



**República de Cuba  
Ministerio de Educación Superior  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**

**Facultad de Geología y Minería  
Departamento de Geología**

**Título: Evaluación de los geoindicadores suelo y agua en el sector “La  
Granja”, Centeno, Moa.**

(Tesis en opción al título académico de Máster en Geología)

Maestría en Geología, Mención Geología Ambiental

**9<sup>na</sup> Edición.**

**Yanet Borges Terrero**

**Tutores: M.S.c Beatriz Riverón Zaldívar**

**M.S.c Moraima Fernández Rodríguez**

**Moa, 2017**

## **Agradecimientos**

Le doy gracias:

A dios por oír día a día mis réplicas,

A la Revolución Cubana y a nuestro invicto líder Fidel Castro Ruz por hacer realidad los sueños martianos,

Al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa por aceptarme y forjarme,

Al claustro de profesores de la Maestría de Geología por brindarme sus conocimientos desinteresadamente,

A mis padres Alina y Benedicto por apoyarme en todo momento,

A mis hijos queridos Mélany y Ernesto por ser mi razón de vivir,

A mi compañero Gerardo Ernesto y mi hermano Beny por su ayuda incondicional,

A mis familiares por el interés prestado en mi formación profesional,

A mis compañeros de trabajo por soportarme día a día,

A la MsC Amalia Beatriz Riverón Zaldívar, Ms C Moraima Fernández Rodríguez y a la Dra C Alina Rodríguez Infante por brindarme sus conocimientos, paciencia y todo el empeño puesto en el éxito de mi trabajo,

En fin a todas las personas que de una forma u otra me han ayudado, a todos,

Muchas gracias

## **Dedicatoria**

A mi vieja querida Clara Luz (Lulin),

A mis padres Alina y Benedicto,

A mis hijos Mélaney y Ernesto,

A mi compañero Gerardo Ernesto,

A mi hermano Beny,

A mis hermosos sobrinos Benitín y René,

A mis abuelos Juan y Pucha,

A ellos por darme tanta fuerza para vivir y luchar hasta alcanzar mis metas.

## RESUMEN

Se evalúan los parámetros físico - químico de los geoindicadores suelo y agua, del Sector La Granja, Centeno, Moa. Con el fin de describir los procesos geodinámicos externos presentes en el área de pastoreo, caracterizar desde el punto de vista físico- químico los suelos y agua del sector, y establecer un plan de acción que permita el incremento de las producciones agropecuarias para el abasto a la población local.

La metodología de la investigación consta de una fase preliminar donde se accedió a toda la información bibliográfica existente sobre el tema; una segunda fase de trabajos de reconocimientos de campo, para la caracterización de fenómenos geodinámicos exógenos presentes en el área de pastoreo y el muestreo de suelos y agua; una fase de análisis de laboratorio, de los principales macro y micro nutrientes edáficos, según las normativas de USDA y la FAO, en el año 2012, así como la determinación de las propiedades físico - químicas de las aguas, según la norma cubana NC 827:2010 y la NC 93-02:1985, y de las Guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Por último la fase de gabinete en la cual se realizó la interpretación de los resultados obtenidos.

Como resultados se obtiene que el área de pastoreo es afectada principalmente por los procesos de meteorización química y erosión por cárcavas, lo cual provoca la remoción de las capas superficiales de suelos y poca densidad de vegetación herbácea. Los suelos, según el pH se clasifican en la parcela 1 como neutro y medianamente básico y en la parcela 2 como fuertemente ácido; presentan un bajo contenido de macronutrientes principales y los micronutrientes se encuentran dentro de los valores admisibles. Las aguas, por sus propiedades físicas, se encuentran por encima de los valores referenciados en las normas consultadas, según el pH las superficiales se clasifican como débilmente básicas y las subterráneas varían desde neutras hasta débilmente básicas. Según sus propiedades químicas todos los elementos esenciales se encuentran por debajo de los valores normados.

Lo anterior permite concluir además que los suelos, desde el punto de vista químico, se caracterizan como infértiles al tener baja disponibilidad y asimilación de nutrientes principales y las aguas se clasifican desde el punto de vista físico como no aptas para el consumo animal, desde el punto de vista químico como aguas de bajo contenido de minerales esenciales y desde el punto de vista microbiológico son aguas contaminadas con bacilos coli. Además según su clasificación para el uso en riego son aguas aptas para dicha actividad.

