



**Facultad Geología y Minas**

**Departamento de Geología**

# **Trabajo de Diploma**

**En opción al Título de**

# **Ingeniero Geólogo**

**Título: Caracterización hidrogeológica de la zona baja del arroyo Los Lirios.**

**Autor: Lázaro Damian Valdes Toledo**

**Tutores: MSc. Amalia Beatriz Riverón Zaldívar**

**Moa- 2022**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tutora MSc. Amalia Beatriz Riverón Zaldívar, que sin pensarlo dos veces accedió dirigir mi investigación, y ser ella la persona que es, educadora, comprensiva sin dejar de ser exigente , accedió a tutorearme, y estoy totalmente agradecido y en deuda con ella. Al profesor Ing. Arián Jiménez García por su gran ayuda en la confección de los mapas de la tesis, sin él creo que sería difícil.

A mis familiares y amistades de Moa como de toda la universidad, por todo su apoyo en el transcurso de mis 5 años de universidad.

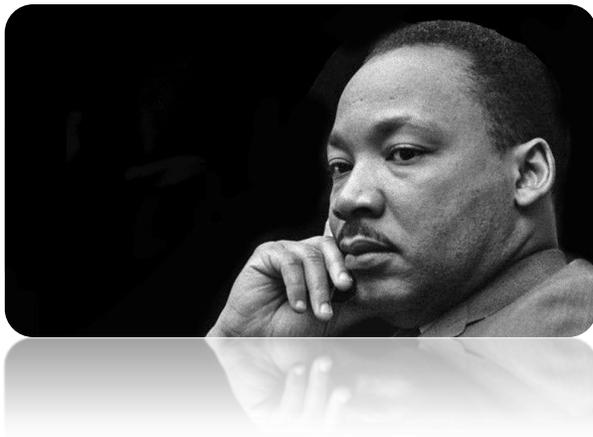
A los que estuvieron en los momentos difíciles, en los momentos duros.

# DEDICATORIA

A mis familiares, a mis padres, a mis abuelos, a mi hermano, a mi novia, a mis amistades, a todos los que confiaron en mi.

## PENSAMIENTO

*La función de la educación es enseñarnos a pensar intensamente y a pensar críticamente. Inteligencia más carácter. Esa es la meta de la educación.*



*Martin Luther King Jr.*

## **RESUMEN**

La presente investigación titulada “Caracterización hidrogeológica de la zona baja del arroyo Los Lirios”, tiene como objetivo principal caracterizar hidrogeológicamente acuíferos de la zona baja del arroyo Los lirios para profundizar el conocimiento de esta problemática y lograr un eficiente desarrollo de las actividades económicas programadas con el consiguiente ahorro de recursos. La metodología aplicada parte de los métodos tradicionales de investigaciones hidrogeológicas como el método histórico-lógico para la sistematización del conjunto de conocimientos y teorías relacionadas con el proceso objeto de estudio, y el método inductivo-deductivo para el establecimiento de las limitaciones de las teorías y las expresiones empíricas desarrolladas en el mundo para el cálculo de los parámetros hidrogeológicos, recopilando información de investigaciones realizadas con anterioridad en el área de estudio; procesamiento de la información en el que se realizaron mapas y tablas lo cual dio como resultado la caracterización hidrogeológica del área de estudio.

## **ABSTRACT**

The main objective of this research entitled "Hydrogeological characterization of the lower area of the Los Lirios stream" is to hydrogeologically characterize aquifers in the lower area of the Los Lirios stream to deepen the knowledge of this problem and achieve an efficient development of scheduled economic activities with the consequent saving of resources. The applied methodology starts from the traditional methods of hydrogeological investigations such as the historical-logical method for the systematization of the set of knowledge and theories related to the process under study, and the inductive-deductive method for the establishment of the limitations of the theories and the empirical expressions developed in the world for the calculation of hydrogeological parameters, compiling information from research carried out previously in the study area; processing of the information in which maps and tables were made, which resulted in the hydrogeological characterization of the study area.

# ÍNDICE

PENSAMIENTO .....	
DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTOS .....	
RESUMEN .....	
ABSTRACT .....	
ÍNDICE .....	
INTRODUCCIÓN .....	1
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
Marco teórico conceptual.....	3
CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS, SOCIO- ECONÓMICAS, GEOLÓGICAS Y PECULIARIDADES DE LA REGIÓN Y DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	14
Introducción .....	14
Características físico-geográficas.....	14
Ubicación geográfica del área de estudio .....	16
Características socioeconómicas regionales .....	18
Población .....	
Economía.....	
Clima.....	
Hidrografía.....	
Suelos.....	
Geología de la región .....	27

Tectónica .....	
Geomorfología .....	29
Hidrogeología .....	
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA Y VOLÚMEN DE LA INFORMACIÓN DESARROLLADA EN EL ÁREA DE ESTUDIO. ....	36
Introducción.....	
Etapa preliminar: Recopilación y revisión de la información existente. ....	36
Segunda Etapa: Procesamiento de la información. ....	37
Tercera Etapa: Interpretación de los resultados.....	40
CAPÍTULO III: NTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	41
Características Hidrogeológicas de la zona baja del arroyo Los Lirios .....	
Posibles incidencias de las condiciones hidrogeológicas en la ampliación de la presa de colas de la ECPSA.....	41
CONCLUSIONES.....	46
RECOMENDACIONES .....	47
BIBLIOGRAFÍA .....	48

## INTRODUCCIÓN

La utilización de las aguas subterráneas data de tiempos muy antiguos, ya en el Antiguo Testamento aparecían plasmadas numerosas referencias sobre agua subterránea, manantiales y pozos. Tolman describió los grandes túneles para la captación de agua subterránea en Persia y Egipto que datan de 800 años antes de nuestra era. Por tal razón y por su utilización para el desarrollo de la vida, debía ser buscada, estudiada y conservada, objetivo que permitió el desarrollo de una ciencia denominada Hidrogeología que se ocupa del estudio de las aguas subterráneas; que a nivel internacional comenzó a ser considerada en la década del cincuenta como ciencia independiente de la Geología, teniendo su mayor desarrollo a finales del sesenta del pasado siglo XX. (De Miguel, 2012). Un problema que aún suscita es el analizar las aguas subterráneas, erróneamente por muchos autores, desde el punto de vista hidráulico, enfocando sus leyes y particularidades, independientemente de los procesos geológicos que existieron y se producen en los territorios de desarrollo de las aguas. Este análisis de la hidrogeología es erróneo, pues el agua subterránea es un mineral más de composición simple que se diferencia de los demás minerales existentes en la naturaleza por sus propiedades de movilidad, reposición, origen y composición química a procesos de diversos orígenes. Este estudio no puede ni debe ser de forma unilateral, analizando solamente las características físicas y químicas de estas aguas, de las rocas donde se almacenan y por las cuales, a su vez, transitan. Para poder conocer el origen de las aguas subterráneas, su quimismo, composición y estructura de los horizontes y yacimientos acuíferos y cuencas subterráneas, es imprescindible definir los procesos que existieron en distintas épocas geológicas, es decir, esclarecer la Paleohidrogeología del territorio de estudio; lo que puede definir la participación de las aguas subterráneas en el intercambio hídrico en la naturaleza; para ello se requiere, además, el estudio de las condiciones geológicas, hidrográficas y climáticas locales o regionales, en

---

dependencia de la magnitud del área a investigar; con apoyo de otras ciencias que pueden proporcionar datos necesarios.

Las aguas subterráneas tienen la propiedad de ocupar una posición determinada en el espacio geológico, es decir, las mismas se encuentran relacionadas con determinadas estructuras geológicas. Independientemente de las propiedades de movimiento y reposición de las aguas subterráneas, estas ocupan zonas determinadas en la litosfera.

Razón por la cual es de interés en esta investigación conocer las características hidrogeológicas de la zona baja del arroyo Los Lirios por la importancia de conocer la exactitud mismas. De manera que los resultados de esta investigación profundizan en el conocimiento de esta problemática y constituyen un aporte para el desarrollo de la minería, con el consiguiente ahorro de recursos en el proceso industrial.

Por ello la presente investigación titulada “**Caracterización hidrogeológica de la zona baja del arroyo Los Lirios**” se plantea el siguiente **problema**:

Necesidad de conocer las características hidrogeológicas de la zona baja del arroyo Los Lirios para profundizar el conocimiento de esta problemática y lograr un eficiente desarrollo de las actividades económicas con el consiguiente ahorro de recursos.

**Objeto de estudio:** acuíferos de la zona baja del arroyo Los Lirios.

**Campo de acción:** características hidrogeológicas de acuíferos.

**Objetivo general:**

Caracterizar hidrogeológicamente acuíferos de la zona baja del arroyo Los lirios para profundizar el conocimiento de esta problemática y lograr un eficiente desarrollo de las actividades económicas programadas con el consiguiente ahorro de recursos.

**Objetivos específicos:**

- 1- Caracterizar los elementos y factores hidrogeológicos presentes.
- 2- Caracterizar el régimen y movimiento de las aguas subterráneas.

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis**: Si se conocen las características hidrogeológicas del acuífero en la parte baja del arroyo Los lirios entonces se puede lograr un eficiente desarrollo de las actividades económicas programadas con el consiguiente ahorro de recursos.

Los **métodos de investigación** empleados en la investigación son los siguientes:

- 1- Método histórico-lógico para la sistematización del conjunto de conocimientos y teorías relacionadas con el proceso objeto de estudio.
2. Método inductivo-deductivo para el establecimiento de las limitaciones de las teorías y las expresiones empíricas desarrolladas en el mundo para el cálculo de los parámetros hidrogeológicos.

## **MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Introducción**

Desde el punto de vista conceptual, se parte de las definiciones de suelos, humedad natural, precipitaciones, aguas freáticas, análisis de series temporales, entre otros.

### **Marco teórico conceptual**

#### **Suelos**

Desde diferentes ciencias se abordan definiciones de Suelos; para la presente investigación el concepto que se utiliza es dado por la Ingeniería Geológica, que define el suelo, como un agregado de minerales unidos por fuerzas débiles de contacto, separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación en agua. Como se observa en la figura 1, el suelo está constituido por la fase sólida, líquida y gaseosa. (González de Vallejo, 2002).

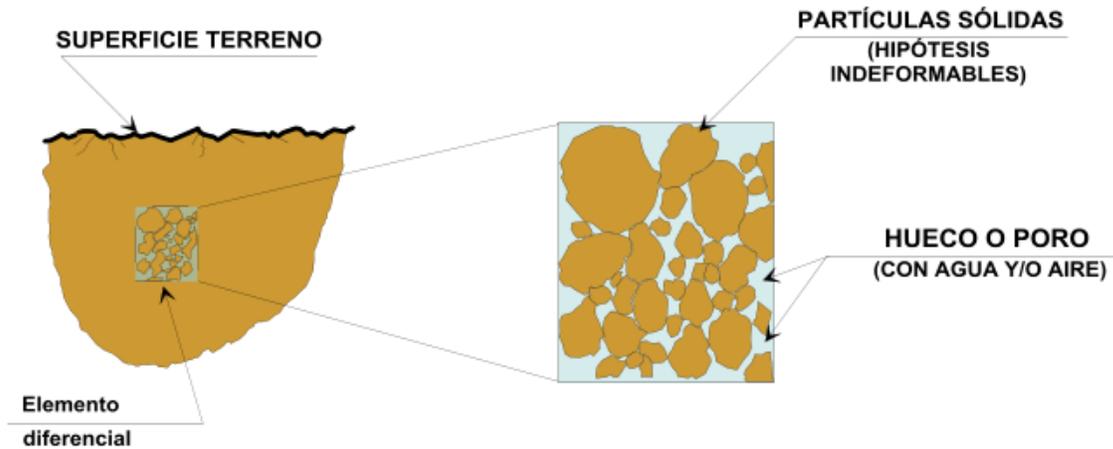


Figura 1: Constitución del suelo. (Modificado de González de Vallejo. 2002).

Para estudiar un material tan complejo como el suelo (con diferentes tamaños de partículas y composición química) es necesario seguir una metodología con definiciones y sistema de evaluación de propiedades. Así se han clasificado los suelos en cuatro grandes grupos en función de la granulometría: (ASTM, 1993).

**Gravas**, con tamaño de grano entre unos 8-10 cm y 2 mm, los granos se observan directamente. No retienen el agua por la inactividad de la superficie y los grandes huecos existentes entre partículas.

**Arenas**, con partículas comprendidas entre 2 y 0.060mm, todavía son observables a simple vista. Cuando se mezclan con el agua no se forman agregados continuos, sino que se separan de ella con facilidad.

**Limos**, con partículas comprendidas entre 0.060mm y 0.002mm. Retienen el agua mejor que los tamaños superiores. Si se forma una pasta agua-limo y se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se observa como el agua se exuda con facilidad.

