están representados dos tipos de gabros que se ubican hacia la parte superior, los cuales son del tipo bandeados y masivos, a los que se asocian cromitas y otros tipos de mineralizaciones dispersas.

El complejo de diques paralelos no aparece como se define clásicamente en formas de diques, lo cual se debe a su relación con la complejidad tectónica de la región. Las diabasas aparecen generalmente en formas de bloques tectónicos incluidos en los gabroides, sobre todo en la parte inferior del complejo cumulativo.

❖ ***AEF de las cuencas superpuestas de primera generación.***

La región está constituida exclusivamente por secuencias sedimentarias, representadas por la formación Mícara a la cual se le atribuye una edad comprendida entre el cretácico superior campaneano (parte alta) al paleoceno inferior daniano. La Picota es otra de las formaciones representativas de estas secuencias, la cual es de edad cretácico superior maestrichtiano juntamente con la formación Gran Tierra, la cual es exclusivamente del daniano.

✓ *Formación Mícara.*

Está compuesta de facies terrígenas y terrígenas carbonatadas con edad del maestrichtiano al daniano. La secuencia inferior es de tipo molásica y la superior es de tipo flysch. El límite inferior no se ha observado, pero se supone discordante sobre la formación Santo Domingo.

En la zona de Cananova, Quintas reportó esta formación compuesta por areniscas de granos medios, presentando intercalaciones olistostrómicas compuestas de areniscas y gravelitas, con bloques de diversos tamaños de rocas ígneas básicas. El área de afloramiento se corresponde con la zona de los Indios de Cananova y el borde suroeste del cerro Miraflores.

✓ *Formación La Picota.*

Presenta una composición muy variable en cortas distancias, a veces con apariencia brechosa y en ocasiones conglomerática, presentando en proporciones variables la matriz y el cemento, este último carbonatado. Existen dudas en algunas regiones donde afloran brechas muy cataclastizadas formando parte de los melanges. No se tiene información acerca del origen de esta formación y se pone en duda la posibilidad de que estas constituyan brechas tectónicas.

De acuerdo con las características de esta formación se estima que la misma se acumuló a finales del cretácico e incluso en el paleoceno inicial, asociada al emplazamiento de las ofiolitas, que constituyeron su principal fuente de suministro. Aflora en la base de la Sierra de Maquey y en la meseta de Caimanes y está difundida hacia los flancos meridionales de las Sierra de Nipe y Cristal en la cuenca de Sagua de Tánamo.

✓ *Formación Gran Tierra.*

Es una secuencia terrígena – carbonatada que aflora en los flancos meridionales de la Sierra de Nipe y Cristal, constituyendo en Cuba oriental un límite concordante entre el cretácico y el terciario. En las rocas arcillosas y margosas de esta formación se han registrado los primeros vestigios del vulcanismo paleogénico en forma de tobas.

❖ AEF del arco volcánico del Paleógeno.

En resumen, la misma está representada en los flancos meridional y septentrional de la Sierra Cristal, así como en la cuenca Sagua de Tánamo y en otras áreas fundamentalmente por la formación Sabaneta.

✓ Formación Sabaneta.

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

En los Indios de Cananova, hacia la base de la formación se intercalan areniscas de granos gruesos y algunas brechas, donde fueron encontrados fósiles que indican una edad comprendida desde el paleoceno al daniano. Aflora en un área extensa de la región de Cananova hasta Farallones y además aparece en un pequeño bloque localizado en Yamanigüey.

❖ AEF de las cuencas superpuestas de segunda generación.

Está representada por las formaciones sedimentarias Charco Redondo, Puerto de Boniato, San Luis, Maquey, Capiro y Sagua de Tánamo. Las dos primeras formaciones son esencialmente carbonatadas, estando constituidas por calizas del eoceno medio, mientras que las restantes son clásticas con alguna presencia de sedimentos carbonatados, predominando en ellas los conglomerados, areniscas y margas.

✓ Formación Sierra de Capiro.

Está representada por areniscas, aleurolitas y margas bien estratificadas con intercalaciones de conglomerados finos compuestos por cantos de serpentinitas, calizas y cristaloclastos de piroxenos y cuarzo. Hacia la base de la formación se localizan olistostromas de bloques de serpentinitas muy alteradas y diabasas. En muchos lugares se observa una clara gradación de conglomerados y areniscas. Los olistolitos de calizas órgano - detríticas contienen fragmentos de serpentinitas, cuarzo y hematita. Se le asigna una edad perteneciente al eoceno superior. Aflora en la región de Yamanigüey formando una franja a lo largo de toda la costa.

❖ AEF de Neoplataforma.

Por último, esta asociación se encuentra constituida por secuencias sedimentarias donde predominan las rocas carbonatadas sobre rocas terrígenas, depositadas bajo un régimen de plataforma continental, apareciendo representada en la región por las formaciones Júcaro y Majimiana, las cuales yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado. Estructuralmente estas secuencias se caracterizan por presentar yacencia monoclinas, indistintamente suave y horizontal, con algunas perturbaciones en las zonas donde existen dislocaciones recientes.

✓ Formación Júcaro.

Está constituida por calizas margosas poco consolidadas y en ocasiones por margas de edad oligoceno al mioceno. Además de otros componentes carbonatados con material clástico subordinado, predominando en ella diferentes variedades de calizas, entre las que se destacan las masivas, biogénicas, organodetríticas y arcillosas. Aflora a través de toda la costa en la región de Cananova y Yamanigüey.

✓ Formación Majimiana.

Se compone de calizas organodetríticas típicas de complejos arrecifales y bancos carbonatados con intercalaciones de margas. Las secuencias de esta formación presentan bruscos cambios faciales en cortas distancias, conteniendo una abundante fauna de foraminíferos bentónicos y planctónicos, lo que ha permitido asignarle una edad enmarcada desde el oligoceno superior hasta el mioceno. Aflora en la región de Yamanigüey, formando una franja por toda la costa.

Los depósitos cuaternarios que yacen por encima de la litología antes descrita, constituyen una cobertura prácticamente continua de génesis predominantemente continental, experimentando pocas variaciones diagenéticas, la que presenta un pequeño espesor. Estos depósitos están constituidos por calizas organodetríticas ricas en material faunístico, predominando los moluscos contemporáneos. Aparecen también aleurolitas calcáreas, arenas margosas y arcillas. Los depósitos

ubicados en los márgenes, cauces y desembocaduras fluviales están constituidos por bloques, cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial. Esta formación aflora como una cobertura que tiende a ser continua en forma de franja a lo largo de la costa y discontinua en las partes interiores.

II. 2 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL AREA DE ESTUDIO.

Para caracterizar la geología de la zona, se ha tomado como base fundamental el mapa geológico a escala 1: 50 000 perteneciente a la empresa del CAME en Guantánamo, por ser el trabajo más completo y acabado que se ha realizado en esta, teniéndose en cuenta conceptos modernos basados en ideas que explican la estructura geológica cubana y su desarrollo, así como sistematizaciones representadas en terrenos tectono – estratigráficos propuestos para la región oriental (Blanco y Proenza, 1994) y las asociaciones estructuro formacionales propuestas por Quintas, 1989, empleado por otros investigadores del departamento de geología del ISMM (Blanco, 1999), y modificado por Quintas en 1999, ya que se corresponde más con el desarrollo geotectónico de Cuba según las nuevas hipótesis y donde se explica mejor el origen, evolución y características de las diferentes unidades estratigráficas. También se tuvieron en cuenta otros trabajos (Andó J., Miklos K., Ríos Y., 1989; Proenza, 1997; Rodríguez Alina, 1999), donde se mapean las principales morfoestructuras de la región y donde se caracteriza el corte ofiolítico, por ser estas secuencias, las que predominan en el área de estudio. Además, se corrigieron los contactos de las diferentes unidades litológicas, con el empleo de la teledetección y el procesamiento digital de imágenes, con los materiales disponibles (Anexo_2).

Según los terrenos tectónico - estratigráficos propuestos (Blanco y Proenza, 1994), la región de estudio se encuentra en el terreno Purial – Moa, el cual es de tipo metamórfico, donde están presentes rocas del arco de islas volcánico del cretácico, con diferente grado de metamorfismo, rocas del arco de islas terciario, pertenecientes al neoarco y sobre todas estas secuencias yacen discordantemente formaciones terrígeno - carbonatadas representativas del estadio de desarrollo subplatafórmico y platafórmico de edad oligoceno al reciente.

Incluiremos solamente en esta parte la presencia en nuestra zona de algunos tipos de suelos y depósitos sedimentarios, que presentan una génesis y desarrollo distintas, debido a que en el tópico anterior fueron explicadas las diferentes asociaciones estructuro – formacionales con sus correspondientes formaciones, las cuales también forman parte de nuestra área de estudio.

✓ *Sedimentos lateríticos de medio fluvio-marino.*

Estos sedimentos se forman básicamente por lateritas redepositadas, con intercalaciones de arcillas pardo – oscuras con material carbonizado, lentes conglomeráticos y arenosos con fragmentos predominantes de ultramafitas y en ocasiones de gabros. También pueden presentarse algunos horizontes calcáreos con gran contenido de fauna, predominando los moluscos contemporáneos. Se presentan frecuentemente troncos completamente carbonizados con piritización autógena.