## Índice

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>   | <b>7</b>  |
| 1.1 Introducción .....   | 7         |
| 1.2 Generalidades.....   | 7         |
| 1.3 Características físicas-geográficas del área de estudio .....                                      | 8         |
| 1.3.1 Clima .....  | 8         |
| 1.3.2 Vientos .....  | 9         |
| 1.3.3 Relieve .....  | 9         |
| 1.3.4 Vegetación .....   | 10        |
| 1.3.5 Características Socioeconómicas .....  | 10        |
| 1.4 Características geológicas .....   | 11        |
| 1.4.1 Hidrografía .....  | 12        |
| 1.4.2 Recursos edáficos.....   | 14        |
| 1.4.3 Características Tectónicas .....   | 16        |
| 1.4.5 Características Hidrogeológicas.....   | 17        |
| 1.5 Investigaciones precedentes.....   | 19        |
| 1.6 Conclusiones.....  | 28        |
| <b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....</b>   | <b>29</b> |
| 2.1 Introducción .....   | 29        |
| 2.2 Metodología de investigación.....  | 29        |
| 2.3 Análisis de las características geológicas y geodinámicas predominantes del área de pastoreo ..... | 34        |
| 2.4 Determinación de la calidad de los suelos según sus propiedades químicas.....                      | 35        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.5 Determinación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas del Sector La Granja con fin agropecuario.....  | 39        |
| 2.6 Conclusiones.....   | 43        |
| <b>CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN DE LOS GEOINDICADORES SUELO Y AGUA EN EL SECTOR LA GRANJA .....</b>            | <b>44</b> |
| 3.1 Introducción .....  | 44        |
| 3.2 Descripción de los procesos geodinámicos de superficie en el área de pastoreo .....                                   | 44        |
| 3.3 Evaluación de la calidad de los suelos del Sector La Granja .....   | 45        |
| 3.4 Evaluación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas del Sector La Granja con fines agropecuarios ..... | 54        |
| 3.4.1 Características físicas: Potencial de hidrógeno, Conductividad, color, turbidez y STD .....                         | 55        |
| 3.4.2 Características químicas de las aguas superficiales y subterráneas .....  | 59        |
| 3.4.3 Análisis microbiológico .....   | 64        |
| 3.4.4 Clasificación de las aguas para su uso en riego .....   | 64        |
| 3.5 Propuesta de plan de acción.....  | 68        |
| 3.6 Conclusiones.....   | 69        |
| <b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>  | <b>70</b> |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b>   | <b>71</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>   | <b>72</b> |

## INTRODUCCIÓN

El conocimiento de los recursos naturales, su ubicación, sus características y potencial, es uno de los requisitos fundamentales para obtener una planificación eficiente que conduzca al desarrollo futuro. Además, es de gran importancia el análisis de la estrecha relación que se establece entre el suelo, el agua, las plantas y los animales; y como un mal uso y desconocimiento de ellos puede traer consigo pérdidas representativas en las producciones.

Los suelos tienen su origen en los macizos rocosos preexistentes, que constituyen la roca madre sobre la cual ocurren los procesos de intemperismo físico y químico. Todo ello da lugar a fenómenos de disgregación y transformación de la roca creándose el perfil de meteorización. Cuando el suelo permanece in situ sin ser transportado se le conoce como suelo residual, y cuando ha sufrido transporte se denomina suelo transportado.

Otro medio físico importante en la presente investigación lo constituye el agua, sustancia formada por la combinación de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida, en pequeñas cantidades incolora, y verdosa o azulada en grandes masas. Es el componente más abundante de la superficie terrestre y, más o menos puro, forma la lluvia, los ríos y mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales (Fernández M, 2003).

Es de vital importancia el conocimiento de los diferentes conceptos en los cuales se basa la presente investigación, así como las propiedades físico-químicas de los suelos y agua, por ser las que permitan la caracterización de estos medios físicos naturales.

La geología estudia la composición de la tierra y sus procesos geodinámicos internos y externos, con el objetivo final de comprender la historia del planeta (Potatova, 1968).

Se desarrolla en el campo de la aplicación del conocimiento geológico a la explotación de los recursos minerales, y por otra parte a la aplicación del

conocimiento geológico al equilibrio de las relaciones entre las actividades humanas, incluyendo la explotación mineral y el medio ambiente (Dos Santos, 1995). Denominado este último como campo de la geología aplicada al medio ambiente o lo que se conoce como **Geología ambiental**.