**Arcillas**, formadas por partículas con tamaños inferiores a los limos (0.002mm). Se trata de partículas tamaño gel y se necesita que existan transformaciones químicas. La capacidad de retención del agua sea muy grande. La existencia en el

área de estudio de un macizo rocoso de composición ultrabásica, un clima cálido y húmedo, un relieve que no permite que el escurrimiento superficial favorezca la erosión y transporte de los productos de meteorización y la presencia de un sistema de grietas y fisuras de diversos orígenes propician el desarrollo de potentes horizontes lateríticos, utilizados como base natural de las construcciones.

La figura 2 representa un perfil laterítico generalizado de la región de Moa en el cual se distinguen 4 zonas que se caracterizan a continuación de arriba hacia abajo (Brand N.W., Butt C.R.M., Elias M. 1998).

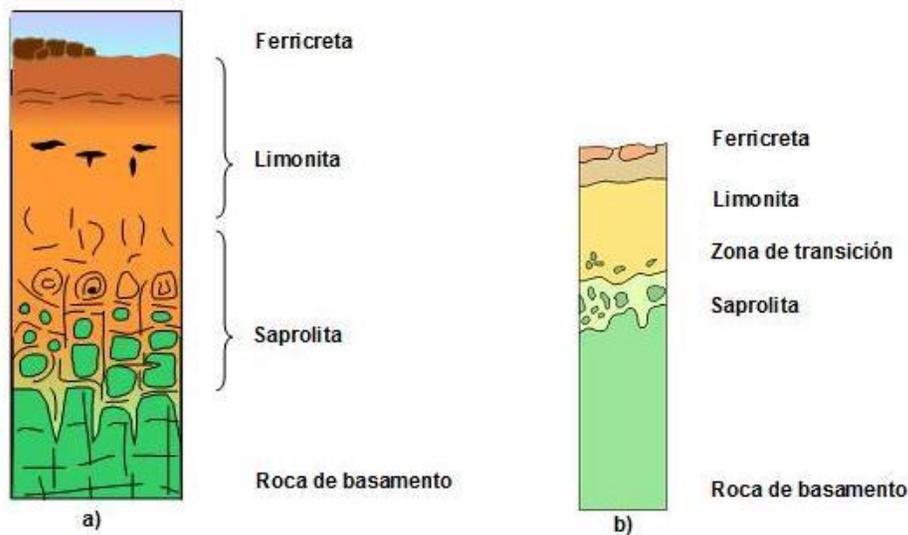


Figura 2: **a)** Perfil laterítico desarrollado sobre roca ultramáfica en una zona tropical.**b)** Perfil laterítico generalizado de tipo óxido de la región de Moa. (Modificado Brand N.W., Butt C.R.M., Elias M. (1998).

**1 – Ferricretas:** presenta un color marrón oscuro, con tonalidades negras. En la parte superficial se observan partículas de forma esférica de hidróxidos de Fe, frecuentemente cementadas entre sí por material ferruginoso, de composición similar al que forman los propios hidróxidos, estos procesos de cementación dan lugar al crecimiento de capas de hidróxidos de hierro de variadas dimensiones, que pueden tener varias toneladas de peso. El proceso de cementación de los

hidróxidos de hierro es el resultado de los procesos a los que está expuesto el corte laterítico en condiciones naturales, debido a las variaciones climáticas anuales. La Potencia es variable entre 0.2-15 m. Granulométricamente predomina la fracción areno gravosa.

**2- Zona limonítica:** se caracteriza por un color ocre o marrón oscuro. Su potencia es variable 2-6 m. Presenta una humedad mayor que la zona superior. La granulometría es limo-arcillosa, predominando la fracción limo.

**3- Zona de transición:** constituye la zona de transición entre la zona limonítica y la saprolítica. La coloración del corte es pardo-amarilla. Su granulometría es limo-arcillosa, con predominio de la fracción limo. En su interior se pueden encontrar bloques de la zona saprolítica. Esta zona se corresponde con la zona de variación del nivel freático del agua durante las diferentes estaciones del año (ciclos de secado y humedecimiento), aspecto que favorece la hidratación, disolución, transporte y precipitación de los diferentes elementos o compuestos químicos.

**4- Zona saprolítica:** la coloración verde-amarilla varía en relación con su grado de alteración. Esta zona presenta mayor irregularidad en cuanto a su extensión y potencia. Normalmente el material se encuentra en estado saturado. La granulometría es de tipo limo-arcilloso, predomina la fracción limo en más del 50% de su peso. Está compuesta por peridotitas y harzburgitas serpentinizadas muy meteorizadas.

El estudio geotécnico del perfil laterítico del área de estudio tropieza con particularidades muy específicas para cada zona del corte, que hacen clasificar las mismas en diferentes tipos de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS).

Por ello se realiza la división en dos grandes grupos para cada zona del perfil laterítico (Riverón B, 1996) según su composición granulométrica:

**Suelos gruesos:** Gravas y arenas

**Suelos finos:** Limos y Arcillas**Humedad Natural**

Para identificar el estado inicial del suelo una vez que ya se conoce su tipo, se determina la concentración relativa de sólidos, volumen relativo de huecos y contenido relativo de agua en un volumen elemental representativo de un punto o zona del suelo. Definiendo el contenido de humedad natural del suelo (  $\omega$  ) y comparándolo con las humedades del límite líquido y el límite plástico, se tiene una idea de la consistencia inicial del suelo y si las muestras representan suelos diferentes (González de Vallejo, 2002). Por ello es un parámetro que depende de la porosidad, índice de poros, cantidad de precipitaciones y composición granulométrica y suele variar entre 5-8% en suelos granulares (arenas y gravas) y entre 60 y 70 % en suelos arcillosos, aunque en algunos suelos orgánicos y marisma alcanzan valores de 300-400%.

Para la determinación de la humedad natural en el laboratorio se emplea el Método de la estufa siguiendo el procedimiento según la **NC 67: 2000 Determinación del contenido de humedad natural de los Suelos y Rocas en el Laboratorio**, basada en las ASTM.

Se calcula la humedad mediante la siguiente expresión:

$$\omega = \frac{W_h \cdot T - W_s \cdot T}{W_s \cdot T - T} \cdot 100$$

Donde:

$\omega$ : es el contenido de humedad respecto a la masa seca, en tanto por ciento.

$W_h T$ : es la masa húmeda más la masa del recipiente (pesafiltro), en gramos.

$W_s T$ : es la masa seca más la masa del recipiente (pesafiltro), en gramos.

T: es la masa del recipiente (pesafiltro) (tara), en gramos.

### **Permeabilidad.**

Como permeabilidad se denomina la propiedad de las rocas de permitir el paso de líquidos, gases y sus mezclas a través de ellas en presencia de cambios de presión o cargas hidráulicas. La permeabilidad depende de las dimensiones de los poros y grietas que se comunican entre sí en las rocas y se caracterizan por el coeficiente de filtración en unidades de velocidad (cm/; m/día). De acuerdo con la Ley de Darcy el caudal de las aguas de filtración Q en la unidad de tiempo es proporcional al coeficiente de filtración K, al área de filtración F y al gradiente hidráulico I, es decir:

$$Q = K.F.I$$

El gradiente hidráulico I representa la pendiente del nivel del agua en acuíferos freáticos y en acuíferos artesianos la pendiente de las presiones en el acuífero. En ambos casos referenciados a dos puntos con datos de la posición del nivel, ubicados en perfil paralelo a la dirección del flujo subterráneo.

$$I = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

Donde:

H1 y H2: Mayor y menor cota del nivel del agua en dos puntos ubicados en perfil paralelo a la dirección del flujo subterráneo, m.

L: distancia entre los dos puntos con determinación de H1 y H2, m.

El coeficiente de filtración es igual a la velocidad de filtración cuando el gradiente hidráulico I es igual a la unidad.  $K = V$  cuando  $I = 1$

**Permeabilidad absoluta:** Por ella se entiende la permeabilidad de las rocas estando estas totalmente saturadas por líquido y gases, y la ausencia de la interacción físico-química entre el líquido y gases con la roca.

**Permeabilidad efectiva:** Por ella se entiende la permeabilidad de las rocas solo para gases o líquidos durante el movimiento en ellos de otros fluido, líquido o gaseoso. En condiciones naturales en los estratos productivos a menudo tiene lugar movimientos tri y bidimensional de agua, petróleo y gas; agua y petróleo; agua y gas.

**Permeabilidad relativa:** con ella se caracteriza la relación de la permeabilidad efectiva con la absoluta, y se expresa con unidades adimensionales, por lo general siempre presenta valores menores que la unidad

**Capilaridad.** Como ya ha sido mencionado, las rocas contienen poros, grietas y otras cavidades de distintas formas y dimensiones. Los poros pequeños presentan propiedades similares a los tubos capilares corrientes, diferenciándose de ellos solo por la forma de su sección y orientación en el espacio. Los poros capilares pueden estar comunicados entre sí o independientes unos de otros, formando en una sección del espacio una compleja red capilar. En la zona de aireación (zona no saturada) ubicada sobre el nivel de las aguas freáticas, se desarrollan presiones capilares, las cuales originan aguas capilares, estas en una estructura homogénea de la zona de aireación, generalmente están fuertemente unidas con el nivel de las aguas freáticas; en una estructura heterogénea formada en perfil por lentes y estratos arcillosos, la unión con el nivel de las aguas freáticas puede no existir o tener un carácter sumamente complejo.

En los poros capilares de las rocas la superficie del agua toma una forma cóncava en dirección al agua. Las fuerzas de la tensión superficial están dirigidas en forma de tangentes a la superficie cóncava; las fuerzas verticales de la tensión superficial están dirigidas en una dirección y forma la fuerza  $P$ , bajo la acción de la cual el agua asciende hasta la altura  $H_c$  (altura de ascenso capilar). Esta altura sirve de medida a las capilaridades de las rocas.

La altura de los ascensos capilares depende de las dimensiones de los poros capilares, granulometría de las rocas de la zona de aireación, forma de las partículas, densidad y homogeneidad de su deposición, del peso específico, temperatura, mineralización y composición salina de las aguas.

En rocas areno-arcillosas la altura del ascenso capilar puede ser determinada por la fórmula de Kozeni:

$$H_c = 0,446 \frac{1-n}{n} \cdot \frac{1}{d_e}$$

Donde: Hc: altura del ascenso capilar, cm; n: coeficiente de porosidad; de: diámetro efectivo de las partículas (diámetro del 10 % de contenido de partículas por análisis granulométrico), cm.

### **Aguas Freáticas.**

Las aguas freáticas son las primeras que se encuentran a partir de la superficie del terreno en un horizonte acuífero con superficie libre y que yace sobre un estrato impermeable.

El régimen de las aguas freáticas caracteriza las variaciones de sus reservas; con ellas, sus niveles y características físicas y químicas en tiempo y espacio bajo la influencia de los factores antes relacionados

**Aguas Freáticas.** Las aguas freáticas son las primeras que se encuentran a partir de la superficie del terreno en un horizonte acuífero con superficie libre y que yace sobre un estrato impermeable.

**Flujo freático:** Movimiento del agua en el horizonte bajo la influencia de la fuerza de gravedad, y está dirigido en concordancia con la dirección del gradiente de la superficie de las aguas freáticas.

El régimen de las aguas freáticas caracteriza las variaciones de sus reservas; con ellas, sus niveles y características físicas y químicas en tiempo y espacio bajo la influencia de los factores antes relacionados.

G. N. Kamiński clasifica el régimen de las aguas freáticas en cuatro tipos:

**De parte aguas:** se forman bajo la influencia de variaciones de las magnitudes de la infiltración de las aguas atmosféricas, evaporación y del escurrimiento subterráneo.

**Marginales:** determinado principalmente por la oscilación del nivel de las aguas superficiales: ríos, lagos, mares.

**Premontañoso:** conjuntamente con la infiltración de las aguas atmosféricas se infiltra un gran volumen de aguas del escurrimiento superficial, incluyendo de los ríos.

**De congelación:** se caracteriza por una congelación total o parcial de las aguas freáticas.

**Aguas artesianas.** Las aguas artesianas son las aguas subterráneas que yacen y circulan en horizontes acuíferos entre estratos impermeables en los límites de estructuras geológicas considerablemente grandes (sinclinales, monoclinales y otras), formadas por rocas precuaternarias, raramente en rocas de edad cuaternaria.

Las estructuras que contienen uno, dos o varios horizontes acuíferos y complejos con presión y que presentan magnitudes considerables por su área se denominan cuencas artesianas, algunos autores las denominan cuencas de aguas con presión.

Las **aguas artesianas** según A.M. Ovchínikov, se encuentran dentro de los sistemas de aguas con presión formadas por aguas porosas, poroso-fisurosas y poroso-fisuroso-cársticas de horizontes o complejos acuífero, que presentan zonas de alimentación actual, presiones y descarga, generalmente formando las denominadas cuencas artesianas.

Las cuencas artesianas independientemente al tipo que correspondan, presentan las siguientes partes principales, distintas por sus condiciones hidrogeológicas:

zona de alimentación. Zona de presión (almacenamiento y tránsito) y zona de descarga.