Internamente, esta secuencia presenta varios ciclos erosivo – acumulativos, marcados por discordancias erosivas intraformacionales. En las proximidades de la costa norte, los sedimentos más jóvenes contienen ciclotemas compuestas por pequeñas capas de carbón y arcillas carbonosas, intercaladas entre sedimentos margosos, arcillosos y areniscas, estas últimas formadas a expensas de la erosión de antiguos ocreos estructurales.

Por lo general estos depósitos se encuentran estratificados, pudiendo observarse estratificación paralela y cruzada. El buzamiento de la secuencia es suave hacia el norte y el nordeste. La edad de la secuencia es del plioceno al cuaternario (Quintas, 1999).

Estos sedimentos afloran en Punta Gorda, Las Camariocas y en los alrededores de Moa, donde su potencia es menor y el corte es algo atípico, al predominar casi de forma absoluta las lateritas redepositadas, siendo el corte areno – gravoso por la gran cantidad de perdigones de diferentes diámetros.

✓ *Sedimentos deluviales.*

Estos son depósitos de poca potencia, que en su gran mayoría están formados por perdigones y material arcilloso que se depositan durante los períodos lluviosos, experimentando un transporte de no mucha envergadura.

✓ *Sedimentos deluvio – proluviales.*

Están constituidos por una mezcla de lateritas y fragmentos rocosos de ultramafitas y gabros subordinados, encontrándose en las faldas y bases de las elevaciones.

✓ *Sedimentos aluviales.*

Son depósitos ubicados en los márgenes, causes y desembocaduras fluviales. Están constituidos por bloques, cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial. En las desembocaduras del litoral, se interdigitan con los sedimentos palustres y sedimentos marinos de medio fluvio-marino (Formación Punta Gorda).

✓ *Sedimentos palustres.*

Constituidos por arcillas oscuras a negras, turbas, lentes de arenas y algunos conglomerados intercalados. Por lo general están saturadas de agua y se encuentran en casi todo el litoral.

✓ *Sedimentos arenosos de playas.*

Son arenas costeras de color blanco rosáceo, formadas en su totalidad por restos de foraminíferos, fragmentos de conchas de moluscos, corales, etc. Su mayor extensión se encuentra al norte y este de Cayo Moa Grande.

✓ *Lateritas o eluvios.*

Son depósitos residuales, formados durante el proceso de intemperismo. Según las secuencias sobre las que se forman, pueden estar desarrolladas sobre gabros y mezclas de ultramafitas y gabros.

Las primeras se caracterizan por el alto contenido de hierro, níquel y cobalto las segundas por una disminución sustancial de esos elementos químicos y un

aumento significativo de la alúmina, por su parte, las terceras por un comportamiento atípico, al poder tener valores altos de todos esos elementos y a su vez, la caída brusca del níquel y el cobalto en distancias cortas.

II. 3 TECTONICA.

Este aspecto en la región es extremadamente complejo, hay manifestación de la superposición de fenómenos tectónicos originados en condiciones geológicas contrastantes y en diferentes períodos, lo que provoca que el sistema de mantos tectónicos y el intenso plegamiento de las secuencias más antiguas.

Estas se desarrollan en un ambiente de compresión máxima, mientras que las más jóvenes se han desarrollado bajo esfuerzos de tracción de la corteza terrestre, estos han originado sistemas de fallas que dividieron la zona en una serie de bloques del tipo horst y grabens, que enmascararon las estructuras más antiguas, las cuales presentan lentes con valores que alcanzan en ocasiones valores de hasta más de un kilómetro de espesor salvo en las serpentinitas que forman parte del manto. El resto de las unidades sufren acuñamientos, provocando la gran magnitud de los mantos tectónicos de Cuba Oriental al menos para las serpentinitas que forman la principal unidad tectónica alóctona.

Las dislocaciones de plegamiento que presenta la región son sumamente complejas. En la secuencia más antigua se hace difícil el desciframiento de las mezo estructuras plegadas, dada la monotonía litológica que presenta. No obstante los estudios realizados permiten afirmar que en las secuencias más antiguas, las cuales se corresponden con las rocas metamórficas y vulcanógenas, podemos encontrar tres direcciones fundamentales de plegamientos, noreste – sudeste, noroeste – sudeste y norte – sur, esta última es característica de las rocas vulcanógenas.

Las metamorfitas presentan variedad en su yacencia, siendo la tectónica disyuntiva igualmente compleja, pudiéndose distinguir los siguientes sistemas de dislocaciones.

Un sistema de manto tectónico cuyo rumbo coincide con la dirección general de plegamiento de las secuencias antiguas y con la cual se asocian fallas inversas

que presentan ángulos abruptos y grietas de cizallamiento, lo cual se puede ilustrar con los siguientes ejemplos.

- Sistema de fallas con dirección oeste – noroeste y este – suroeste.
- Sistema de fallas con dirección norte – noroeste y sur – sudeste. Estas intervienen en la formación de los bloques neotectónicos.
- Sistema de fallas más jóvenes con dirección aproximada este – oeste, constituyendo un sistema paralelo al rumbo de la falla de Bartlett.

II. 4 MAGMATISMO.

El magmatismo en la región está ampliamente desarrollado, siendo las rocas ultrabásicas el máximo exponente predominando las harzburgitas y de forma subordinada las dunitas, lherzolitas y piroxenitas con diferentes intensidades de serpentinización. Todas ellas en su conjunto constituyen un enorme manto tectónico, generalmente en las proximidades de los contactos de las serpentinas con la roca subyacente aparecen bloques exóticos de metamorfitas.

Dentro del macizo ultramáfico, constituyendo grandes bloques tectónicos, se encuentran incluidos bloques de gabros normales, olivínicos y gabro diabasas que en ocasiones aparecen anfibolitizados.

Con frecuencia podemos encontrar una amplia gama de rocas magmáticas en las secuencias vulcanógenas - sedimentarias del complejo estructural del pre - campaniano, en el cual se observan con frecuencia texturas relícticas de las vulcanitas y los piroclastos que le dieron origen.

El magmatismo más reciente en la zona aparece relacionado con las secuencias vulcanógenas - sedimentarias del paleoceno al eoceno medio, donde predominan las rocas piroclásticas.

En general, podemos plantear que las rocas magmáticas de la zona aparecen en dos grandes grupos. El primero lo constituyen las rocas que conforman la asociación ofiolítica y el segundo, las rocas pertenecientes al arco insular volcánico del cretácico, representado por la formación Santo Domingo.

II. 5 CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS.

La complejidad hidrogeológica de la zona es elevada, sufriendo variaciones de una zona a otra en función de las particularidades hidrogeológicas de la región, las rocas contenedoras de agua, el régimen de precipitaciones y los parámetros hidrogeológicos.

Teniendo en cuenta el tipo de rocas presentes y su capacidad de almacenar las aguas subterráneas en mayor o menor grado se pudo establecer para la región la presencia de cinco complejos acuíferos fundamentalmente, los cuales son expuestos a continuación (Anexo_4).

- Complejo acuífero de las ofiolitas.
- Complejo acuífero de los sedimentos costeros.
- Complejo acuífero de los sedimentos aluviales.
- Complejo acuífero de las lateritas.
- Complejo acuífero de los sedimentos terrígeno – carbonatados.

✓ *Complejo acuífero de las ofiolitas.*

Se extiende en dirección noroeste – sudeste, al oeste del río Moa. Litológicamente se encuentra constituido por serpentinitas alteradas, peridotitas serpentinizadas y piroxenitas. La capacidad acuífera se encuentra poco estudiada; su profundidad de yacencia es de 1.3 – 12 metros. El coeficiente de filtración (K) varía entre 1 - 14.7 m/día, el gasto de aforo (Q) entre 1.2 – 4 L/s. Según la clasificación de Kurlov y Aliokin las aguas son de tipo hidrocarbonatadas - magnésicas.

✓ *Complejo acuífero de los sedimentos costeros.*

Se extiende por casi todo el norte del área, formando una franja estrecha que presenta dimensiones de 1 - 2 Km. de ancho. El relieve es costero con cotas de 0 - 2 m sobre el nivel del mar; se le atribuye además una edad correspondiente al cuaternario. Su composición litológica la integran depósitos arcillosos con fragmentos angulosos de composición múltiple. Las rocas acuíferas son calizas organógenas, en menor escala sedimentos no consolidados y depósitos arcillo arenosos con fragmentos angulares de composición variada. Existe un evidente

predominio de las aguas cársticas y de grietas, en algunos casos pueden aparecer además las intersticiales. En su gran mayoría tienen interrelación hidráulica con el agua de mar.

El nivel freático yace a una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m. El coeficiente de filtración (K) de estas rocas alcanza valores de hasta 268.4 m/días, el gasto (Q) es aproximadamente de 14 L/seg, siendo su gasto específico (q) de 93.4 L/seg. En las calizas, según Kurlov el agua se clasifica como clorurada – hidrocarbonatada - sódica.

✓ *Complejo Acuífero de los Sedimentos Aluviales.*

Se extiende en dirección norte – sur formando una franja ancha en su parte inferior y estrecha en la parte superior. Ocupa prácticamente la totalidad de las terrazas de los ríos más importantes, así como los valles de sus afluentes. Se encuentra constituido por gravas, arenas, cantos rodados, arenas arcillosas con una potencia de 15 m aproximadamente. Se considera que la edad de los mismos sea perteneciente al cuaternario, presentando altas capacidades para el almacenamiento de agua. El coeficiente de filtración (K) varía de 13 – 290 m/días, mientras que su gasto de aforo (Q) es de 2 – 57 L/s. La profundidad de yacencia de estas aguas es pequeña, con valores comprendidos entre los 1 y 5 m, según las clasificaciones de Kurlov y Aliokin, estas son denominadas además hidrocarbonatadas - magnésicas.