El medio ambiente está constituido por: “un sistema de elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos con que interactúa el hombre, a la vez que se adapta al mismo, lo transforma y lo utiliza para satisfacer sus necesidades” (Chaviano A, 2011), este enfoque, considera el medio físico, el biológico y el socio-económico. Esto denota que, en el marco de los análisis ambientales, la geología tiene como objeto de estudio el medio físico, en especial los procesos que se desarrollan en la litosfera y la hidrosfera.

Lo antes planteado lo presupone Fernández Z (2009), el cual explica que el medio físico es el objeto de la geología y se entiende como “el conjunto de componentes predominantemente abióticos, como los materiales terrestres (suelo, rocas, agua, aire) y tipos de energía incluyendo sus modificaciones resultantes de la acción biológica y humana”.

Varios autores han tratado de definir el término “Geología Ambiental”, entre los que se encuentran:

Adamovich A (1963) expresa que “Geología Ambiental es la rama de la Ecología que trata las relaciones entre el hombre y su hábitat geológico; se ocupa de los problemas del hombre con el uso de la tierra y de la reacción de la tierra a este uso”... “Geología Ambiental incluye las ramas tradicionales de la Geología aplicada a la ingeniería y de la Geología económica, o de una pequeña parte de esta última, referente a los recursos minerales”.

Knipper A (1974) sintetiza que la “Geología es la ciencia de la tierra. Geología Ambiental es el área que estudia la relación de esa ciencia con las actividades humanas”.

Carnesoltas M (1987) concluye que “Geología Ambiental es geología aplicada y como tal, enfoca toda la gama de posibilidades de interacción entre el hombre y el ambiente físico”

Lee, K (1993) acotó que “El término Geología Ambiental es usualmente empleado para hacer referencia particularmente a las relaciones directas de la geología con las actividades humanas”... “Geología Ambiental es geología aplicada a la vida.

A pesar de la diversidad alcanzada en cuanto a los conceptos de la *Geología Ambiental*, existe un consenso de que es aquella que aplica los conocimientos geológicos a la investigación de problemas, contribuyendo al diagnóstico y corrección de dichos problemas. Por consiguiente, esta se ocupa del estudio de los riesgos geológicos naturales y antropogénicos e impactos ambientales de la actividad humana sobre el medio geológico o geoambiente.

Por ende, los objetivos fundamentales de esta son:

- Reconocer y describir las formas y los procesos que corresponden a la continua transformación del planeta, considerando al hombre como un agente determinante en esa transformación;
- Estudiar desde el punto de vista geológico las relaciones de causa y efecto de los procesos actuales, desencadenados en el medio físico por las actividades humanas;
- Intervenir y formar parte indisoluble de instrumentos de gestión ambiental.

La atención en el desarrollo sostenible y el interés público sobre el ambiente, ha estimulado a los gobiernos en el mundo a reexaminar su capacidad de evaluar y monitorear el estado del ambiente, con el objetivo de detectar cambios en sus condiciones y tendencias (OCDE, 1993).

De esta manera, los *indicadores ambientales*, cuya función principal es cuantificar y simplificar la información ambiental, asumen un rol de vital importancia como herramientas básicas para conocer y analizar el comportamiento ambiental del sector productivo con miras a optimizar los controles ambientales.

Según Palacios J (2004), el objetivo general de la caracterización y diagnóstico del medio físico mediante el uso de indicadores, permite conocer cómo es y

cómo funciona éste, qué problemas le afectan y de qué potencialidades dispone. Específicamente, para describir el medio físico los indicadores deben contener aspectos que permitan describir e interpretar el mismo, con base en los siguientes objetivos:

- Conocer las características naturales del territorio, estructurales, organizativas y funcionales;
- Comprender las formas de utilización del territorio y sus recursos naturales, incluyendo las degradaciones y amenazas (peligros) que actúan sobre el mismo;
- Valorar el territorio en términos de sus méritos de conservación, con base en el estado y la calidad de su patrimonio natural;
- Estimar la potencialidad del territorio, en términos de las oportunidades que ofrece en cuanto a recursos para las actividades humanas;
- Conocer la fragilidad o vulnerabilidad del territorio para dichas actividades;
- Conocer los riesgos naturales que se dan en el territorio y sus implicaciones para los asentamientos y las actividades humanas;
- Determinar el estado legal del suelo, que puede condicionar su uso y aprovechamiento;
- Determinar la aptitud de uso del territorio a fin de conformar los escenarios alternativos para elaborar su modelo de uso, aprovechamiento y ocupación.