**Zona de alimentación:** Esta representada por el área de afloramiento de las rocas acuíferas a la superficie del terreno. Esta zona se encuentra ubicada en las cotas más altas de la cuenca. Las aguas subterráneas en la zona de alimentación no presentan presión, tienen relación directa con la atmósfera y a menudo son dominadas por la red hidrográfica existente en esta zona.

**Zona de presión:** Es el área de mayor desarrollo de las cuencas artesianas, dentro de los límites de la cual el nivel de las aguas subterráneas de los horizontes o sus complejos acuíferos yace sobre el techo de los mismos (nivel piezométrico). La altura en vertical de la estabilización del nivel sobre el techo del acuífero será la carga hidráulica (presión). El nivel piezométrico puede ser positivo o negativo, cuando el mismo se encuentra sobre la superficie del terreno o bajo de ella respectivamente. En dependencia con la alimentación, drenaje y explotación del acuífero, el nivel piezométrico puede variar su posición pasando de positivo a negativo o viceversa. Para las aguas con presión se confecciona el mapa de hidroisopiezas, que representa la unión de los puntos con cotas absolutas o relativas del nivel con una línea (de magnitud invariable), mediante la extrapolación de los valores de las cargas en planta (presiones), con lo que se obtiene la superficie piezométrica de un área determinada o de la cuenca en general, según la magnitud del área de estudio.

**Zona de descarga:** Es la zona de salida de las aguas con presión a la superficie; la descarga puede ocurrir también de forma submarina al aflorar las rocas acuíferas a la superficie del relieve bajo aguas fluviales o marinas; por lo general la descarga se realiza a través de manantiales ascendentes de formas diversas.

Es necesario señalar que en muchas cuencas artesianas la descarga subterránea de las mismas es muy limitada; cuando ella ocurre, la misma se realiza generalmente a través del parte aguas entre dos cuencas, o como lo denominó n.

I. Tolstíjin, se ejecuta el trasvase de una cuenca a otra; en este caso la zona de descarga de una cuenca representa la zona de alimentación de otra.

Las cuencas artesianas generalmente contienen varios horizontes acuíferos y complejos, cada uno de los cuales con la ausencia de relación hidráulica entre ellos, se caracteriza por su propia superficie piezométrica, definida por los niveles de agua de las zonas de alimentación y de descarga de cada horizonte o complejo.

### **Las Precipitaciones**

El estudio de las mismas es necesario por sus múltiples aplicaciones, entre otras, para la estimación de avenidas, para el cálculo y diseño de las estructuras de conservación de suelos y para conocer su influencia en la humedad de los suelos.

En el concepto de precipitación se incluye todo tipo de agua que cae o se deposita sobre la superficie terrestre, ya sea en forma líquida o sólida; y su estudio es un tema necesario e imprescindible que requiere cada día un mayor desarrollo y avance en las investigaciones de este campo para conocer realmente la influencia y comportamiento de las mismas. La medida de la precipitación sobre el área del estudio se realiza por medio de los pluviómetros. Se basan en la recogida de la precipitación en un elemento denominado colector. La precipitación se mide por volumen y su registro se realiza por lectura directa o por registro gráfico o electrónico (Rodríguez, R et al. 2004).

Los trabajos precedentes en esta área de estudio desde el punto de vista hidrogeológico han estado dirigido a la determinación de las características físico químicas del agua y no a la dinámica o movimiento de las aguas subterráneas.

## **CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS, SOCIO-ECONÓMICAS, GEOLÓGICAS Y PECULIARIDADES DE LA REGIÓN Y DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

### **Introducción**

En el presente capítulo se describen los principales rasgos físico-geográficos, así como también las características socio-económicas del municipio donde está enmarcada el área de estudio. Por último los rasgos geológicos, las características tectónicas, hidrogeológicas y geomorfológicas.

Todo esto permitirá conocer de manera general las peculiaridades de la zona.

### **Características físico-geográficas**

El municipio de Moa se encuentra ubicado en el extremo oriental de la provincia de Holguín; limitado al norte por el Océano Atlántico, al sur con el municipio Yateras, al este con el municipio Baracoa y al oeste con los municipios Sagua de Tánamo y Frank País. Tiene una extensión territorial de 732.6 km<sup>2</sup>. Próximos a sus costas se encuentran los cayos Moa Chico y Moa Grande situados frente a la Ciudad de Moa y Cayo del Medio en la Bahía de Yamanigüey.

La región se encuentra enclavada en el grupo orográfico Sagua-Baracoa, lo cual hace que el relieve sea predominantemente montañoso, principalmente hacia el sur, donde es más accidentado en la Sierra de Moa con dirección submeridional. Hacia el norte el relieve se hace más suave con cotas que oscilan entre 40 y 50 m como máximo, disminuyendo gradualmente hacia la costa (Figura 4).

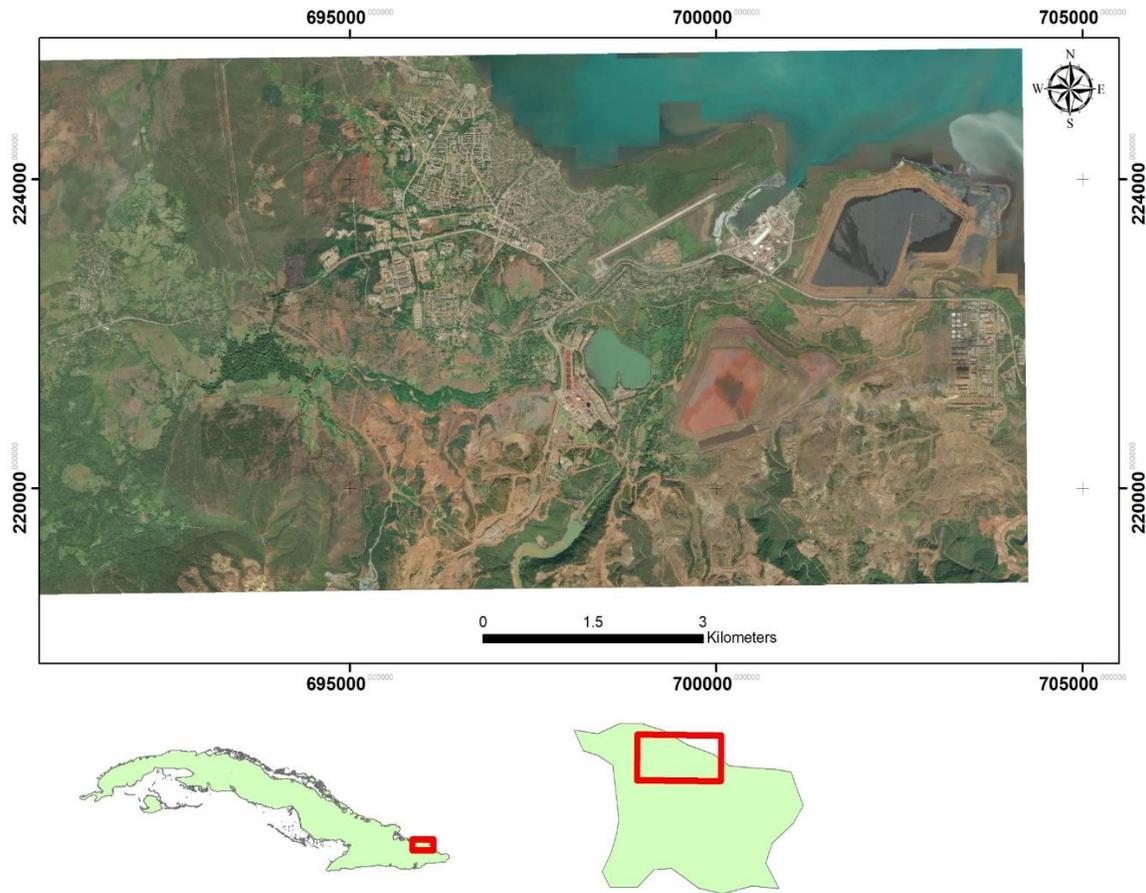


Figura 3: Mapa de ubicación geográfica del municipio de Moa.

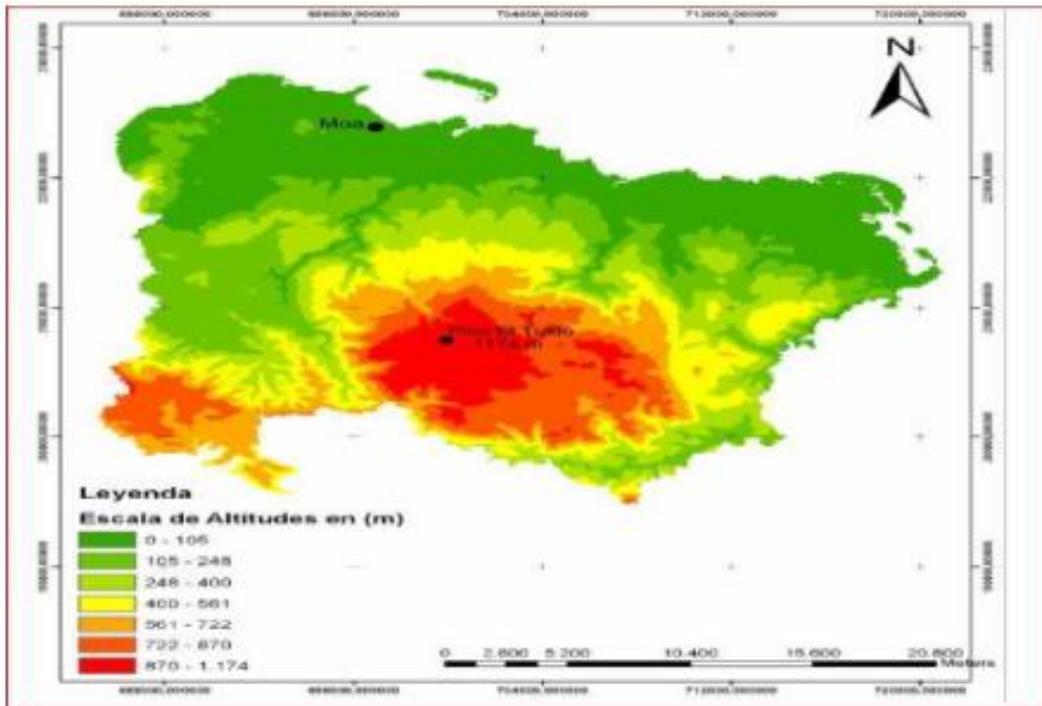


Figura 4: Esquema de altitudes del municipio Moa, donde se destaca el Pico El Toldo, punto de mayor altitud ubicado en la parte sur.

### Ubicación geográfica del área de estudio

La zona de estudio se encuentra al sureste de la ciudad de Moa a unos 2km aproximadamente de distancia de norte a sureste del Puerto Moa hasta el área de estudio donde se encuentran los pozos hidrogeológicos (figura 5). que se encuentra en el interfluvio del arroyo Los Lirios (figura 6). Al oeste se encuentra la presa de colas de la ECPSA y al noroeste la ECG.

Pozo	X	Y
A	701105,00	220287,00
E	701549,00	221062,00
F	701800,00	221144,00
G	702039,00	221365,00
H	702400,00	221388,00
J	702662,00	221188,00
L	701651,00	221352,00

Figura 5: Tabla 1 Coordenadas de los pozos hidrogeológicos

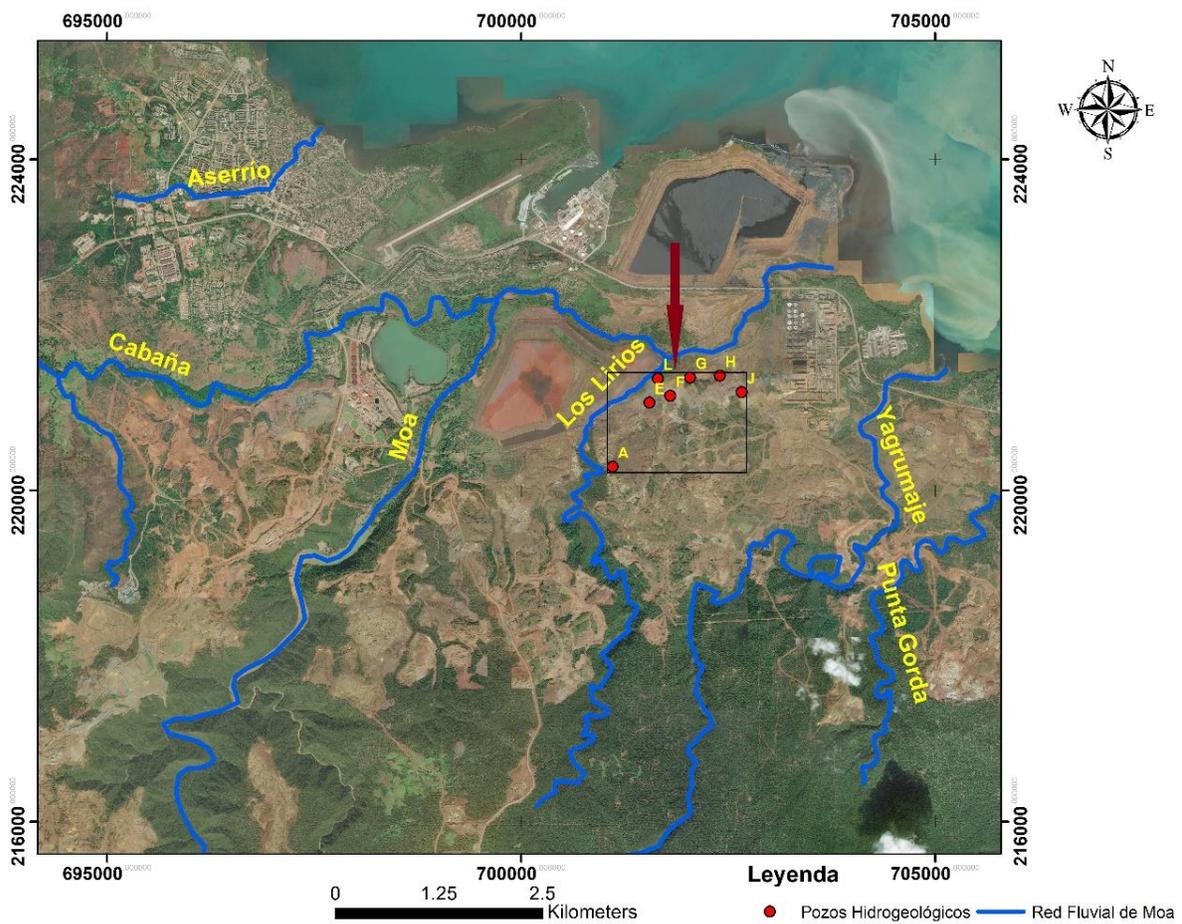


Figura 6: Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.