✓ *Complejo Acuífero de las Lateritas.*

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

✓ *Complejo Acuífero de los Sedimentos Terrígenos Carbonatados.*

Este complejo aparece solamente como una pequeña porción al norte del poblado de Cañete. Geológicamente está constituido por margas estratificadas, calizas compactas, depósitos brechosos, de carácter tanto tectónico como sedimentario, aleurolitas y conglomerados. Las rocas acuíferas son los conglomerados brechosos juntamente con las calizas, presentándose en menor cuantía las margas estratificadas.

VOLUMEN Y METODOLOGIA DE LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS.

En el análisis del medio natural el agua se considera en un doble aspecto de disponibilidad y calidad. El estudio de las fuentes de agua, de la cantidad y calidad de sus formas superficiales y de la localización y contaminación de las aguas subterráneas, debe ser considerado para conocer la capacidad potencial de este recurso y para evitar efectos negativos de determinadas actuaciones humanas a corto o largo plazo que limiten la disponibilidad futura de agua con un cierto grado de calidad.

Para llevarse a cabo un estudio óptimo y eficiente de las fuentes de agua que sirven de abasto a los diferentes asentamientos objeto de estudio, hemos concebido y desarrollado la metodología que se detalla a continuación.

1. Revisión y análisis de la información geológica e hidrogeológica existente.
2. Ejecución del levantamiento hidrogeológico a escala 1: 50 000, enmarcando dentro de sí el inventario, la descripción de las condiciones higiénico sanitarias, el muestreo y los análisis químicos de las aguas que sirven de abasto a los asentamientos rurales del municipio de Moa.
3. Procesamiento de la información y evaluación de la calidad de las aguas.

❖ *Revisión y análisis de la información geológica e hidrogeológica existente.*

Una etapa previa que debe entrar a considerarse a la hora de realizar un estudio de cualquier envergadura y grado de análisis es la revisión bibliográfica. Con la finalidad de obtener la mayor cantidad de información posible, nos dimos a la tarea de revisar y analizar un número significativo de informes geológicos, hidrogeológicos y medioambientales desarrollados en los últimos años en Cuba y el resto del mundo, así como trabajos realizados en el municipio Moa.

Además se consultó bibliografía actualizada referente a metodologías utilizadas en nuestro país y en España sobre contaminación de aguas superficiales y

subterráneas, aspecto que nos permitió conocer y aplicar la vía más factible para el desarrollo de nuestra investigación.

❖ ***Ejecución del levantamiento hidrogeológico a escala 1: 50 000.***

Durante el desarrollo del levantamiento hidrogeológico a la escala referida para período de lluvia (noviembre - diciembre) y seca (abril) a los asentamientos rurales del municipio Moa, se realizó un inventario de las principales fuentes de abasto poblacional a los asentamientos rurales de Yamanigüey, Cañete, Cupey, Cayo Grande de Yamanigüey, Quemado del Negro, Centeno, Jucaral y Cayo Chiquito. Se procedió a la realización de la descripción de las condiciones higiénico - sanitarias de las mismas, destacando posibles focos de contaminación que pudieran alterar las características físico - químicas y bacteriológicas de las aguas. Se tuvieron en cuenta las condiciones de los tanques depósitos, la existencia o no de áreas de protección sanitaria, la realización periódica de la desinfección así como el estado físico de los sistemas de distribución de agua.

Con el objetivo de conocer las características físico - químicas de las aguas estudiadas se realizó el muestreo hidroquímico para época de lluvia y seca, tomando 17 muestras en cada período las cuales reportan los resultados más representativos de cada una de las fuentes y permiten conocer los iones predominantes utilizando las técnicas analíticas más novedosas, las cuales se detallan a continuación.

En cuanto a las propiedades físicas, se determinó para cada una de las muestras pH, conductividad, turbidez, sólidos totales disueltos, salinidad y color. Juntamente con esto se estableció la composición química en las muestras, lo que nos permitió conocer el fondo hidroquímico de las aguas (CO_3 , HCO_3 , SO_4 , Cl y Mg, Ca, Na, K). Se establecieron además los contenidos de materia orgánica, Cr^{6+} , Fe, NO_2 , NO_3 , dureza cálcica (mg/L de CaCO_3) y residuo seco, así como algunos elementos pesados tales como el Ni, Co, Pb, Mn, Cu y Zn. Para esto vamos a relacionar el equipamiento necesario que fue utilizado para obtener la mayor precisión posible en los resultados.

- Para las determinaciones relacionadas con la conductividad, sólidos totales disueltos y salinidad empleamos el conductímetro WTW LF - 330 UNICAM.
- Determinaciones de pH, el potenciómetro WTW UNICAM.
- Obtención del color, análisis colorimétricos, Cr^{6+} , Fe, SiO_2 , NO_2 , NO_3 , NH_4 y SO_4 , nos apoyamos en el espectrofotómetro DR - 2000 y el espectrofotómetro ultravioleta visible Helios λ UNICAM.
- En la determinación del Cl^- , Ca, Mg, CO_3 , HCO_3 y los restantes se empleó valoración volumétrica, estableciéndose el residuo seco por el método gravimétrico.

❖ **Procesamiento de los resultados obtenidos y evaluación de la calidad de las aguas.**

El manejo y estudio de análisis químicos puede simplificarse con el empleo de gráficos y diagramas, así como la aplicación de diferentes clasificaciones, en especial cuando se trata de hacer comparaciones entre varios análisis de aguas de un mismo lugar en épocas diferentes o de diferentes lugares.

A continuación se definen las clasificaciones que consideramos de mayor importancia para el desarrollo de nuestro trabajo.

Clasificaciones simples: Estas aportan una información global del área de estudio y en general se establecen fundamentalmente con vistas al uso doméstico y urbano del agua. Seguidamente detallaremos la metodología empleada en cada una de las clasificaciones.

✓ *Clasificación de Kurlov.*

Para su correcta aplicación es necesario transformar los valores de las concentraciones de los iones (expresadas en m.eq/L) a % equivalente, plasmándose en un quebrado los aniones mayores del 10 % en orden descendente dividido por los cationes mayores del 10 %, también en orden descendente. A esta fórmula se agregan algunos términos independientes, ubicando del lado izquierdo la mineralización y el pH, mientras que del lado derecho se sitúan el gasto de la fuente muestreada y la temperatura.

$$M, pH = \frac{C(\text{Aniones}) > 10\%}{C(\text{Cationes}) > 10\%} Q, t$$

✓ *Clasificación de Aliokin.*

Esta clasificación de las aguas se realiza en base a grupos, tipos y clases, los cuales están dados por las relaciones expresadas en la Tabla_1.

Tabla_1. Clasificación de Aliokin para las aguas.

Clases.	Grupos.	Tipos.
HCO ₃	Na	I. HCO ₃ > Ca + Mg
CO ₃	Ca	II. Ca + Mg > HCO ₃ < HCO ₃ + SO ₄
SO ₄	K	III. HCO ₃ + SO ₄ < Ca + Mg
Cl	-	IV. HCO ₃ = 0

✓ *Clasificación de las aguas por la dureza total.*

Su forma de aplicación es sencilla, sumándose los cationes calcio y magnesio expresados en m.eq/L. El resultado se compara con cinco rangos de dureza para las aguas, llegando posteriormente a la clasificación de las mismas. En la Tabla_2 son expresados estos intervalos o rangos.

Tabla_2. Rangos para definir la dureza total en las aguas.

Rangos.	Denominación.
< 1.5	Muy blandas.
1.5 – 3.0	Blandas.
3.0 – 6.0	Algo duras.
6.0 – 9.0	Duras.
> 9.0	Muy duras.

✓ *Clasificación por la mineralización de las aguas.*

Debe aplicarse una fórmula que relaciona mediante una fracción la sumatoria de los aniones y los cationes, expresados en m.eq/L, dividiendo entre 1000 si se desea trabajar en g/L.

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

✓ *Clasificación de las aguas por el grado de contaminación salina (Simpson).*

Esta clasificación es de no menos importancia, ya que nos permite conocer aproximadamente el grado de salinización presente en las aguas. Para la determinación de este parámetro se utiliza la siguiente expresión, estando sus términos referidos a m.eq/L.

$$\frac{Cl}{CO_3 + HCO_3}$$

El resultado de esta división nos va a llevar a un valor, el cual es comparado entre seis rangos de salinidad, quienes van a caracterizar realmente la fuente muestreada. Estos rangos son representados en la Tabla_3.

Tabla_3. Rangos empleados para denominar las aguas en cuanto al grado de salinización presente.

Rangos.	Denominación.
< 0.5	Agua normal del acuífero.
0.5 – 1.8	Agua ligeramente salinizada.
1.8 – 2.8	Agua moderadamente salinizada.
2.8 – 6.6	Agua bastante salinizada.
6.6 – 15.5	Agua altamente salinizada.
> 15.5	Agua de mar.

Por otro lado, las clasificaciones geoquímicas no deben desvincularse de las investigaciones hidrogeológicas. Ellas contienen más información de carácter geoquímico y en cierta manera tienden a expresar de forma concisa lo que se obtiene con los diferentes tipos de diagramas.

Consideramos que la clasificación más representativa para nuestro trabajo es la referida a los iones dominantes, tomando en consideración que las más complicadas aportan más información pero generalmente su utilidad es muy limitada, tal es el caso de las clasificaciones de Chase Palmer, Souliné, Schoeller, entre otras.