En el campo ambiental se han desarrollado indicadores para entender, describir y analizar distintos fenómenos como el clima, la pérdida de suelos, calidad del agua, el riesgo de especies, entre muchos otros. Si bien el uso de indicadores ambientales se ha extendido, no existe una definición única del concepto y éste varía de acuerdo con la institución y a los objetivos específicos que se persiguen (Crespo G, 2004).

Los sistemas de producción agropecuarios presentan una alta heterogeneidad en cuanto al tamaño de las explotaciones (superficie y número de animales), a la infraestructura productiva, y en especial a los recursos de producción (tipos de suelos y calidad del agua).

El municipio Moa por la naturaleza del medio geológico y las grandes reservas ferroniquelíferas que posee, en los últimos 50 años ha evidenciado un desarrollo minero-metalúrgico considerable.

Lo que ha provocado una serie de factores que conducen a la pérdida de la calidad de los suelos y aguas, constituyentes principales para que se desarrollen las plantas de las cuáles se alimentan el hombre y los animales.

Se toma como referencia el sector La Granja, del poblado de Centeno, municipio Moa, provincia Holguín, Cuba, ya que la mayoría de sus pobladores se dedican a la práctica de actividades agropecuarias y además se encuentra ubicada la única UBPC del municipio Moa que por años ha obtenido muy bajas producciones, tanto de leche como de viandas y hortalizas.

Como expresó Cairo, P (1980): "El organismo humano o animal es la fotografía bioquímica del medio en que vive, más particularmente del suelo, que ha producido los alimentos de estos organismos".

Por ello surge la presente investigación titulada "Evaluación de los geoindicadores suelo y agua en el sector La Granja, Centeno, Moa" a partir del siguiente **problema**: Insuficiente conocimiento de los geoindicadores suelo y agua en el sector la Granja, Centeno, Moa para fines agropecuarios.

**Objeto de estudio**: Sector La Granja, Consejo Popular Centeno, municipio Moa. Provincia Holguín, Cuba.

**Campo de acción**: Geoindicadores suelo y agua.

**Objetivo general**: Evaluar los parámetros físico - químicos de los geoindicadores suelo y agua del Sector La Granja con fin agropecuario.

**Objetivos específicos:**

1. Describir los procesos geodinámicos externos presentes en el área de pastoreo.
2. Caracterizar desde el punto de vista químico los suelos del área.
3. Caracterizar desde el punto de vista físico-química las aguas superficiales y subterráneas del área de estudio.
4. Establecer un plan de acción.

**Hipótesis:** Si se determina el comportamiento de los principales parámetros que caracterizan los suelos y aguas del sector La Granja, se podrá proponer un plan de acción que mitigue los efectos negativos producidos.

**Resultados esperados:**

- Caracterización de los suelos del Sector La Granja.
- Caracterización de las aguas subterráneas y superficiales en el Sector La Granja.
- Identificación de los impactos sobre los indicadores suelo y agua.
- Propuestas de un plan de medidas de mitigación.

**Aporte científico:**

Caracterización desde el punto de vista físico- químico de los suelos y agua del sector La Granja, Centeno, Moa.

## **CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

**Introducción**

**Generalidades**

**Características físicas-geográficas del área de estudio**

**Características geológicas**

**Investigaciones precedentes**

**Conclusiones**

### **1.1 Introducción**

En el presente capítulo se exponen los rasgos físicos - geográficos, económicos y las características geológicas fundamentales de la región de estudio, así como las investigaciones precedentes realizadas a nivel internacional, nacional y local.

### **1.2 Generalidades**

El municipio de Moa tiene una extensión territorial de 732.6 kilómetros cuadrados. Se encuentra ubicado en la provincia Holguín, al noroeste de Cuba oriental. Limita al este con el municipio Baracoa, separados por los ríos Jiguaní y Jaguaní; por el sur limita con el municipio guantanamero de Yateras; por el oeste con los municipios de Frank País y Sagua de Tánamo y por el norte con el estrecho de Bahamas en el Océano Atlántico. 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 (Ramírez Y, 2010).