## **Características socioeconómicas regionales**

### **Población**

Al municipio Moa están integrados 21 asentamientos poblacionales, dos urbanos y 19 rurales, de los cuales, cuatro forman parte del Plan Turquino. Al este del territorio están situados siete asentamientos, uno de ellos urbano, Punta Gorda y seis rurales. Al oeste se encuentran 8 asentamientos rurales con baja densidad poblacional, colindantes con los municipios de Sagua de Tánamo y Frank País. Al sur, muy próximo a la cabecera municipal está situado el asentamiento La Veguita. Más al sur, en medio del macizo montañoso radican tres de los cuatro asentamientos de montaña que tiene el territorio. El otro asentamiento rural de montaña es La Melba, al sureste, colindante con el municipio Yateras, provincia Guantánamo.

La población del municipio al cierre de diciembre del 2017 era de 74 358 habitantes, que lo sitúa en el cuarto lugar de la provincia, con una densidad poblacional de 97,4 habitantes por kilómetro cuadrado, el sexto lugar a nivel 17 provincial en este indicador. La tasa de crecimiento anual es de -3,8 por mil habitantes, lo que significa que la población decrece. La cabecera municipal es la ciudad de Moa con más de 62 000 habitantes.

### **Economía**

El municipio Moa se encuentra dentro de las zonas más industrializadas del país, no solo por sus riquezas minerales, sino además, porque cuenta con dos plantas procesadoras de níquel en producción, la Cmdt. Ernesto Che Guevara y la Pedro Soto Alba. Este constituye el segundo renglón exportable del país. Además de estas industrias metalúrgicas, existen otras instalaciones de apoyo a la metalurgia y minería, tales como la Empresa Mecánica del níquel, Centro de Proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL), la Empresa Constructora y Reparadora del Níquel (ECRIN), entre otras. La Empresa Puerto Moa Cmdt. Raúl Díaz Arguelles garantiza el desarrollo eficiente y oportuno del comercio marítimo, así como la

exportación de níquel y cobalto proveniente de las 2 plantas procesadoras del municipio.

Otros organismos de los cuales depende la economía de la región son: la Empresa Geólogo-Minera y diferentes instalaciones de apoyo social, tales como: la presa Nuevo Mundo (la más profunda del país), el Tejar de Centeno, y el Combinado Lácteo. En la región se explotan también los recursos forestales por la Empresa Municipal Agroforestal (EMA), al constituir los recursos forestales un eslabón importante de la economía de la región.

El municipio forma parte del sistema montañoso Mayarí-Sagua-Moa-Baracoa, el mismo representa la zona de mayor biodiversidad del país con un 68% de especies autóctonas. El área sur del municipio queda englobada dentro de una reserva de la biosfera declarada por la UNESCO en el año 1998. La vegetación presente en el área es variada, encontrando formaciones vegetales tales como: pinares, bosque en galería, arbustivo y vegetación secundaria. El municipio de Moa tiene una situación particular, siendo la vegetación del mismo muy característica, por lo que ha evolucionado una flora muy típica que comprende el 33 % de todos los endemismos cubanos. La vegetación de estos suelos se mantiene por la elevada humedad y por los mecanismos de conservación de los nutrientes que los mismos han desarrollado, predominando el pinus cubensis y plantas latifodias, endémicas de la región. Debe destacarse que los pinares presentan hojas en forma de agujas, estos tienen alturas que oscilan entre 20 y 30 m, con una cobertura que constituye entre el 80 y el 90 % de la superficie. Entre los principales exponentes presentes en la región, incluimos los siguientes:

Pinus Cubensis

Jacarandá Arbóreo (Abey, Framboyán azul).

Clusia Rosea (Copey).

Cacaloba Shafan (Uvilla).

Euphorbia Helenae (Jazmín del Pinar).

Bactris Cubensis (Pajua).

*Arthrostylidium* ssp (Tibisí).

Esta es la vegetación más importante y explotada económicamente, es muy valiosa en la biodiversidad y en la ecología por constituir una flora generadora de suelo. De estas especies 17 son exclusivas de Moa, 5 en peligro de extinción y 20 vulnerables a la desaparición. Las clases de más baja densidad de vegetación se distribuyen hacia el norte del área y en la parte central, relacionadas espacialmente con las actividades minero-metalúrgicas y agropecuaria ocupando más del 18% del área total del municipio Moa. Las actividades mineras son las que provocan la mayor pérdida de vegetación y alteración de las condiciones naturales de los suelos (Figura 7)

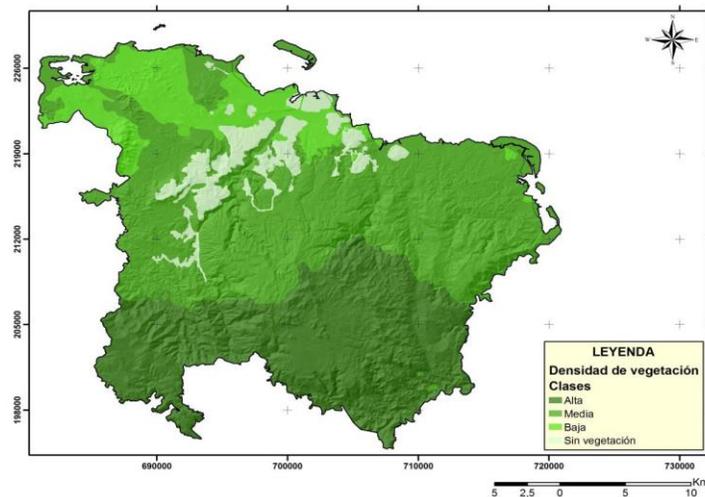


Figura 7. Mapa de densidad de vegetación (Escala original 1:25 000) Tomado de (Céspedes, Y. 2014)

Existe variedad de suelos producto al clima, la vegetación y la morfología.

Suelos Ferríticos. El cual posee características físico-químicas como presencia de nódulos ferruginosos que representan menos del 20% del volumen de la masa del suelo, tiene más de 50% de sesquióxidos de hierro, la composición de minerales secundarios está representada por hematita, geothita, gibbsita y trazas de minerales arcillosos y es de 10 cm de espesor si descansa directamente sobre la roca madre. Estos suelos poseen muy baja fertilidad natural.

Suelos Esqueléticos (Lithosoles). Se trata de suelos poco profundos, con alto contenido de gravas y fragmentos de la roca madre en superficie, donde hay poca

alteración de los minerales primarios. Aparecen en niveles fuertes de pendientes (15° a 35°), rodeando las superficies interfluviales de los ríos Moa y Cabaña.

Suelos aluviales (no carbonatado). Se relacionan espacialmente con las áreas de la llanura de inundación del río Cabaña. Se caracterizan por la ausencia de horizontes genéticos bien diferenciados. El pH, la saturación, la capacidad de cambio son variables en relación con los materiales de origen y las condiciones de sedimentación en el valle. Se diferencia el horizonte húmico que contiene no menos del 3% de materia orgánica, con una profundidad mayor o igual a 15 cm.

Suelos cenagosos. Se encuentran gran parte del año sumergidos o con el manto freático a pocos centímetros de la superficie. Ocupan las áreas del litoral del área, ubicadas al oeste y norte de la presa de cola de la empresa niquelífera Ernesto Guevara. Reciben la influencia de las aguas del mar, por lo que se encuentran salinizados. En el perfil del suelo aparecen materiales areno-arcillosos color pardo negro e intercalaciones de materiales carbonizados.

El clima es tropical húmedo y está influenciado por la orografía ya que las montañas del grupo Sagua - Baracoa sirven de pantalla a los alisios del noreste que descargan abundantes lluvias en la parte norte. La zona se encuentra bajo el régimen de brisas y terrales. Los meses más cálidos son julio-septiembre con temperatura media de hasta 30.50C y los más fríos son enero y febrero con mínimas de 22-240C.

La humedad relativa media anual es de 85%, los meses de mayor humedad son diciembre con un 94%, noviembre con un 86% y octubre con un 90%. Siendo estos tres meses el período de mayor humedad relativa del territorio. La evaporación anual presenta valores entre 2200 - 2400 mm; los meses de julio y agosto son los más secos. Los vientos son de moderada intensidad, en superficie presentan dirección noreste-este fundamentalmente. La distribución frecuencial anual de la dirección e intensidad del viento durante el año muestra que el 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

temperatura media anual oscila entre 22,6 °C –30,5 °C, en el verano se alcanzan valores de 30 °C hasta 32 °C y en el invierno de 22 °C a 26 °C, siendo los meses más calurosos desde julio hasta septiembre y los fríos de enero a febrero. Las presiones atmosféricas presentan una media anual de 1017,3 hPa, siendo la media máxima mensual de 1022,2 hPa en el mes de septiembre (Dunán Àvila, 2018)

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 2 300 - 2 600 mm, y son unas de las mayores pluviometrías del país, con una media histórica de 2 600 mm /año (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos I.N.R.H). El estudio pluviométrico se realiza a partir del análisis de tres series temporales de datos correspondientes a pluviómetros distribuidos de forma irregular que tienen influencia en la región en los periodos comprendidos de 1989 a 2009 (21 años), 2009 -2021 (13 años).

Se identifican dos períodos de lluvia (Mayo-Junio) y (Octubre-Febrero) y dos de sequías (Marzo-Abril) y (Julio-Septiembre). En el verano las lluvias tienen carácter de aguaceros y en el invierno son menos intensas pero más permanentes.

Como se aprecia, la lluvia constituye uno de los factores que influyen en la contaminación de las aguas superficiales en el municipio, ya que arrastra gran cantidad de sólidos en suspensión y otros contaminantes que van a parar a las cuencas hidrográficas, sobre todo en los períodos lluviosos. Los períodos de incidencia en la contaminación por arrastre superficial coinciden con los períodos de lluvias prolongadas, fundamentalmente de noviembre a enero. En las zonas con abundantes precipitaciones en el territorio, la mayor parte del agua fluye desde las divisorias de las aguas, al sur del municipio hacia la costa.

De acuerdo a los datos históricos de los análisis pluviométricos perteneciente a la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de la provincia Holguín el promedio de las precipitaciones mensuales para cada serie temporal analizada que corroboran la existencia de dos máximas, una principal correspondiente a 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.

Los ríos se alimentan por las precipitaciones atmosféricas con origen en las zonas montañosas del grupo Sagua-Baracoa, aunque el flujo base se produce a partir de numerosos manantiales de poco caudal y régimen permanente que drenan el acuífero fisural de baja acuosidad desarrollado en el macizo ultrabásico, cuyas reservas dinámicas se renuevan periódicamente, producto de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones, favoreciendo la existencia de una red hidrográfica que corre de Sur a Norte, del tipo dendrítica aunque en algunos casos se observa la red subparalela.

De acuerdo a la extensión superficial de las cuencas hidrográficas los ríos más importantes son el río Moa, con un área de 156 km<sup>2</sup> y los ríos Cayo Guam, Cabañas, Quesigüa, Yagrumaje, Yamanigüey y Punta Gorda con cuencas hidrográficas muy inferiores, pues ninguna supera los 100 km<sup>2</sup> (figura 8).