✓ *Clasificación por los iones dominantes.*

El agua se nombra por el anión o el catión que sobrepasa al 50 % de sus sumas respectivas; si ninguno supera este porcentaje se nombran los dos más abundantes. En ciertas ocasiones suele tomarse el nombre de algún ion menor de interés y que esté en concentración anormalmente alta.

Para simplificar la expresión, a cada posible ordenación de aniones y cationes se les da un número y una letra que sirven para denominar el agua de la fuente de abasto en cuestión.

Los grupos a realizar para esta clasificación son seis, los cuales para una mayor comodidad y más fácil apreciación se muestran en la tabla que aparece a continuación.

Tabla_4. Grupos empleados para la clasificación de las aguas por los iones dominantes.

Aniones.	Cationes.	Clasificaciones ejemplo.
1_Cl > SO ₄ > HCO ₃	A. Na > Mg > Ca	1_A.
2_Cl > HCO ₃ > SO ₄	B. Na > Ca > Mg	2_B.
3_SO ₄ > Cl > HCO ₃	C. Mg > Na > Ca	3_C.
4_SO ₄ > HCO ₃ > Cl	D. Mg > Ca > Na	4_D.
5_HCO ₃ > Cl > SO ₄	E. Ca > Na > Mg	5_E.
6_HCO ₃ > SO ₄ > Cl	F. Ca > Mg > Na	6_F.

Posterior a la realización de las clasificaciones, fueron construidos los diagramas de Piper y Stiff como especie de un apoyo gráfico para una interpretación más efectiva de los análisis realizados.

✓ *Diagramas de Piper.*

Este tipo de diagrama triangular es ideal para la representación de tres componentes. Aquí cada uno de los vértices de un triángulo equilátero representa el 100 % de cada uno de los iones ubicados en los mismos.

Lo más usual es incluir como aniones al $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$, SO_4 , Cl , NO_3 y como cationes al $\text{Na} + \text{K}$, Ca y el Mg . En casos especiales se pueden tomar otros iones o cationes, como en el estudio de contaminación de aguas por industrias potásicas, cuestión que no fue considerada por no estar relacionada con nuestra investigación.

Son utilizados dos diagramas separados para representar los aniones y los cationes colocados de diferentes formas y con un campo central romboidal donde se representa un tercer punto deducido de los que representan los iones y los cationes.

En estos gráficos se pueden representar muchos análisis sin dar origen a confusiones lo cual es una de las mayores ventajas, quedando las aguas geoquímicamente similares agrupadas en áreas bien definidas.

✓ *Diagramas de Stiff.*

Son utilizadas cuatro rectas base en las que se disponen el $\text{Na} + \text{K}$, Mg , Ca y $\text{Cl} + \text{NO}_3$, SO_4 , $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$. Estos tipos de diagramas permiten apreciar más rápidamente los valores de las relaciones iónicas con respecto a la unidad y la variación de las relaciones entre cationes y aniones, además se adapta muy bien a ser utilizado en mapas hidroquímicos y las comparaciones se pueden hacer con rapidez.

La información fue procesada aplicando los diferentes software de computación que tenemos al alcance en nuestro instituto y en la facultad respectivamente,

utilizando el Microsoft Word para la confección y desarrollo del informe de nuestro trabajo de diploma.

El Surfer, en su versión 7.0, se empleó para todo lo que a generación de mapas se refiere, especialmente el mapa geológico, de complejos acuíferos, datos reales e hidroquímico respectivamente.

El Rockware es otro de los programas que ha sido de vital importancia para la culminación de nuestro trabajo, es el encargado de la confección fundamentalmente de los diagramas de Piper y Stiff, los cuales son imprescindibles a la hora de realizar la interpretación.

Empleamos el Microsoft Excel en la realización de tablas de comportamiento de los principales iones presentes en las aguas, utilizándose además programas contenidos en CD de computación, como es el caso de la Enciclopedia Encarta, la cual nos facilitó la construcción del mapa de ubicación geográfica del área de estudio.

Fue evaluada la calidad de las fuentes de abasto de agua apoyándonos en los diferentes criterios de potabilidad química, utilizándose esencialmente normas españolas emitidas por el Centro Internacional de Formación en Ciencias Ambientales.

Estas normas definen muy bien los límites que clasifican al agua de consumo como potable, sanitariamente tolerable y no potable respectivamente. Además se realiza una valoración, de forma general, de las condiciones favorables para que el agua sea utilizada tanto para la industria como en la agricultura.

Planteamos que es una evaluación de carácter general debido a que las exigencias para poder utilizar el agua en alguno de estos dos últimos fines, son muy variadas.

CARACTERIZACION FISICO – QUIMICA Y EVALUACION DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS QUE SIRVEN DE ABASTO A LOS ASENTAMIENTOS RURALES DEL MUNICIPIO MOA.

IV. 1 ASPECTOS GENERALES.

El conocimiento de la calidad y conservación de las fuentes de agua habilitadas a efectos de consumo humano es de marcada importancia, aspecto que está relacionado con un gran número de factores geológicos, hidrodinámicos, físico - químicos, biológicos y antropológicos, asociados a las incertidumbres que son propias, no - solo de la variable y compleja Naturaleza, sino también de la libertad humana.

Tanto en aguas subterráneas como superficiales, el parámetro referente a la calidad de las mismas es un tema obligado en las técnicas del geólogo. Esto repercute fundamentalmente en la problemática dirigida al control de la contaminación y deterioro del agua que es empleada para el abastecimiento a los asentamientos poblacionales.

Para dictaminar acerca de la potabilidad del agua, la posibilidad de aplicar metodologías precisas, no solo para elementos mayoritarios sino también para minoritarios con mayor fiabilidad y comodidad, se convierte en algo más que la mera determinación química y pasa a ser una herramienta hidrogeológica básica capaz de aportar valiosa información sobre el origen y distribución de las aguas superficiales y subterráneas y los procesos físico - químicos que la afectan.

La definición básica de evaluación de la calidad del agua se describe como una variante al monitoreo para establecer la naturaleza y el grado de contaminación del agua. Esta evaluación es un proceso de disímiles enfoques, el cual tiene como objetivo determinar y evaluar la naturaleza física, química y biológica del agua con relación a la calidad natural, efectos humanos y otros usos. En esta dirección, nuestro objetivo primordial está encaminado a definir las condiciones del ambiente actual de cada fuente de abasto, así como los principales focos contaminantes que atentan contra la conservación y calidad de las mismas, además de realizar una valoración de los principales aspectos físico – químicos en cada uno de los

asentamientos, aspectos que son determinantes para dar criterios específicos acerca del grado de potabilidad de estas aguas.

Con relación al fondo hidroquímico natural de las aguas superficiales y subterráneas que han sido objetos de investigación en este trabajo, es de destacar que las mismas yacen y circulan por medio de rocas pertenecientes al complejo acuífero de las ofiolitas, específicamente serpentinitas alteradas, gabros, peridotitas serpentinizadas y piroxenitas.

Analizando los resultados obtenidos como consecuencia de los análisis de laboratorio, se hace evidente la influencia negativa que ejerce el medio natural circundante sobre este preciado recurso. Posteriormente daremos a conocer la evaluación de los recursos hídricos en todas y cada una de las zonas incluidas en esta investigación con su correspondiente interpretación según clasificaciones de tipo simple, geoquímicas y mediante el uso de diagramas y gráficos representativos del fondo hidroquímico más próximo a la realidad de las mismas, además del uso de las diferentes normas empleadas en Cuba y el mundo para las aguas de abasto poblacional.

IV. 2 INFLUENCIA DEL TERRENO GEOLÓGICO EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS.

Debido a la necesidad de valorar como influye el medio geológico en la composición química de las aguas que han sido objeto de estudio, establecemos a continuación como se manifiesta la relación roca - composición química de las aguas en cada uno de los asentamientos rurales del municipio.

Las rocas metamórficas suponen una gradación entre las rocas plutónicas (granito) y las sedimentarias, por lo tanto las aguas en contacto tendrán características intermedias más próximas a unas o a otras según el grado de metamorfismo.

Todos los asentamientos, excepto los puntos de muestreo Ct y Cn pertenecientes al poblado de Cañete, están asociados al complejo acuífero de las ofiolitas. Este se constituye litológicamente de serpentinitas alteradas, peridotitas serpentinizadas y piroxenitas.

Los tipos litológicos señalados anteriormente son característicos de zonas de alteración de los silicatos ferro - magnesiano, siendo las aguas que circulan a través de ellas enriquecidas en sílice, ya sea coloidal o no, hierro y magnesio fundamentalmente. Por regla general, las aguas características de estas regiones presentan un residuo seco débil y tienden a presentar un pH ácido.

Por otro lado, los puntos de muestreo Ct y Cn están asociados al complejo acuífero de los sedimentos terrígeno - carbonatados, donde las rocas predominantes son margas estratificadas, calizas compactas, depósitos brechosos de carácter tanto tectónico como sedimentario, aleurolitas y conglomerados. Las rocas acuíferas son los conglomerados brechosos y las calizas, presentándose en menor cuantía las margas estratificadas.

En esta zona se evidencia cierta interacción con el agua de mar, por consiguiente, el lavado de los materiales rocosos mencionados con anterioridad proporciona con frecuencia aguas relativamente salinas, siendo en ocasiones saladas. Además se producen notables fenómenos de intercambio iónico, el contenido en cloruros es generalmente elevado, lo mismo que en el sulfato, sodio, calcio y magnesio. La sílice suele presentar también concentraciones altas.