Estos ríos desembocan en la Bahía de Moa, forman deltas cubiertos de mangles, apreciándose en los mismos una zona de erosión y otra de acumulación. Estos ríos forman terrazas al llegar a la zona de pie de monte y tienen numerosos meandros, sus orillas son abruptas y erosionadas en las zonas montañosas, mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas.

Se alimentan por las precipitaciones atmosféricas con origen en las zonas montañosas del grupo Sagua-Baracoa, aunque el flujo base se produce a partir de numerosos manantiales de poco caudal y régimen permanente que drenan el acuífero fisural de baja acuosidad desarrollado en el macizo ultrabásico, cuyas reservas dinámicas se renuevan periódicamente, producto de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones, favoreciendo la existencia de una red hidrográfica que corre de Sur a Norte, del tipo dendrítica aunque en algunos casos se observa la red subparalela.

De acuerdo a la extensión superficial de las cuencas hidrográficas los ríos más importantes son el río Moa, con un área de 156 km<sup>2</sup> y los ríos Cayo Guam, Cabañas, Quesigüa, Yagrumaje, Yamanigüey y Punta Gorda con cuencas hidrográficas muy inferiores, pues ninguna supera los 100 km<sup>2</sup>.

**El río Moa**, nace en la cota 950 m y desemboca en la bahía de Moa, tiene 21 km de extensión y corre en dirección noroeste–noreste, se alimenta de los ríos Calentura, Los Guineos, Arroyón y de arroyos y cañadas que bajan desde regiones montañosas. Su cauce presenta numerosos meandros, aunque su principal fuente de alimentación son las precipitaciones atmosféricas. Presenta un caudal en seca de 0.4 m<sup>3</sup>/s y en época de lluvias alcanza 20 m<sup>3</sup>/S. Actualmente su flujo está regulado por la Presa Nuevo Mundo y la presa Derivadora de Planta de Agua perteneciente a la Empresa Comandante Che Guevara.

**El río Cayo Guam**, nace en la cota 820 m y desemboca en el Océano Atlántico, su área de alimentación es de 57.71 Km<sup>2</sup>. El río Quesigua, nace en la cota 420 m desemboca en el Océano Atlántico, su área de alimentación asciende a 26.7 Km<sup>2</sup>. El río Yagrumaje situado al sudoeste del yacimiento “Punta Gorda”, tiene su nacimiento en la cota 620 m y su desembocadura en el Océano Atlántico. Forma barrancos casi verticales, su longitud es de 11 Km, su cuenca tiene un área aproximada de 12 Km<sup>2</sup>. El río Jiguaní nace a 700 m y ocupa un área de alimentación de 21 km<sup>2</sup>.

**Arroyo Aserrió**. Desemboca en la Bahía de Moa (Océano Atlántico) en forma de un pequeño delta, tiene de extensión aproximadamente 10Km, circula a través de la zona urbana de Moa, atravesando los repartos Caribe, Coloradas hasta el reparto La Playa. Su principal fuente de alimentación son las precipitaciones atmosféricas, este río mantiene sus aguas durante todo el año; a lo largo de su cauce se observa que el mismo sirve de receptor natural a todos los vertidos de diferente naturaleza que el hombre realiza de forma indiscriminada, lo que deteriora la calidad de sus aguas totalmente. Se pudo apreciar que en él se vierten parte de los desechos de la ciudad, hay una gran cantidad de desperdicios

(basura), a él van a parar todos los desagües tanto albañales como fecales de las casas cercanas; en la desembocadura existe gran cantidad de lodo negro por el vertimiento fecales de animales y petróleo. Estas aguas expiden olores desagradables y tienen un alto grado de turbidez.

**Río Cabañas.** 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 2 m de margen izquierdo. Recibe su primer impacto con las aguas del arroyo afluente La vieja que acarrea grandes cantidades de material articulado originado del escurrimiento de los frentes de minería de la Fábrica P.S.A cuyas características químicas son tales que ha eliminado la vida acuática en el resto del río.

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

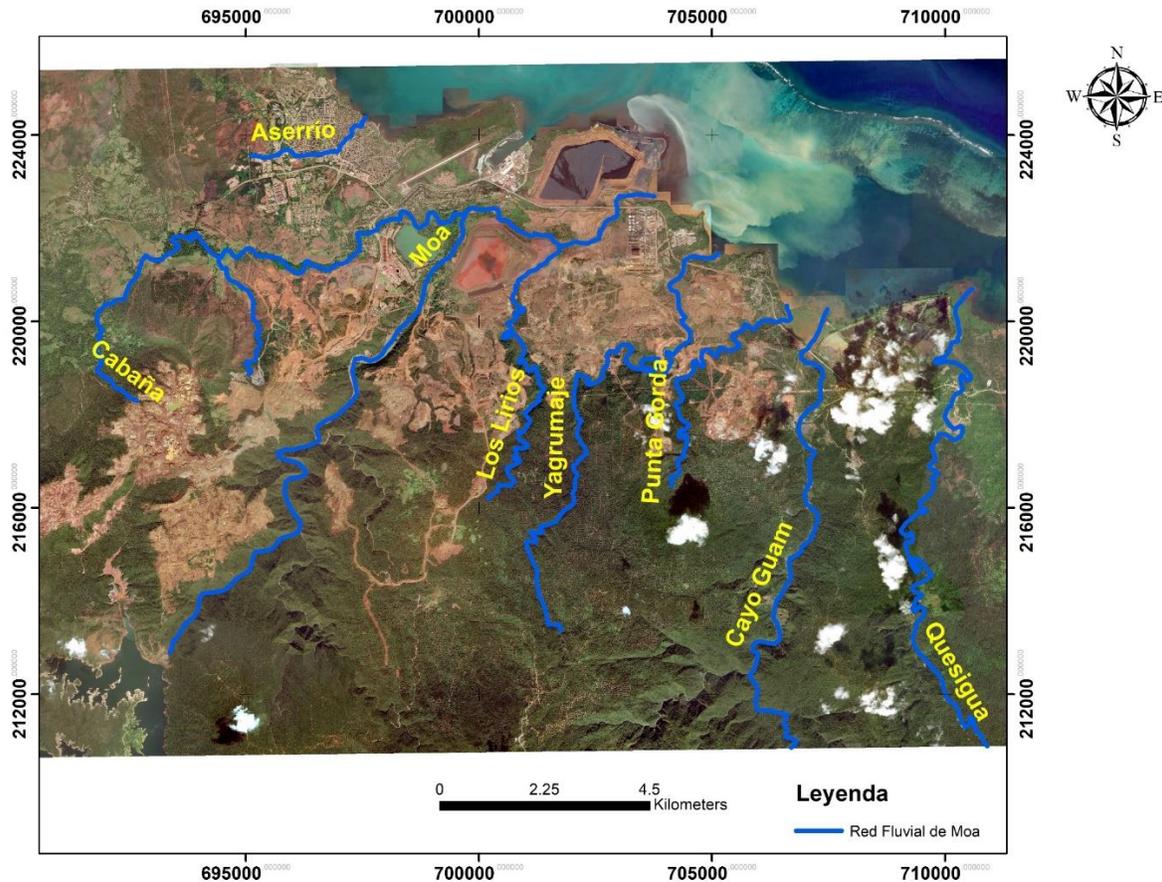


Figura 8: Mapa de los principales ríos la Red Fluvial de la región de Moa.

## Suelos

Los suelos de Moa están compuestos por los de la serie nipe sobre rocas serpentinitas que son un material rojizo con alto contenido de hierro en niveles superiores al 50 por ciento, además de otros metales como magnesio, cromo, cobre, níquel y cobalto, composiciones que también abundan en este tipo de rocas. Estas últimas y el suelo son explotados para la extracción selectiva de níquel y cobalto en minas a cielo abierto y sobre la región costera existe como refractario en minas subterráneas.

Por su bajo contenido de material orgánico los suelos rojos lateríticos de Moa, son muy ineficientes, o más bien lerdamente eficientes, en términos de producción agrícola.

Las particularidades de los suelos y las rocas de Moa hacen que las plantas sean muy especializadas, incluso algunas logran hasta acumular importantes cantidades de níquel, lo cual es de gran interés biológico e incluso hasta de posible aplicación, puesto que pueden servir de indicadores de la presencia de estos minerales. Resultan interesantes las características del suelo no sólo porque atesora importantes minerales, también por su manto freático, pues a escasos centímetros de la superficie ofrece agua, que aún en las proximidades del mar no se contamina con las aguas salobres (Zúñiga Fuentes 2019).

### **Geología de la región**

Según Iturralde-Vinent, (1996) en la constitución geológica del archipiélago cubano se reconocen dos elementos estructurales principales: el cinturón plegado y el neautóctono. El cinturón plegado según el autor, está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorfizados de edad 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.

Las unidades oceánicas están constituidas por las ofiolitas septentrionales, las rocas del arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco), las secuencias de las cuencas de piggy back del Campaniense Tardío-Daniense, el arco de islas volcánico del Paleógeno y las rocas de las cuencas de piggy back del Eoceno Medio-Oligoceno. El neautóctono está constituido por materiales terrígenos carbonatados poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del cinturón plegado.

Las características geológicas de la región de Moa evidencian una elevada complejidad, determinada por la diversidad de los complejos de rocas existentes,

que están representadas por unidades con carácter alóctono que han sido emplazadas y afectadas por múltiples eventos tectónicos durante la evolución geológica del territorio.

En la región de Moa – Baracoa, la secuencia ofiolítica de piso a techo, está constituida por peridotitas con texturas de tectonitas de origen mantélico; acumulados ultramáficos y máficos, donde se localiza la MTZ; el nivel de gabros bandeados, representados por troctolitas, gabros y noritas y la secuencia superior vulcanógeno – sedimentaria, donde aparecen basaltos en almohadilla (figura 9).

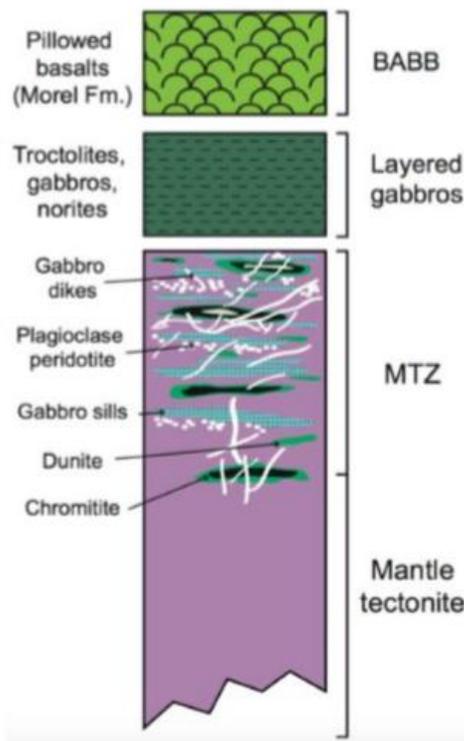


Figura 9: Esquema de la columna generalizada del macizo ofiolítico Moa - Baracoa (Proenza, J.A., 2019). Tectónica

Las dislocaciones de plegamiento que presenta la región son sumamente complejas (figura 10). En la secuencia más antigua se hace difícil el desciframiento de las meso-estructuras plegadas dadas la monotonía litológica que presenta, no obstante, los estudios realizados permiten afirmar que en las

secuencias más antiguas (rocas metamórficas y vulcanógenas) existen tres direcciones principales de plegamiento:

1. Noreste - Sureste.
2. Noroeste - Sureste.
3. Norte - Sur.

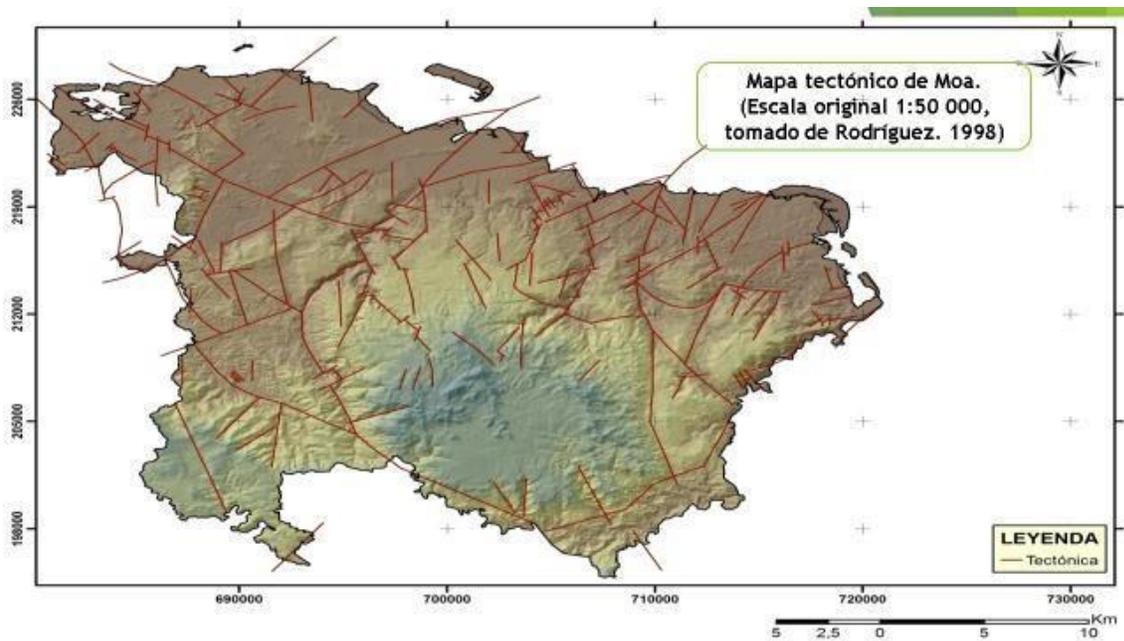


Figura 10: Mapa tectónico de Moa. Escala original 1:50 000

### Geomorfología

Según Rodríguez Infante, (2001) Geomorfológicamente el territorio de Moa fue caracterizado a través de las dos zonas geomorfológicas principales que en él se desarrollan: Zona de relieve de llanuras y zona de relieve de montañas con subtipos específicos, las cuales han sido descritas teniendo en cuenta los procesos morfogénicos y elementos morfológicos que la identifican, así como los elementos estructurales que la condicionan.