IV. 3 VALORACIÓN SOBRE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE CONSUMO HUMANO.

Seguidamente describiremos el estado higiénico sanitario de cada una de las fuentes de abasto de los diferentes asentamientos rurales, así como el estado técnico de las instalaciones (en caso de que existan) que han sido objeto de investigación y análisis durante el transcurso y desarrollo de este trabajo de diploma dando a conocer, además, su correspondiente caracterización físico – química así como las principales características geólogo – hidrogeológicas que se ponen de manifiesto.

❖ Asentamiento rural de Yamanigüey.

La fuente de abasto de agua es el río Yamanigüey, este a su vez abastece por medio de un sistema de acueducto con un tanque ubicado en el poblado de Yamanigüey, a tales efectos fijamos para esta zona la toma de tres muestras de agua a tomar, dos de ellas en el río y la otra en el tanque de agua.

El río corre sobre rocas ultrabásicas serpentinizadas, las cuales presentan un alto grado de alteración, predominando fundamentalmente la erosión lateral, pudiéndose observar acumulación de gran cantidad de sedimentos en el margen derecho del cauce del río.

La vegetación en la zona es abundante, la cual es típica del complejo ofiolítico, esta aporta gran cantidad de material orgánico al agua, lo cual puede representar una causa directa para la afectación parcial de estas aguas, ya que la actividad antropogénica en esta zona es prácticamente nula.

Por su parte, el tanque de distribución ubicado en la parte alta del poblado no se encuentra correctamente tapado, y las condiciones higiénicas – sanitarias no son las más favorables, debido a la presencia en el mismo de material limoso en sus paredes y con la agravante de que estas aguas no están sometida a tratamiento de desinfección.

Caracterización físico – química.

Las aguas del río Yamanigüey para los períodos de lluvia y seca evaluados presentan como macroelementos predominantes el bicarbonato ,el cloro , sulfato, existe presencia de sodio y potasio , aunque en pequeñas cantidades el calcio supera los valores del resto de las fuentes estudiadas . Se destaca que son aguas del tipo básicas por su pH y blandas por su dureza. Es apreciable un incremento para el período de lluvia de la turbidez y el color provocado por el arrastre de todo tipo de materia en suspensión provenientes de diferentes fuentes naturales y artificiales. Para época de seca se aprecia un incremento de la conductividad y los sólidos totales disueltos lo que se explica por la ausencia de alimentación a la fuente y una mayor concentración de las de las sales existentes y de los sólidos provenientes del arrastre. Según las normas cubanas vigentes para agua potable las concentraciones de los elementos presentes no superan los valores deseables,

exceptuando los del nitrito que superan los valores máximos deseables y los máximos admisibles, siendo un índice directo de contaminación bacteriológica.

Según las clasificaciones utilizadas las aguas son del tipo bicarbonatadas magnésicas. Según Aliokin pertenecen a la clase (HCO_3), grupo (Mg) y al tipo II. Por los iones dominantes, pertenecen al grupo 5d – c1 fundamentalmente, catalogándose mediante la dureza total como aguas blandas.

Las aguas en este río experimentan un incremento gradual del sodio y el cloro en el orden Y1, Y2 y Yp para tiempo de seca, sin embargo, en la época de lluvia puede apreciarse un aumento brusco del cloro en la dirección Y2 – Yp en decenas de veces, sin llegar a sobrepasar los niveles convenientes para agua potable, especialmente en zonas próximas a la costa disminuyendo su concentración rápidamente tierra adentro, lo cual ocurre debido a la cercanía del punto de muestreo con la costa y que durante las mareas altas se produce un avance de las aguas de mar enriqueciéndolas de este anión.

Analizando el grado de contaminación salina (Simpson), en época de seca las aguas se enmarcan dentro del rango normal, mientras que para período de lluvia va acrecentándose el grado de contaminación salina hasta llegar a ser altamente salinizadas.

Según lo establecido por las normas para agua potable, esta agua no cumplen los requerimientos establecidos, por tanto se consideran como no potables.

❖ **Asentamiento rural de Cañete.**

Por estudios realizados con anterioridad, el testimonio de nuestra tutora y con el desarrollo de nuestro trabajo, hemos podido conocer y apreciar que hay serias afectaciones con el agua, juntamente con los ingentes esfuerzos que realizan las personas que allí habitan para poder obtener este valioso recurso.

A diferencia del asentamiento anterior, el muestreo fue realizado exclusivamente para aguas subterráneas, fijando una cantidad de tres muestras a tomar. Existen dos pozos criollos y un pozo hidrogeológico equipado con una turbina, construidos con el fin de suministrar agua para el consumo y otras actividades domésticas, de los cuales creemos necesario puntualizar sus características principales.

El pozo de la Niña, se ubica en el extremo noroeste del poblado a una distancia aproximada de dos kilómetros de la carretera Moa – Baracoa. Su estado técnico es desfavorable, sus paredes fueron construidas de rocas subredondeadas que no dan la seguridad adecuada al pozo. El brocal de este se encuentra al mismo nivel del terreno y no está tapado, lo que facilita en tiempo de lluvia el arrastre hacia el mismo de todo tipo de material contaminante, condicionado por su posición en una cañada al fondo de una elevación contigua a esta. Además, pudimos apreciar a unos 10 metros de distancia del pozo un lodazal de animales domésticos que pudiera ser de riesgo potencial para la contaminación de estas aguas.

En la zona hay predominio de rocas volcánicas con algunas intercalaciones de calizas pardo rojizas, pudiéndose constatar la presencia de potentes cortezas de intemperismo de coloración oscura. La vegetación es muy rica y diversa, con la presencia de cocoteros, mangos, palmas reales, marañones, entre otros.

Aproximadamente a un kilómetro hacia el sureste del pozo de la Niña, se ubica una turbina construida desde hace doce años, esta fue puesta en funcionamiento tres meses atrás por los compañeros de Hidrología de la provincia Holguín, naturalmente con tantos años en desuso, el encamisado de hierro que se le colocó hubo de oxidarse debido al fuerte olor a metal que experimenta el agua al ser bombeada. El lugar de construcción es una amplia explanada situada al lado de un pequeño arroyo que es quien aporta el agua que se extrae.

No pudieron definirse afloramientos de rocas, sin embargo, presuponemos el predominio del mismo tipo litológico dado por la similitud entre cortezas de intemperismo y vegetación con la zona enclave del pozo anterior.

El pozo de Víctor es el último a estudiar para este asentamiento, realmente es el más utilizado por la población local. Fue construido al fondo de una cañada a unos 500 metros aproximadamente de la carretera Moa – Baracoa, su estado de conservación es bueno, aunque está expuesto al arrastre hacia el de gran cantidad de elementos contaminantes durante las lluvias.

Este pozo se encuentra en una zona poco más compleja desde el punto de vista geológico que los dos anteriores, estamos hablando de una región en la que contactan rocas volcánicas y ultrabásicas. Puede constatare la presencia de

bloques de rocas volcánicas como ventanas tectónicas dentro de las rocas del complejo ofiolítico, además de pequeños afloramientos de calizas de color pardo rojizo. Tienen lugar fuertes procesos erosivos y la aparición de ciertas zonas de fallas.

La vegetación por su parte es abundante y puede apreciarse como va tornándose típica de cortezas de intemperismo formadas a partir de rocas ultrabásicas, aportando gran cantidad de materia orgánica al agua del pozo.

Caracterización físico – química.

Se tomaron tres muestras (Cv, Ct y Cn), siendo las aguas dulces o potables según el grado de mineralización y básicas en correspondencia con el pH, aspectos comunes para períodos de lluvia y seca. Predominan los iones bicarbonato, calcio, carbonato, cloro (cuya concentración disminuye en época de lluvia), sílice, sulfato, magnesio para ambos periodos. El pH en período de seca tiende a disminuir aunque es básico, la conductividad aumenta para seca al igual que los sólidos totales disueltos, lo cual es producto de la carencia de alimentación de agua en dichas fuentes, para lluvia la turbidez es mayor ya que se produce un mayor arrastre de todo tipo de materia, a diferencia del color que tiende a aumentar en período de seca.

La clasificación de Kurlov nos muestra que en época de lluvia la composición de la fuente de abasto es bicarbonatada – clorurada – cálcica, mientras que para seca es bicarbonatada – clorurada y magnésico – cálcico – sódica. Por Aliokin son aguas de clase (HCO₃), grupo (Mg) y del tipo II, siendo en época de seca una fuente con clase (HCO₃), grupos (Mg y Ca) y de tipos I y II. Por los iones dominantes existe una tendencia al grupo 5d – c3 para período de lluvia y en seca al 5c – c3. Las aguas en este asentamiento rural son muy duras y mediante el grado de contaminación salina se clasifican como normales del acuífero.

Se puede apreciar un aumento brusco del sodio en los puntos de muestreo Cn y Ct para período de seca, esto se evidencia por dos razones fundamentales. El sodio es liberado entre otras cosas por la disolución de rocas sedimentarias de origen marino, las cuales están representadas en esta área hacia la parte norte por el complejo de los sedimentos terrígeno – carbonatados. Otra de las razones

es que una fuente importante de sodio la constituyen los aportes de agua marina en regiones costeras, tanto por intrusión marina como por infiltración del agua de lluvia a la que se incorpora desde el mar, aspectos que se ponen de manifiesto en el área.

Entrando a considerar los resultados obtenidos clasificamos las aguas de los puntos de muestreo Cn y Ct como no potables debido a que algunos de sus caracteres químicos sobrepasan los límites permisibles establecidos por las normas para agua potable, tal es el caso del nitrito, nitrato, amonio y el hierro. Por su parte, para el punto de muestreo Cv consideramos sus aguas como potables para período de lluvia ya que el fondo hidroquímico natural no supera ninguno de los límites fijados. Sin embargo en época de seca queda rigurosamente prohibido el consumo humano de las aguas del punto de muestreo Cv, el cual es muy utilizado por los pobladores del lugar. Esto se debe a la presencia de nitrito en concentraciones que sobrepasan la norma para agua potable.

Este elemento aparece en las aguas producto de la descomposición de restos de materia orgánica y de animales. Al parecer, esta concentración anómala surge como resultado de la descomposición de la materia orgánica (abundante en el agua del pozo) que es aportada por la vegetación del lugar.

Entrando a considerar el comportamiento de otros elementos con respecto a las normas cubanas podemos observar como el hierro en las muestras Ct y Cn se van los valores por encima de la norma tanto para lluvia como para seca, mientras que Cv se comporta normal. Otro ion que sobrepasa los valores máximos deseables y máximos admisibles es el nitrito tanto en uno como en otro período, así como el nitrato y el amonio, el níquel se encuentra en el límite de las concentraciones deseables .

❖ ***Asentamiento rural de Cupey.***

La fuente de abasto de este asentamiento es el río Semillero, fueron tomadas dos muestras, una de ellas en el tanque principal de distribución a la población y la otra en el organopónico aledaño al poblado de Cupey.

No fue posible una observación directa en el río debido a la lejanía y la inaccesibilidad del lugar, sin embargo se puede pensar en la posibilidad de una

ligera afectación de estas aguas por estar próximas y en vinculación con el mar en este sector del río.

Al tomar la muestra en el organopónico, se nos manifestó en esta instalación que la calidad del agua no es de la mejor y en esas mismas condiciones se está utilizando para beber y cocinar los alimentos de los trabajadores. Esta se obtiene a través de tuberías provenientes del río Semillero.

Los tanques que almacenan el agua de esta entidad no están en la mejor de las condiciones, lo que aumenta la posibilidad de contaminación del agua destinada al consumo.

Caracterización físico – química.

Al ser tomadas y procesadas las dos muestras (Cp1 y Cp2) de este asentamiento, arrojaron resultados de mineralizaciones por debajo de 1g. Esto indica que son aguas dulces o potables, considerándolas de acuerdo a su pH como básicas. Estos aspectos son coincidentes para períodos de lluvia y seca respectivamente.

Sus iones predominantes son el bicarbonato, sodio, cloro y sílice. Se aprecia un aumento de la conductividad en época de seca, debido a la concentración de sales disueltas en las aguas. Los sólidos totales disueltos aumentan en época de seca, el color y la turbidez aumentan considerablemente para época de lluvia debido al arrastre de todo tipo de material durante el escurrimiento superficial.

Según las clasificaciones utilizadas estamos en presencia de aguas de composición bicarbonatadas - magnésicas lo que es común para ambas épocas. De la misma forma, la clasificación de Aliokin contempla para ambas etapas aguas de la clase (HCO₃), grupo(Mg) y del tipo II para la muestra Cp1, mientras que para Cp2 pertenecen a la clase (HCO₃), grupo (Mg) y del tipo I, correspondiéndose por los iones dominantes al grupo 5c – c2. En época de lluvia estas aguas se tornan blandas y presentan un ligero grado de salinización, mientras que en seca pasan a ser algo duras clasificándose como normales del acuífero.

Dentro de los microelementos presentes en esta agua, se encuentran por encima de las normas para agua potable el hierro, el nitrato, el amonio, el nitrito y el níquel en el límite superior deseable.

Teniendo en cuenta los resultados de las clasificaciones anteriormente expuestas, podemos afirmar que las aguas no se consideran potables, ya que sus condiciones físicas, químicas juntamente con la presencia del nitrito limitan sus aplicaciones útiles, en este caso el consumo humano.

❖ **Asentamiento de Cayo Grande de Yamanigüey.**

El agua que se consume en este asentamiento pertenece a un pequeño manantial que se ubica en el borde sureste del pueblo, en cual tomamos una muestra.

Las condiciones de esta fuente de abasto son deplorables, debido a la falta de higiene y conservación que presenta la misma. Esta se genera en un afloramiento de rocas ultrabásicas, siendo su caudal extremadamente pequeño. Aparecen además zonas de alta erosión y fallamiento, la vegetación es abundante y prácticamente ha interrumpido el curso de este manantial.

De todos los asentamientos estudiados, este es uno de los de más riesgos para la contracción de enfermedades parasitarias, en dicho manantial además de la contaminación natural que presenta, los pobladores no se han hecho conciencia del problema que los está afectando y no toman en consideración la importancia que reviste su conservación, en reiteradas ocasiones lavan sus ropas en él sin pensar en el nivel de afectación que están suministrando al medio.

Consultamos al médico de la familia de esta localidad y nos confirmó que realmente existe parasitismo en la población que atiende, mostrándonos en su consultorio una especie del tipo *Escherichia coli* extraída de un niño pequeño, informándonos además de innumerables enfermedades de parasitosis vaginal siendo la causa fundamental el agua, lo que tiene como agravante el mal uso que le dan los pobladores, los que tampoco aplican las medidas higiénico – sanitarias mínimas que el médico les orienta.

Caracterización físico – química.

En este asentamiento fue tomada una muestra (Cg), la cual presenta valores de mineralización para época de lluvia y seca menores a 1 g/L indicando con esto que son aguas dulces o potables, siendo de composición básica en correspondencia con el pH.

Los iones predominantes en estas aguas son el bicarbonato, el cloro, el magnesio, el sodio, el calcio y la sílice característicos de la litología en que yacen.

Se pudo comprobar durante los dos muestreos que la conductividad aumenta considerablemente en época de seca, como ocurre en los casos anteriores, así como los sólidos totales disueltos y la salinidad. Para época de lluvia se observa un incremento de la turbidez y el color, en ambos periodos de muestreo, se mantiene en niveles extremadamente altos, lo que nos da índice del grado de deterioro de la fuente estudiada. Estas aguas son bicarbonatadas – magnésicas.

De acuerdo a la clasificación de Kurlov son aguas bicarbonatadas – cloruradas – sulfatadas y magnésico – cálcicas para período de lluvia mientras que para seca son bicarbonatadas - cloruradas y magnésicas.

En el fondo hidroquímico natural de las aguas pertenecientes a este asentamiento, se puede apreciar un considerable aumento del sodio para época de seca. Al respecto creemos conveniente resaltar que las sales de este catión son altamente solubles y tienden a permanecer en solución ya que no se producen entre ellas reacciones de precipitación, lo que deja claramente establecido este incremento. Por la clasificación de Aliokin estamos en presencia, para el período de lluvia, de aguas pertenecientes a la clase (HCO_3), grupo (Mg) y al tipo II lo cual es coincidente para seca. Por los iones dominantes esta fuente pertenece al grupo 5d – c2, siendo sus aguas algo duras y ligeramente salinizadas (Simpson).

Dentro de los elementos presentes en las aguas que exceden las concentraciones admisibles se encuentran el nitrito, el nitrato, el amonio, el níquel y el hierro se encuentran en el límite superior de los valores deseables, lo que nos permite corroborar que las aguas que sirven de abasto a este asentamiento son no potables. No fueron realizados análisis de tipo bacteriológico debido a problemas existentes, sin embargo fue detectado el género *Escherichia coli*, el cual es un germen potencialmente patógeno que excluye a una fuente de agua de toda clasificación, ya sea de agua potable o sanitariamente tolerable.

❖ Asentamiento rural de Quemado del Negro.

Presenta como principal fuente de abasto al río Quesigua, tomando en el mismo un total de dos muestras.

La geología del lugar está caracterizada por la presencia de gabros, específicamente en las zonas de muestreo se encuentran altamente alterados manifestándose potentes cortezas de intemperismo. La vegetación es abundante aportando gran cantidad de materia orgánica al río, además de esto pudimos apreciar la intensidad con que actúan los procesos erosivos.

La primera muestra fue tomada en el área de una turbina que fue construida con el fin de abastecimiento a la población de este preciado recurso. El agua se consume por los pobladores sin ningún tipo de tratamiento, cuestión que es común para todos los asentamientos, es de ahí la frecuencia y el alto porcentaje de enfermedades parasitarias en los locales de las zonas rurales.

La muestra restante fue tomada aproximadamente 100 metros aguas abajo con el objetivo de comparar las variaciones de concentraciones de los macro componentes fundamentales en este sector del río, el cual es el más utilizado para el consumo.

Las características geológicas coinciden con las del punto de muestreo anterior así como la intensidad con que actúan los procesos erosivos, siendo la vegetación igualmente abundante.

Caracterización físico – química.

En el mismo fueron tomadas dos muestras (Q1 y Q2). Estas indican por los resultados de laboratorio obtenidos, específicamente los valores de mineralización, que las aguas para períodos de lluvia y seca son dulces o potables, siendo básicas en correspondencia a su pH.