**Zona de Llanuras.** Se desarrolla en toda la parte norte del área ocupando la zona comprendida desde la barrera arrecifal hasta los 100-110 m de altura hacia el sur. La formación de estas llanuras está relacionada con la acción conjunta de

diferentes procesos morfogénicos que en ella han actuado, predominando los procesos fluviales y marinos.

Las llanuras acumulativas marinas ocupan el área comprendida entre la barrera coralina y el litoral, llegando a formar parte en algunos sectores de la zona litoral como ocurre en el extremo noreste de Cayo Moa Grande, Punta de Río Moa, Quemado del Negro, Punta del Mangle y Punta Guarico de Yamanigüey. La actividad erosiva en esta zona es prácticamente nula debido a la protección al oleaje que ofrece la barrera arrecifal, estando limitada la misma a la remoción de los sedimentos en los periodos de intensas lluvias, como resultado del aumento de la descarga de los ríos.

Las llanuras fluviales fueron clasificadas en acumulativas y erosivo-acumulativas en dependencia del proceso predominante en su morfogénesis. Las llanuras fluviales acumulativas se desarrollan en toda la franja norte del área, entre la línea litoral al norte, hasta los 100-110 m de altura hacia el sur, en la zona correspondiente a la base del escalón inferior de las tierras emergidas y en las que se encuentran los cauces inferiores y desembocaduras de los ríos Moa, Cayo Guam, Cananova, Yamanigüey y Quesigua. En esta zona los procesos erosivos son escasos y sólo se ponen de manifiesto a través de pequeños arrastres de suelos y acarreamiento, generalmente asociados a taludes locales, en su mayoría de carácter antropogénico.

Las zonas de llanuras fluviales erosivo-acumulativas se localizan en los valles de los ríos Cananova, Cabaña y Centeno, así como en la zona comprendida entre Quesigua y Cupey. En estas zonas la superficie topográfica pierde su regularidad al aparecer sectores de hasta 9° de pendiente, condicionando la existencia de procesos erosivos.

**Zona de Montañas.** Esta zona geomorfológica es la más extendida dentro del área de las investigaciones ocupando toda la parte sur y central, además del Cerro de Miraflores y las zonas nordeste y noroeste del poblado de Cananova. Los valores morfométricos así como la configuración de las elevaciones son

extremadamente variables en dependencia de las características litológicas, grado de agrietamiento de las rocas sobre las cuales se desarrolla y del nivel hipsométrico que ocupan. Teniendo en cuenta esos parámetros la zona de relieve de montaña fue clasificada en cuatro subtipos:

1. Zona de premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas. Constituye la zona de transición gradual de las llanuras fluviales acumulativas y erosivo-acumulativas a las montañas bajas, como ocurre en la parte nordeste del área de la Mina Moa, apareciendo sólo como un sector aislado en Playa la Vaca al sur de Punta Cabagán, donde está bordeada por llanuras fluviales. Este zona se caracteriza por presentar elevaciones de poca altura que llegan en el área a valores máximos de 182 m y cimas aplanadas por los propios procesos denudativos, dentro de los cuales predominan la erosión por arrastre de las aguas superficiales y la meteorización que se hace intensa debido al dinamismo de las aguas subterráneas.
2. Zona de submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas. Se localiza en el área comprendida entre Cañamazo y Calentura, apareciendo en sectores aislados en las localidades de Cananova, El Cerro y Yamanigüey con elevaciones y cerros relativamente aislados de cimas redondeadas con pendientes variables que pueden alcanzar hasta los 15° y los valores de disección vertical llegan hasta los 130 m/km<sup>2</sup>. Las formas de relieve aquí desarrolladas son relictos de la erosión fluvial de las zonas montañosas periféricas. Los procesos erosivos son intensos y los suelos removidos constantemente, dando un carácter temporal a los depósitos que se forman en los valles y cañadas.
3. Zona de montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas. Esta forma de relieve es la que adquiere mayor importancia en el estudio de la región por el área que abarca y por estar a ella asociados los mayores yacimientos ferroniquelíferos. Se desarrolla en toda la parte central y sudeste del área y

corresponde al segundo nivel de la estructura escalonada que caracteriza la zona. Los procesos de intemperismo son predominantes y están condicionados no sólo por la litología y el grado de agrietamiento de las rocas sobre las cuales se desarrolla, sino también, por la posición hipsométrica que estas ocupan. En esta zona de montañas aplanadas se encuentra la mayor cota de la zona correspondiente a la elevación El Toldo con 1174 m de altura, alrededor del cual se han desarrollado numerosas formas del relieve cársico.

4. Zona de montañas bajas diseccionadas. Esta zona se localiza en los extremos sudeste y sudoeste del área y en el Cerro de Miraflores. Las elevaciones que constituyen esta zona se caracterizan por presentar cimas alargadas de orientación predominantemente nordeste con vertientes de paredes abruptas altamente diseccionadas por los sistemas de fallas que cortan y desplazan tanto las divisorias principales como secundarias. Los procesos morfológicos más abundantes son los erosivos fluviales y de forma subordinada los movimientos gravitacionales, los que son controlados por la vegetación que de forma general es abundante. Geomorfológicamente a esta zona corresponden los mayores desplazamientos por fallas, siendo los casos más representativos la falla de orientación nordeste ubicada al nordeste de Cayo Perico que origina un rechazo horizontal de aproximadamente 90 m y la falla Cananova en el Cerro Miraflores con desplazamientos de alrededor de 1 km.

El territorio se encuentra dentro de la Macroestructura Hidrogeológica denominada Macizo Hidrogeológico (M.H.) Nipe-Baracoa (De Miguel, 1996) que se extiende desde la Sierra Cristal hasta la cordillera montañosa Sagua-Moa-Baracoa y que tiene como características generales las siguientes: Se encuentra al Este de la Cuenca Artesiana Nipe, ocupando un área de unos 2 300 km<sup>2</sup>. Está formado por rocas del Cretácico, Paleógeno y Cuaternario, muy plegado y representado por un macizo montañoso muy desarticulado. En el complejo de rocas que forman este macizo se encuentran rocas de la asociación ofiolítica

mesozoica, donde predominan las peridotitas serpentinizadas, serpentinitas, harzburgitas, dunitas serpentinizadas y otras. Cierta desarrollo tiene también las tobas y calizas. En este tipo de rocas predominan las aguas de grietas y filoneanas, con mayor desarrollo en la corteza de intemperismo y en zonas de fallas y sus proximidades, predominando las aguas freáticas, con presiones locales en zonas de fallas y bajo cubiertas de lateritas.

En el extremo Noreste del macizo con desarrollo de lateritas ferro-niquelífero-cobálticas (zona Mayari-Moa), se desarrolla con amplias proporciones un "acuitardo" con potencia que varía desde algunos centímetros hasta más de 20 m. con transmisividades menores de 1 m<sup>2</sup>. /d., originado principalmente por las altas propiedades de ascenso capilar de las lateritas, que en partes alcanza magnitudes superiores a los 30 m. que son saturadas por capilaridad con aguas de grietas de las rocas subyacentes (de Miguel F. C., 2004).

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

- Complejo acuífero de las ofiolitas (ultrabásicas)  
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 ha sido poco estudiada; su profundidad de yacencia es de 1.3 - 12 metros. El coeficiente de filtración (K) oscila entre 1 - 14.7 m/día, el gasto de aforo (Q) entre 1.2 - 4 L/s. según las clasificaciones 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 - 2m sobre el nivel del mar; su edad se corresponde con el Cuaternario. Su composición litológica integrada por depósitos arcillosos contiene fragmentos angulosos de composición múltiple. Las rocas acuíferas se asocian a calizas organógenas, en menor escala sedimentos no consolidados, así como, depósitos arcillo - arenosos con fragmentos angulosos de composición variada. Predominan aguas cársicas y de grietas, y en algunos casos intersticiales. Por lo general tienen interrelación hidráulica con el agua de mar.

A una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m yace el nivel freático. El coeficiente de filtración (K) de estas rocas alcanza valores hasta los 268.4 m/días, el gasto (Q) es aproximadamente de 14 L/seg., con un 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 superior, ocupando prácticamente la totalidad de las terrazas de los ríos más importantes, así como, los valles de sus afluentes. Constituido por gravas, arenas, cantos rodados y arenas arcillosas, con una potencia de 15 m de potencia aproximadamente, estos sedimentos se asocian con una edad cuaternaria y se caracterizan por su alta capacidad para el almacenamiento de agua. El coeficiente de filtración (K) varía de 13 - 290 m/días, mientras que su gasto de aforo (Q) oscila entre 2 - 57 L/seg. Estas aguas yacen a una profundidad comprendida entre los 1-5 m; y se denominan según las clasificaciones de Kurlov y Aliokin como hidrocarbonatadas magnésicas.

- Complejo acuífero de las lateritas.

Se extiende por casi toda la zona ocupando gran parte del área. Su composición litológica se corresponde con potentes cortezas de intemperismo, representando a

un acuitardo, debido al predominio de aguas capilares y de potencias considerables de lateritas que alcanzan los 30 m de potencia, con un marcado desarrollo de procesos de capilaridad, donde los ascensos capilares de las aguas pueden alcanzar alrededor de 20 m. Las precipitaciones atmosféricas son la fuente principal de alimentación de esta agua. Por su composición química son aguas hidrocarbonatadas – magnésicas y sódicas de baja mineralización.

- Complejo acuífero de los sedimentos terrígenos – carbonatados.

Aparece este complejo solo en una pequeña porción al norte del poblado de Cañete. Constituido geológicamente por margas estratificadas, calizas compactas, depósitos brechosos de carácter tanto tectónico como sedimentarios, aleurolitas y conglomerados. Las rocas acuíferas se corresponden con los conglomerados brechosos y las calizas, y en menor medida, las margas estratificadas.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA Y VOLÚMEN DE LA INFORMACIÓN DESARROLLADA EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

### Introducción

El presente capítulo describe la metodología aplicada en la investigación. Se parte de la revisión de la información de los trabajos precedentes donde se adquiere la información base. Se describen métodos y procedimientos utilizados para determinar los parámetros hidrogeológicos y con ello la caracterización hidrogeológica de la zona baja del arroyo Los Lirios, que se realizó en tres etapas fundamentales (figura 11)

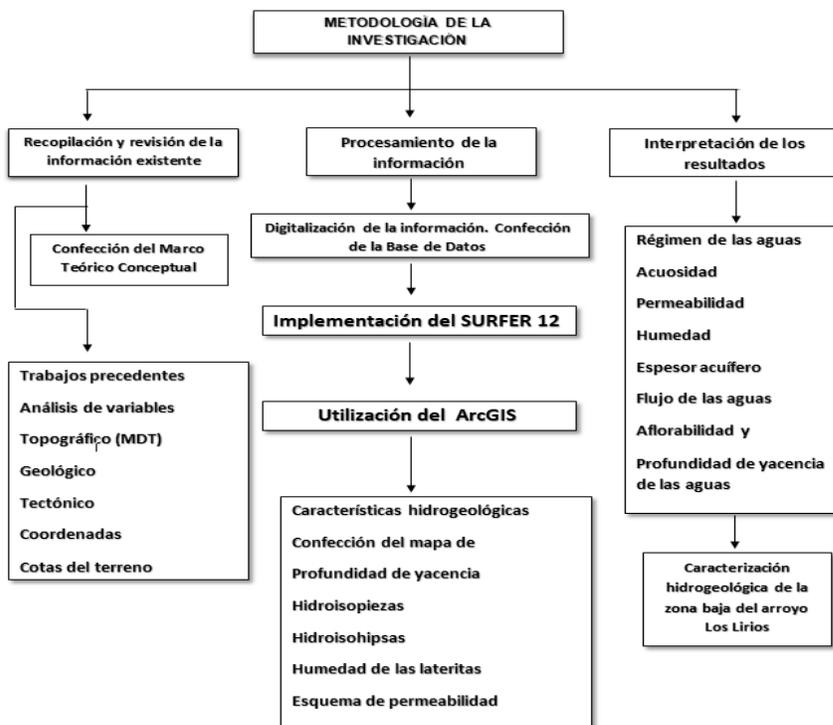


Figura 11: Metodología de las investigaciones desarrolladas.

### **Etapa preliminar: Recopilación y revisión de la información existente.**

En esta etapa se realiza el análisis de la bibliografía existente de la región y área de estudio, de la cual se revisa y recopila la información útil para la investigación. Se hacen búsquedas en el centro de información del ISMM, donde se tuvo acceso a libros, revistas, trabajos de diploma, tesis de maestría y doctorales, además de

búsquedas en Internet. Como resultados se obtuvo información referente a la descripción regional desde el punto de vista geológico, ingeniero geológico, de bloques morfotectónicos, tectónico, geomorfológico.

La caracterización hidrogeológica del interfluvio del arroyo los Lirios, se realizó a partir de la recopilación de datos aportados por los 7 pozos hidrogeológicos perforados.

### **Segunda Etapa: Procesamiento de la información.**

Se utilizaron los resultados para la localización, caracterización hidrogeológica de cada pozo con sus respectivas descripciones.

En la metodología se tomó en cuenta la profundidad a la que estabilizan las aguas subterráneas, porque la misma está muy relacionada con una propiedad acuífera de las rocas es de primordial interés en la investigación, la capilaridad, ya que el comportamiento de esta última asociado a la primera favorece las variaciones de nivel de las aguas subterráneas, su yacencia (que está condicionado por la alimentación de estas), pues al fluctuar estos niveles, principalmente al ascender, se provoca el movimiento de las aguas ubicadas en profundidad.

**Ascensos Capilares:** En la zona de aireación (zona no saturada) ubicada sobre el nivel de las aguas freáticas, se desarrollan presiones capilares, las cuales originan aguas capilares. En los poros capilares de las rocas la superficie del agua toma una forma cóncava en dirección al agua. Las fuerzas de la tensión superficial están dirigidas en forma de tangentes a la superficie cóncava; las fuerzas verticales de la tensión superficial están dirigidas en una dirección y forma la fuerza  $P$ , bajo la acción de la cual el agua asciende hasta la altura  $H_c$  (altura de ascenso capilar). Esta altura sirve de medida a las capilaridades de las rocas, y depende de las dimensiones de los poros capilares, granulometría de las rocas de la zona de aireación, forma de las partículas, densidad y homogeneidad de su deposición, del peso específico, temperatura, mineralización y composición salina de las aguas (de Miguel 1999, 2008).

La utilización de Microsoft Excel para realizar las distintas base de datos de niveles freático. Se realizaron tablas del nivel freático apoyado en los 7 pozos hidrogeológicos del área, donde se supervisaron para la toma de datos en intervalos diarios, para después sacar el promedio anual y posterior a esto, una futura utilización de esos datos en SURFER para realizar el mapa de profundidad del nivel freático.

Día	04/09/2021	06/09/2021	14/09/2021	18/09/2021	21/09/2021	27/09/2021	04/10/2021	09/10/2021	14/10/2021	18/10/2021	19/10/2021	27/10/2021	02/11/2021	09/11/2021	12/11/2021	17/11/2021	23/11/2021	30/11/2021	
Pozos	Nivel corregido por la altura del monumento																		
A	1,88	1,75	2,01	2,09	2,02	2,04	1,61	1,62	1,72	1,68	1,62	1,86	-3,74	-3,56	-2,22	-2,12	-2,23	-2,42	
E	2,14	2,01	2,3	2,03	2,07	2,1	2,06	2,05	2,07	2,11	1,91	1,95	-4,18	-4,11	-2,73	-2,63	-2,62	-2,78	
F	-0,06	-0,13	0,02	0,03	0,08	0,12	-0,12	-0,13	-0,02	-0,08	-0,12	-0,1	-1,91	-1,93	-1,64	-1,52	-1,65	-1,66	
G	2,61	2,42	2,57	2,61	2,61	2,63	2,56	2,54	2,62	2,54	2,54	2,41	-4,54	-4,62	-3,37	-3,35	-3,36	-3,53	
H	-0,37	-0,44	-0,35	-0,32	-0,29	-0,27	-0,46	-0,47	-0,47	-0,31	-0,48	-0,49	-1,63	-1,57	-1,19	-1,16	-1,19	-1,53	
J	1,45	1,23	1,68	1,71	1,72	1,75	0,98	0,93	1,16	1,43	1,24	1,38	-3,09	-3,13	-2,02	-1,99	-1,98	-2,36	
L	0,98	0,91	1,41	1,34	1,26	1,29	1,25	1,22	1,16	1,09	1,2	1,12	-3,31	-3,2	-2,33	-2,22	-2,21	-2,44	

	03/12/2021	08/12/2021	13/12/2021	18/12/2021	23/12/2021	04/03/2022	09/03/2022	14/03/2022	06/04/2022	25/04/2022	03/05/2022	11/05/2022	18/05/2022	19/05/2022
	-2,45	-2,42	-2,47	-2,39	-2,42	1,05	0,81	1,07	1,92	1,47	1,45	1,62	1,48	1,51
	-2,68	-2,57	-2,75	-2,56	-2,73	0,76	0,65	0,77	0,2	1,48	1,44	1,49	1,39	1,38
	-1,63	-1,64	-1,69	-1,56	-1,66	0,85	-0,29	-0,21	2,22	0,67	0,64	0,73	0,67	0,69
	-3,48	-3,44	-3,68	-3,56	-3,65		1,64	1,88	-0,13	2,28	2,35	2,67	2,22	2,25
	-1,13	-1,1	-1,17	-1,13	-1,19		-0,92	-0,76	-0,57	-0,14	-0,09	0,13	-0,15	-0,13
	-2,16	-2,07	-2,26	-2,24	-2,23		0,57	0,73	0,9	1,39	1,45	0,57	1,42	1,41
	-2,42	-2,39	-2,52	-2,43	-2,46		0,71	0,88	1,07	1,39	1,5	1,74	1,39	1,41

Figura 12: Nivel freático corregido del área de estudio (en m).

Pr. mensual	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Marzo	Abril	Mayo
Pozos	Niveles mensuales						
A	1,965		1,685	-2,715	-2,43	0,976667	1,695
E	2,108333333		2,025	-3,175	-2,658	0,726667	0,84
F	0,01		-0,095	-1,71833	-1,636	0,116667	1,445
G	2,575		2,535	-3,795	-3,562	1,76	1,075
H	-0,34		-0,44667	-1,37833	-1,144	-0,84	-0,355
J	1,59		1,186667	-2,42833	-2,192	0,65	1,145
L	1,198333333		1,173333	-2,61833	-2,444	0,795	1,23

**LEYENDA**

<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; border: 1px solid black;"></span> Septiembre	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #d3d3d3; border: 1px solid black;"></span> Marzo
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: orange; border: 1px solid black;"></span> Octubre	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; border: 1px solid black;"></span> Abril
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: lightgreen; border: 1px solid black;"></span> Noviembre	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: purple; border: 1px solid black;"></span> Mayo
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: cyan; border: 1px solid black;"></span> Diciembre	

Figura 13: Nivel freático promedio mensualmente (en m).

Pozo	X	Y	Promedio Anual
A	701105	220287	0,384524
E	701549	221062	0,184571
F	701800	221144	-0,17074
G	702039	221365	0,422929
H	702400	221388	-0,652
J	702662	221188	0,166262
L	701651	221352	0,120619

Figura 14: Nivel freático promedio (en m).

El nivel freático se rectifican los valores según la altura del monumento de hormigón que se diseñó en los pozos para el nivel del agua.

altura monumento	
Pozos	
A	0,92
E	1,02
F	1
G	1
H	1,02
J	0,98
L	1,02

Figura 15: Altura del monumento en (en m).

La representación de los factores hidrogeológicos que caracterizan el área, se implementa a través del uso de un programa de representación geográfica. Con el auxilio de técnicas de interpolación y otras herramientas que el mismo brinda, se generaron los mapas temáticos y auxiliares siguientes:

1. Profundidad de yacencia de las aguas subterráneas.

En la metodología se tomó en cuenta la profundidad a la que estabilizan las aguas subterráneas, porque la misma está muy relacionada con una propiedad acuífera de las rocas es de primordial interés en la investigación, la capilaridad, ya que el

comportamiento de esta última asociado a la primera favorece las variaciones de nivel de las aguas subterráneas, su yacencia (que está condicionado por la alimentación de estas), pues al fluctuar estos niveles, principalmente al ascender, se provoca el movimiento de las aguas ubicadas en profundidad. Para ello se genera el Mapa de Profundidad de yacencia de las aguas subterráneas.

Las funciones del SURFER 12 a partir de la entrada de datos, favorecen la representación gráfica de Mapas Temáticos: de Contorno, de superficie 3D, de imagen, relieve sombreado, Mapas mensaje, Vectoriales, Mapas Base, Capas Mapa, Variogramas. Para ello se utilizan datos complementarios, como textos, objetos, símbolos y líneas, que permiten la obtención de un producto con los requisitos y calidad requeridos. La base de datos que se crea para permitir el manejo, procesamiento y generación de las diferentes herramientas que brinda el SURFER, es estática, adoleciendo de la creación de un proyecto.

### **Tercera Etapa: Interpretación de los resultados.**

Con la obtención de distintos planos se caracterizó, prácticamente en su totalidad el área en estudio, pudiéndose analizar un posible comportamiento del terreno, a partir de información hidrogeológica. La obtención de los mapas temáticos propuestos permitió caracterizar los factores hidrogeológicos. Cada mapa temático generado permitió visualizar el comportamiento de cada variable. De esta manera, los mapas principales obtenidos, derivan en la caracterización de la zona baja del arroyo Los Lirios de acuerdo al objetivo y tareas específicas planteadas.

### **CAPÍTULO III: INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.**

#### **Características Hidrogeológicas de la zona baja del arroyo Los Lirios**

En el área del interfluvio Los lirios se encuentran predominando el Complejo acuífero de las lateritas y por debajo el Complejo acuífero de las ofiolitas o ultrabásico como también se conoce .

El acuífero de las rocas ultrabásicas ocupa más del 60% del área de estudio. La potencia es variable y se le atribuyen espesores superiores a los mil metros. Los límites se toman convencionalmente como la divisoria de las aguas de las diferentes corrientes de aguas superficiales al sur, este y oeste, mientras que al norte se toma el Océano Atlántico, donde se desarrollan las zonas pantanosas como resultado de la descarga de las aguas subterráneas. En la región de estudio, los límites laterales que se asumen convencionalmente están representados por las cuencas hidrográficas de los ríos Moa, Cabañas, Yagrumaje, Cayo Guam. No es posible definir un límite en profundidad, pues en realidad se desconoce el corte geológico y el espesor saturado, según los estudios del INRH, (1986) puede estar entre los 90 y los 600 m.

En el área de estudio el flujo del agua en la corteza laterítica es a través del medio poroso granular y en las rocas ultramáficas a través de un medio fracturado. Observandose que la conexión río-acuífero en el área se caracteriza por la presencia de los arroyos Los lirios y La vaca como efluentes del Río Moa. (De Miguel, 1998)

#### **Afloramiento y profundidad del nivel del agua.**

La aparición o afloramiento del agua durante la perforación si se pudo establecer en la totalidad de los pozos hidrogeológicos (para Monitoreo) que se perforaron hasta las rocas (Figura 16).

Se debe señalar que los niveles en los pozos se midieron cada cinco días aproximadamente. En días lluviosos los niveles responden a nivel piezométrico de las aguas en las rocas agrietadas acuíferas, que presentan presión en dependencia del espesor de las lateritas que yacen sobre ellas. De tal forma esta presión varía en espacio, y la profundidad de los niveles piezométricos alcanzó los -0.05m donde el agua aflora en superficie, en lo que influye también el relieve del terreno (Figura 17). En días secos o con poca lluvia, los niveles de las aguas subterráneas descendieron hasta 0.25m. Como regla en el área de estudio, durante el período húmedo el nivel de las aguas subterráneas aparece en superficie cuando las rocas lixiviadas y agrietadas se encuentran totalmente saturadas.