Los iones predominantes son el bicarbonato, el cloro, el magnesio, la sílice, el sodio y el calcio. Se aprecia un ligero incremento de la conductividad para época de seca, de los sólidos totales disueltos y del color, lo que se explica por la ausencia de una fuente de alimentación y la disminución de los volúmenes del agua en el cauce, que conlleva a la concentración de las sales y de la materia orgánica presente. La turbidez aumenta ligeramente para época de lluvia.

Según las normas cubanas para agua potable, algunos elementos superan los valores límites deseables y otros tales como el hierro, alcanzan el valor límite admisible. El nitrito, el nitrato y el amonio superan los valores límites permisibles para agua potable lo que nos da índice del grado de deterioro sanitario que posee la fuente.

Según las clasificaciones utilizadas las aguas son bicarbonatadas y magnésico - sódicas. Conforme a la clasificación de Aliokin, tanto para lluvia como seca, la fuente pertenece a la clase (HCO_3), grupo (Mg) y al tipo II. Por los iones dominantes forman parte de los grupos 5c – c1 (Q1) y 5d – c1 (Q2), siendo muy blandas con respecto a la dureza total y por el grado de contaminación salina, son aguas normales del acuífero

Dado que durante el proceso de interpretación y mediante los resultados obtenidos por los análisis de laboratorio se encontró que el amonio y el hierro en Q2 sobrepasan los límites convenientes para las normas de agua potable, consideramos definir estas aguas como no potables.

Debemos destacar que para época de seca la concentración de potasio en Q1 está de nueve a diez veces por encima que en Q2, evidentemente fue un problema a la hora de realizar las determinaciones, ya que en esta zona no existe ninguna fuente que este aportando este elemento.

❖ **Asentamiento rural de Centeno.**

En este asentamiento fue tomada solamente una muestra en la fuente de abasto correspondiente a la presa Pueblo Nuevo proveniente del arroyo Centeno, el cual nace de un manantial a unos dos kilómetros del embalse. Su cauce circula a través de rocas ultrabásicas serpentinizadas esencialmente.

El embalse es de mediana dimensión y sus aguas son enviadas al poblado a través de un sistema de acueductos, presentando condiciones higiénico – sanitarias desfavorables pudiéndose apreciar elevados volúmenes de sedimentos dentro del mismo, además de recibir el aporte de restos vegetales y animales por estar rodeado de vegetación.

El combinado avícola se localiza en sus inmediaciones y constituye también una fuente de aporte de material contaminante a estas aguas, lo que representa una agravante que limita en gran medida la calidad del agua.

Caracterización físico – química.

En este asentamiento fue tomada una muestra (Ce), que según el grado de mineralización de sus aguas podemos considerarlas como dulces o potables, siendo básicas por su pH.

Los iones predominantes son el bicarbonato, el magnesio, el cloro, el sodio y la sílice. Se aprecia un incremento de la conductividad, sólidos totales disueltos y color para el periodo de seca y un incremento de la turbidez y de la materia orgánica para época de lluvia.

Según las normas cubanas para agua potable, el hierro supera los valores permisibles para época de lluvia y el níquel alcanza los valores límites deseables. El nitrito, el nitrato y el amonio sobrepasan las normas para agua potable lo que nos sirve como indicador sobre la posibilidad de existencia de contaminación bacteriológica

Mediante las clasificaciones utilizadas, las aguas son del tipo bicarbonatadas – magnésicas. Según Aliokin las mismas pertenecen en ambas épocas a la clase (HCO_3), grupo (Mg) y al tipo II. Por los iones dominantes se enmarcan dentro del grupo 5c – c2, siendo algo duras de acuerdo con la dureza total y catalogándose las aguas según el grado de contaminación salina como normales del acuífero.

Según lo establecido por las normas para agua potable, esta agua no cumplen los requerimientos establecidos, por tanto se consideran como no potables.

❖ Asentamiento rural de Jucaral.

Es uno de los asentamientos que presentan mayor dificultad con el abasto de agua, los pobladores del lugar se abastecen de un pequeño embalse con muy malas condiciones de conservación e higienización, por lo que nos vimos en la necesidad de tomar una de las tres muestras definidas para este poblado.

La geología se presenta algo compleja, ya que este embalse se ubica en un área de contacto litológico entre rocas ultrabásicas serpentinizadas y gabros. El grado

de alteración es elevado, presentándose potentes cortezas de meteorización, existiendo una marcada actividad erosiva donde se destacan además la presencia de movimientos tectónicos, quienes han favorecido el derrumbe de parte del embalse y la acumulación en el mismo de gran cantidad de sedimentos y material orgánico, lo que condiciona en cierta medida el acentuado grado de turbidez de estas aguas.

La segunda muestra fue tomada aproximadamente un kilómetro al suroeste del embalse, en un manantial que proviene del Cerro Miraflores. El curso de este se realiza sobre rocas ultrabásicas serpentinizadas, siendo la actividad erosiva prácticamente nula al igual que los procesos tectónicos. La vegetación es abundante, la cual forma como especie de un techo natural. La influencia antropogénica es nula siendo su estado de conservación favorable.

La muestra restante se recogió a unos 100 metros aguas arriba en un sitio donde confluyen dos pequeños cursos de agua en una especie de represa natural, originándose también en el Cerro Miraflores. Hemos pensado en la posibilidad que este sea una nueva fuente de abasto de agua para los pobladores de Jucaral, dadas las favorables condiciones naturales de almacenamiento que presenta, así como la ausencia total de actividad antrópica. Por su parte, la geología y la abundancia de vegetación de la zona se comporta de la misma forma que para el área de muestreo anterior.

Caracterización físico – química.

En este asentamiento rural tomamos tres muestras (Jc1, Jc2 y Jc3), las cuales aportan valores que indican que estas aguas son dulces o potables, siendo básicas en correspondencia con su pH.

A partir de los resultados de la muestra Jc1, tomada en la actual fuente de abasto se aprecia un incremento de la conductividad, de los sólidos totales disueltos y del color para época de seca lo que está dado por la alimentación tan limitada que posee, la concentración de las sales disueltas, el alto volumen de sedimentos acumulados lo que las hace totalmente inutilizables. Según las normas cubanas alcanzan los valores límites deseables el níquel, el hierro y los compuestos

amoniacales, superan los valores máximos deseables. Las aguas, en correspondencia a las clasificaciones utilizadas son bicarbonatadas – magnésicas. Las muestras Jc2 y Jc3 pertenecen al manantial propuesto para la sustitución de la fuente actual de abasto. Sus aguas son básicas, comportándose su conductividad de forma estable en las dos épocas, al igual que los sólidos totales disueltos, su color aumenta ligeramente para época de seca y la turbidez se comporta de forma estable para ambos periodos lo que nos da indicio de aguas subterráneas de grietas con buena calidad, aunque se obtuvieron valores de nitrito y nitrato que superan las normas para agua potable, aunque esta particularidad puede ser eliminada mediante la desinfección. El cromo hexavalente supera los límites deseables, así como el hierro, que sobrepasa los valores máximos admisibles para ambos periodos.

Según Aliokin pertenecen a la clase (HCO_3), grupo (Mg) y al tipo II. Todas estas consideraciones coinciden en época de lluvia y seca. Por los iones dominantes hay una tendencia al grupo 5c – c2, son aguas algo duras y según el grado de contaminación salina son normales del acuífero.

Las aguas de la fuente actual de abasto no poseen las condiciones físico – químicas, sanitarias ni poseen el volumen requerido para constituir una fuente de abasto poblacional, por lo que debe valorarse la posibilidad de su sustitución por la fuente que se corresponde con los puntos de muestreo Jc2 y Jc3.

❖ ***Asentamiento rural de Cayo Chiquito.***

Las fuentes de abasto de agua en esta región son represadas correspondiéndose su origen con las aguas subterráneas, las cuales al aflorar a la superficie alimentan pequeños embalses.

Se tomaron dos muestras, una en cada una de los dos embalses con que cuenta este asentamiento. El estado de conservación de los mismos es crítico, lo que está determinado por la presencia de material limoso y orgánico en acentuadas concentraciones, aspecto que se incrementa en período de seca.

El curso de los manantiales ocurre sobre rocas ultrabásicas, no se aprecian fuertes fenómenos erosivos ni tectónicos. La vegetación es abundante y típica de cortezas de intemperismo derivadas de las rocas que constituyen el complejo

ofiolítico. Al igual que en los demás asentamientos, el agua se consume sin ser sometida a ningún tipo de tratamiento sanitario.

Caracterización físico – química.

Fueron tomadas dos muestras (Cc1 y Cc2), siendo las aguas dulces o potables según el grado de mineralización y básicas en correspondencia a su pH, todo esto para épocas de lluvia y seca respectivamente.

Los iones predominantes son el bicarbonato, el magnesio, el cloro, el sodio y la sílice. Se aprecia un incremento de la conductividad, sólidos totales disueltos, el color para el periodo de seca, aumentando para época de lluvia la turbidez y la materia orgánica.

Según las clasificaciones utilizadas las aguas son bicarbonatadas - magnésicas. En correspondencia a la clasificación de Aliokin, pertenecen a la clase (HCO₃), grupo (Mg) y al tipo II. Mediante los iones dominantes forman parte del grupo 5c – c2, siendo aguas algo duras en consideración a la dureza total. Por el grado de contaminación salina se clasifican estas aguas como normales del acuífero.

En correspondencia con las normas cubanas para agua potable, sobrepasan los valores máximos admisibles el hierro, el nitrato y el amonio lo que dan índice de contaminación bacteriológica debido a la incorporación de materia orgánica de diferente naturaleza.