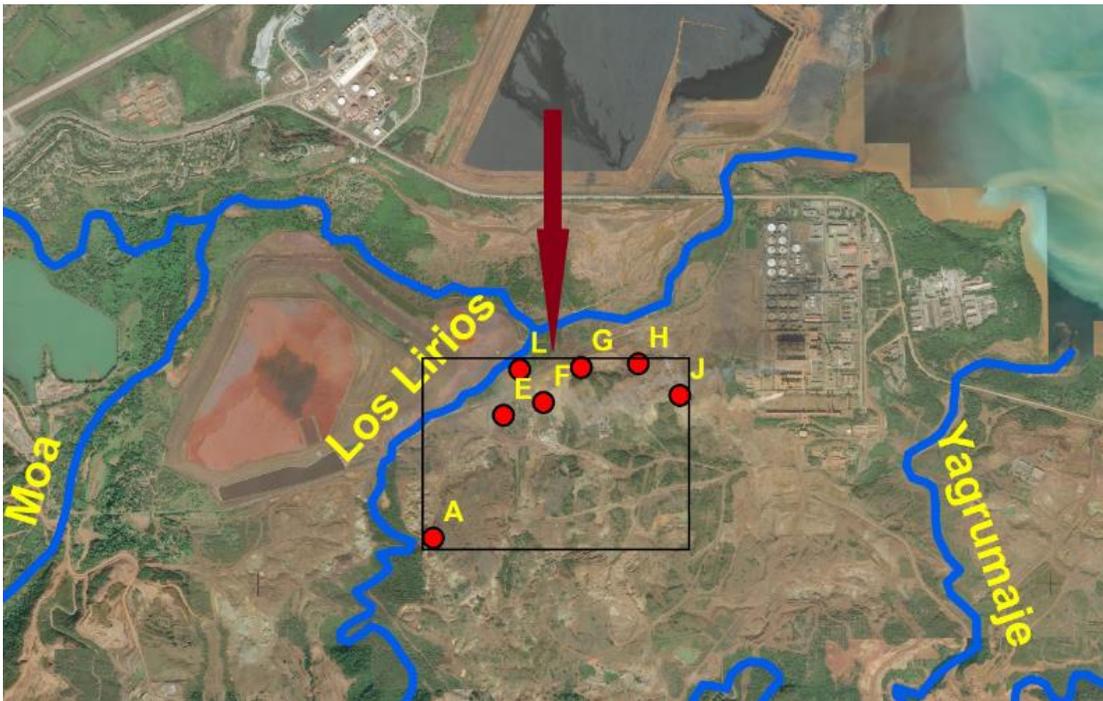


Figura 16: Mapa de ubicación de los pozos

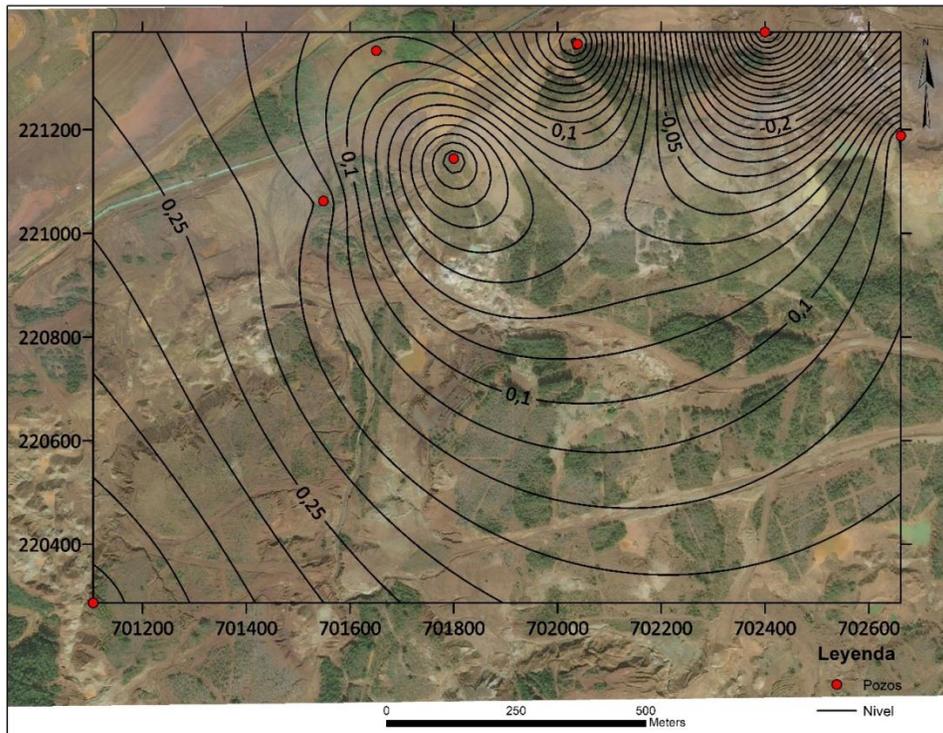


Figura 17: Mapa de profundidad del nivel acuífero del área de estudio.

### **Características y dirección del flujo de las aguas subterráneas.**

En las rocas agrietadas acuíferas no existe un flujo homogéneo, la circulación de las aguas ocurre por zonas de diferente desarrollo de agrietamiento, por lo que es muy variable la profundidad de aparición de las aguas. Hasta las profundidades estudiadas el flujo de las aguas subterráneas y su dirección están influenciadas por el relieve del terreno y cauces de ríos. Existe una dirección del flujo predominantemente en dirección oeste hacia el arroyo Los lirios, que sirve de drenaje a las aguas subterráneas y a su vez constituye zona de alimentación de las mismas, principalmente en los períodos de lluvia. Todo lo anterior demuestra que la superficie del nivel piezométrico está dominada por el relieve del terreno y repite su configuración.

### **Espesor acuífero.**

Los espesores saturados (con humedad) de las lateritas del complejo acuífero fueron totalmente perforados por los pozos hidrogeológicos. El espesor acuífero en las rocas agrietadas no fue determinado ya que los pozos perforados en ellas solo atravesaron aproximadamente 2 m. En meses secos el espesor acuífero disminuye, debido a los descensos de los niveles de las aguas subterráneas, provocado por la falta de alimentación y la reducción de las áreas de almacenamiento de las aguas infiltradas en periodos húmedos. Estas áreas de almacenamiento son zonas donde afloran a la superficie las rocas agrietadas. Por tal razón durante estos períodos el caudal de drenaje es superior al de alimentación y por ende se produce el agotamiento de las aguas subterráneas.

En la mayoría del área de distribución de las lateritas la **acuosidad** es baja respecto a las rocas agrietadas; esta es predominantemente de origen capilar, por saturación, debido a los ascensos del agua por presión en las rocas agrietadas. En períodos de lluvia se desarrolla la sobresaturación de los espesores de lateritas en la parte superior del corte motivado por la infiltración de las aguas de lluvia hasta las profundidades donde la saturación por ascensos capilares se equilibra con la saturación por infiltración.

Las propiedades de **ascenso capilar** de las lateritas no fueron determinadas en esta investigación, pero por la litología y estructura interna de las mismas las condiciones existentes son análogas a las estudiadas en otras áreas cercanas a los cauces de arroyos y ríos, donde los ascensos capilares oscilan entre 2 y 32 m. Los menores valores coinciden con espesores lateríticos que presenta la granulometría más gruesa, con ascensos que oscilan entre 2 y 3 m. En lateritas con granulometría más fina corresponden los ascensos capilares que varían entre 20 y 32,8 m con valores medios de 26,0 m. (De Miguel 2009). Para esta área de estudio los ascensos capilares están condicionados por el estado de saturación de las rocas acuíferas, comprobado en los días donde los niveles en el acuífero descendieron considerablemente y por ello el flujo subterráneo presente en este

período fue en profundidades inferiores al contacto entre rocas agrietadas y la cubierta laterítica; eliminando con ello las posibilidades de ascensos capilares a través de las lateritas por no existir durante el descenso de los niveles el contacto aguas subterráneas - cubierta laterítica.

El régimen del quimismo de las aguas subterráneas puede considerarse invariable debido a la estable composición de las rocas acuíferas, y al bajo contenido de los elementos químicos, por lo que la mineralización en periodo de lluvias y sequía presenta una mínima variación, igualmente las demás características de las aguas (De Miguel 2009).

De manera general la porosidad de las rocas ultramáficas se debe a la fracturación y se estima entre un 3 y 10%, la permeabilidad ( $k$ ) oscila entre 3-20 m/día, y la transmisividad ( $T$ ) entre 30-840 m<sup>2</sup>/día. El gradiente hidráulico ( $i$ ) se encuentra entre 0.036-0.089. La dirección predominante del flujo es SE-NW.

La parte superior de las lateritas presenta una porosidad entre 20-60%, con un espesor saturado entre 5-15 m. La permeabilidad ( $k$ ) es mucho menor y varía entre 0.15-5.6 m/día, mientras que la transmisividad ( $T$ ) oscila entre 0.13 y 4.2 m<sup>2</sup>/día y el gradiente hidráulico entre 0.01 y 0.02 (De Miguel, 1998).

## CONCLUSIONES

Las condiciones hidrogeológicas del área estudiada son complejas, pues presenta un flujo con dirección predominante hacia el Noroeste (al río Moa), y hacia arroyos que delimitan elinterfluvio que sirven de drenaje a las aguas subterráneas.

Las principales rocas acuíferas en el área son las rocas agrietadas que yacen bajo el estrato laterítico de cubierta y que le imprimen a las aguas contenidas en las rocas presiones que alcanzan hasta unos 3 m de altura.

Las aguas subterráneas del área yacen semiconfinadas y confinadas cuya principal fuente de alimentación es la infiltración de las aguas de precipitaciones atmosféricas.

La profundidad de los niveles piezométricos alcanzó los -0.05m donde el agua aflora en superficie, en lo que influye también el relieve del terreno y en días secos o con poca lluvia, los niveles de las aguas subterráneas descendieron hasta 0.25m.

La incidencia de las condiciones hidrogeológicas en operaciones constructivas están reflejados en la aflorabilidad de las aguas y el flujo de las aguas subterráneas que presenta mayor incidencia durante las actividades reflejándose en posibles encharcamientos, posibles deslizamientos, en la movilidad del transporte y en humedecimiento de los viales sobre todo en períodos de lluvia cuando el nivel piezométrico del acuífero asciende hasta menores profundidades de la superficie del terreno.

## **RECOMENDACIONES**

Establecer los recursos naturales de las aguas subterráneas en el área mediante el aforo (medición) del caudal de las aguas de los arroyos que drenan a las aguas subterráneas.

Realizar un estudio de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas y definir posibles caudales de explotación de las aguas subterráneas mediante el estudio con bombeos experimentales.

Estudiar el quimismo de las aguas del arroyo Los lirios y establecer plan de medidas de protección.

## BIBLIOGRAFÍA

Aguirre Jaime, Armando 1994. Introducción al tratamiento de series temporales. Aplicación a las Ciencias de la Salud. Ediciones Díaz de Santos, Madrid. P. 209

ASTM (Annual Book of ASTM Standards) (1993). Section 4. Construction. Volume 04.08. Soil and rock. Dimension stone; geosynthetics. 1296 p.

Brand N.W., Butt C.R.M., Elias M. (1998). Nickel laterites: Classification and features. AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, 17, 81-88.

Cué Muñiz, J, Castell, 1987. Estadística. Segunda Parte. Edición ENPES. p. 358.

De Miguel, C. (1998). Método para pronóstico del impacto ambiental sobre las condiciones hidrogeológicas y de suelos que provoca la construcción de presas en territorios llanos. XII Forum de ciencia y tecnología, Inédito, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Holguín 12pp

De Miguel, C. (2009). Argumentación, cálculos, efecto económico y ambiental de drenaje en lateritas. IX Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica. C.D. Rom ISBN: 978-959-247-069-9, Villa Clara

García Ramírez, Y. 2010: Análisis estructural de las rocas serpentizadas del territorio de Moa. Yuri Almaguer Carmenates. Tesis de diploma. Universidad de Moa. 27-29p.

González de Vallejo, L. I. 2002. Investigaciones in situ en Ingeniería Geológica. 715 Págs. ISBN: 84-205-3104-9. Pearson Educación, Madrid.

Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos) (1986). Informe hidrogeológico sobre las terrazas del río Moa, 14 pp.

Iturralde-Vinent, M. A. 1998. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. Acta Geológica Hispana, 33(1-4): 9-56.

Mandela, D. C. 2010: Influencia de la pluviometría sobre la humedad natural de los suelos. Caso de estudio: Área de la Planta Ferroníquel Minera SA. Moa. Amalia Beatriz Riverón Zaldivar. Tesis de diploma. Universidad de Moa. 86p.

Riverón A.B., 1996: "Caracterización de la respuesta dinámica de los suelos en la ciudad de Moa". ISMMM, Departamento de Geología. Tesis de Maestría.

Rodríguez Infante, A. 2001: Geomorfología de La Región de Moa. En: IV Congreso de Geología y Minería. Geología del Cuaternario, Geomorfología y Carso. Memorias. La Habana, Cuba, 19-23 marzo.

Rodríguez, R. et al. 2004. Distribución y Composición química de las precipitaciones en la región oriental de Cuba. Boletín Geológico y Minero, 115, Núm. Especial: 341- 356.

Viltres Milán, Y. (2011). Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector este del municipio Moa. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Zúñiga Fuentes, Y. 2019: Estudio de la respuesta local del suelo en el Reparto Miraflores del municipio Moa, ante la ocurrencia de sismos. Liuska Fernández Diéguez. Tesis de diploma. Universidad de Moa. 19-20p.