Según las normas para agua potable, estas aguas no cumplen los requerimientos establecidos, por tanto se consideran como no potables.

IV. 4 POSIBLES USOS DE LAS AGUAS DESTINADAS AL CONSUMO HUMANO EN LOS ASENTAMIENTOS RURALES DEL MUNICIPIO MOA.

Una misma fuente de agua puede emplearse para muchos fines, abastecimiento, regadío, usos industriales, recreativos, medicinales o cualquier combinación entre ellos. Ya hemos explicado en el tópico correspondiente a la caracterización físico - química de las aguas para cada asentamiento, la aplicación que presentan las mismas en el abastecimiento a zonas rurales del municipio fundamentalmente. Ahora bien, desde la panorámica de utilización de estas aguas para usos industriales, podemos plantear que sus aplicaciones son tan variadas como

numerosas. El agua se utiliza como un ingrediente más con otras materias primas en el producto terminado, o bien como un medio de transporte dentro de la fábrica, como un agente de lavado, para refrigeración y también como fuente de vapor de agua en la producción de energía. En lo que respecta a la calidad exigida por la industria para las aguas que se emplean, es necesario puntualizar en primer lugar que las exigencias son enormemente variables de unas industrias a otras y que por ello es imposible establecer unos standards o normas generales, como hemos hecho en el caso de las aguas de abastecimiento.

En general podemos decir que gran parte de los procesos industriales pueden utilizar sin problemas el agua que es apta para abastecimiento urbano; sin embargo algunos de ellos, como por ejemplo, la preparación de alimentos o bebidas, o la fabricación de pantallas de televisión, pueden necesitar un agua de mayor calidad que la utilizada para beber, aunque también se da frecuentemente el caso de que las exigencias de calidad para el agua industrial sean mínimas.

En cualquier caso, existe un aspecto muy importante en el abastecimiento de aguas a una industria, es decir, las concentraciones de los diversos componentes han de ser lo más constantes posibles.

El hecho de que un agua tenga una calidad relativamente mala, suele ser menos importante que el que la misma se mantenga constante a lo largo del tiempo, puesto que el primer problema se puede resolver con la instalación de la adecuada planta de tratamiento, mientras que las variaciones bruscas de calidad requieren una constante atención y producen gastos muy elevados.

De acuerdo con estas consideraciones que han sido expuestas y en correspondencia con los resultados de los análisis químicos obtenidos en laboratorio, podemos plantear que las fuentes de agua que han sido objeto de estudio pueden emplearse para usos industriales a excepción de la relacionada con punto de muestreo Cv, la cual debe entrar a considerarse producto del aumento en estas aguas del nitrito, fundamentalmente para época de seca.

En relación con la agricultura, existen muchas razones por las cuales resulta imposible fijar unos límites en las concentraciones de los elementos disueltos en el agua de riego, entre ellas que las plantas tienen unas tolerancias muy variables

respecto a la salinidad del agua y que su reacción frente a los componentes salinos depende de las condiciones climáticas, del método de riego y del tipo de suelo. Además las relaciones entre los distintos iones es importante; existen influencias antagónicas entre iones tales como el sodio y el calcio, entre el boro y los nitratos, entre el selenio y los sulfatos. Por otra parte se puede dar el hecho que el correcto drenaje de un suelo sea más importante que la composición del agua de riego. Aún cuando se usen aguas de excelente calidad, puede ocurrir que tierras mal drenadas dejen de producir, mientras que en el otro extremo, se dan casos que suelos bien drenados que producen buenas cosechas al regarlos con aguas relativamente cargada de sales.

Puede considerarse (*California State Water Resources Control Board*), que las aguas conteniendo hasta 1.000 mg/L de sales, son aptas para cualquier tipo de cultivo, incluso los más sensibles, supuesto un buen drenaje del terreno de labor. Hasta 2.150 mg/L las aguas pueden usarse con cualquier tipo de planta, excepto las anteriormente mencionadas y con concentraciones de hasta 3.150 mg/L se pueden cultivar tomates, coles y otras especies resistentes, supuesto siempre un buen drenaje. Este valor de 3.150 mg/L es prácticamente el máximo admisible dentro de los límites establecidos por las normas de aguas para riego.

Entrando a valorar los aspectos que hemos explicado con anterioridad, las aguas pertenecientes a los asentamientos rurales que han sido objeto de estudio, pueden ser aplicadas en la agricultura sin riesgos a producir efectos perjudiciales para las plantas.

Durante la confección y desarrollo de nuestro trabajo de diploma, el cual se fundamenta en la evaluación de la calidad natural de las fuentes de abasto de agua a los asentamientos rurales del municipio Moa, se pusieron de manifiesto una serie de importantes características que se recapitulan a continuación.

1. Todas las fuentes de abasto de agua presentan un bajo nivel de conservación de sus condiciones higiénico – sanitarias, no estando ninguna de ellas sometida a tratamiento de desinfección alguno, en las cuales existen evidencias de la proliferación de enfermedades parasitarias a gran escala, fundamentalmente en los niños y mujeres. Esta situación se pone de manifiesto fundamentalmente en el poblado de Cayo Grande de Yamanigüey.
2. La composición química promedio de las aguas es, para ambos períodos, bicarbonatada – clorurada y magnésico – cálcico – sódica, presentándose el fondo hidroquímico natural de estas regularmente estable, donde solo se aprecia un ligero aumento en algunos elementos tales como el hierro, magnesio, amonio, cloro y el nitrito. Por tanto, podemos clasificar en correspondencia a la interpretación de las características físico – químicas de cada uno de los asentamientos rurales, las aguas correspondientes a Yamanigüey y Cupey como potables, sanitariamente tolerables las que corresponden a Cañete, Quemado del Negro, Centeno, Jucaral y Cayo Chiquito, mientras que la fuente de abasto a Cayo Grande de Yamanigüey se considera como no potable, al igual que para época de seca el punto de muestreo Cv (pozo de Víctor) ubicado en Cañete.
3. Los asentamientos rurales estudiados, están asociados al complejo acuífero de las ofiolitas, pudiéndose apreciar el aporte de magnesio, hierro y sílice fundamentalmente por parte de las rocas que lo constituyen. Mientras que los puntos de muestreo Ct y Cn, pertenecen al complejo acuífero de los sedimentos terrígeno – carbonatados, evidenciándose cierta interacción con el agua de mar, por consiguiente, el lavado de los materiales rocosos proporciona con frecuencia aguas relativamente salinas aumentando los contenidos de cloruros, sulfato, sodio, calcio, magnesio y sílice.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Aquilo, Miguel...** [et al]. Introducción: Los estudios del medio físico. En: Guía para la elaboración de estudios del medio físico, 3ed. España.. Ministerio de Medio Ambiente, 1998, 38 – 62p.
2. **Aquilo, Miguel...** [et al]. Inventario del medio. En: Guía para la elaboración de estudios del medio físico, 3ed. España.. Ministerio de Medio Ambiente, 1998, 105 – 112p.
3. **de Miguel Fernández, Constantino.** Hidrogeología aplicada, 1ed. La Habana.. Editorial “Félix Varela”, 1999.
4. **Llamas, M. R; Custodio, E.** Evolución geoquímica de las aguas en los acuíferos. En: Hidrología Subterránea, 2ed. Barcelona.. Ediciones Omega, S.A, 1996, 1019 – 1027p.
5. **Llamas, M. R; Custodio, E.** Hidrogeoquímica. En: Hidrología Suterránea, 2ed. Barcelona.. Ediciones Omega, S.A, 1996, 1005 – 1018p.
6. **Llamas, M. R; Custodio, E.** Técnicas de estudio. En: Hidrología Suterránea, 2ed. Barcelona.. Ediciones Omega, S.A, 1996, 1037 – 1063p.
7. **Morell, Ignacio...** [et al]. Hidrogeología de Cuba: Curso internacional sobre Hidrogeología subterránea y Procesos de contaminación de acuíferos (Conferencia Invitada). Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, 1997.
8. **NC. 93 – 01 – 206: 1988.** (Cuba). Franjas forestales de las zonas de protección a embalses y cauces fluviales. Aprobada Marzo 1988. Vigente Septiembre 1986.
9. **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.

10. **NC. 93 – 02: 1985.** (Cuba). Higiene communal, Agua potable. Requisitos sanitarios y muestreo. Aprobada Octubre 1985. Vigente Marzo 1986.
11. **NC. 93 – 03: 1985.** (Cuba). Sistemas de abastecimiento de agua. Requisitos sanitarios. Aprobada Diciembre 1985. Vigente Septiembre 1986.
12. **Pérez, Niubis.** Caracterización de las aguas de consumo humano en los asentamientos rurales del suroeste del municipio de Moa, Holguín. [Tesis de grado], 1999. I.S.M.M, Moa.
13. **Quintas, Félix.** Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. [Tesis doctoral], 1989. I.S.M.M, Moa.
14. **Rodríguez, Alina.** Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. [Tesis doctoral], 1999. I.S.M.M, Moa.
15. **Sanz Pérez, Eugenio.** Captaciones y uso del agua para abastecimiento público en la zona rural de España. Tecnología del agua. (Barcelona) 116 (4): 29 – 32p., 1995.
16. **Viessman, Warren; L. Lewis, Gary.** Runoff and the Catchment. En: Introduction to Hydrology, 4th. New York.. Harper Collins College Publishers, 1996, 153 – 157p.