El sector La Granja, pertenece al poblado Centeno, municipio Moa, provincia Holguín. Limita al norte con la carretera central Moa - Sagua de Tánamo, al sur con la mina de la fábrica Pedro Sotto Alba y el río Cabaña, al este con la empresa Pedro Sotto Alba, el poblado de La Melba y el Reparto Armando Mestre y al oeste con el Cerro Miraflores.



### **1.3.2 Vientos**

La acción de los alisios que predominan del nordeste en invierno y del este en el verano y las características orográficas del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa produce una serie de brisas locales de considerable magnitud que son capaces de modificar o perturbar el curso normal de los alisios (Chapela G, 2005).

Los vientos locales más importantes son las brisas marinas que durante el día refuerzan a los alisios en la vertiente norte y el terral que durante la noche los debilita. También se manifiestan con las brisas de valles durante el día y las brisas de montaña que en el horario nocturno descienden hacia las partes bajas.

### **1.3.3 Relieve**

Se caracteriza por una alta complejidad, con predominio del sistema montañoso hacia la parte este, cota máxima de 1 139 m sobre el nivel del mar y ondulado hacia el norte, zona correspondiente a la región costera. En el área aparecen varias formas del relieve, teniendo mayor relevancia la zona de llanuras, en especial las llanuras fluviales erosivas-acumulativas: se localizan principalmente desde el centro del valle de la cuenca hasta el norte de la misma; la superficie topográfica pierde su regularidad al aparecer sectores de hasta 9° de pendiente, se condiciona la existencia de procesos erosivos. Los sedimentos que se acumulan en estas llanuras son de origen fluvial y su deposición es generalmente de carácter temporal, siendo removidos con frecuencia en los períodos de crecida.

La formación de estas llanuras está relacionada con la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos que en ella han actuado, influenciado por los procesos fluviales y marinos. Al sur del área de estudio predomina el relieve montañoso, ocupado por la mayor extensión las montañas bajas aplanadas y las premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas.

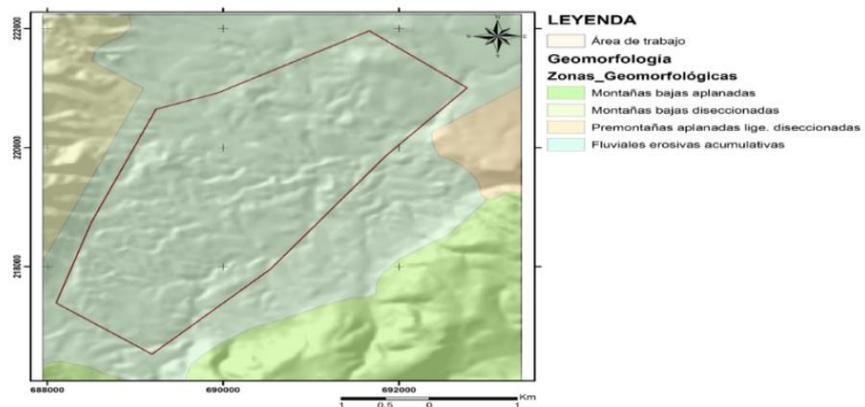


Figura 1. 8 Mapa geomorfológico del área de estudio (modificado de Rodríguez A, 1999)

### 1.3.4 Vegetación

El área de estudio presenta una vegetación natural de charrascales que producto de la acción antrópica del hombre ha sido transformada por una vegetación secundaria estructurada en zonas de sabana, provocando la disminución de la vegetación natural por vegetación de sabanas. Existe predominio de zonas de especies herbáceas en relación con las especies arbustivas.



Figura 1.4 Vegetación en el área de estudio

### 1.3.5 Características Socioeconómicas

La región de Moa está dentro de las más industrializadas del país, no solo por sus riquezas minerales, sino, además, porque cuenta con dos plantas procesadoras de níquel en producción, la Comandante Ernesto Che Guevara y la Pedro Soto Alba. Este renglón constituye el segundo rubro 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 de Servicios de la Unión del níquel (ESUNI), entre otras. Además de los yacimientos lateríticos, existen los de cromo refractario, clasificados como los mejores de su tipo en el territorio cubano, los cuales se encuentran distribuidos en las cuencas de los ríos Cayo Guam y Yamanigüey. Los gabroides y ultramafitas presentes en la región, pueden ser empleados como áridos en la industria de materiales de la construcción.

También existen otros organismos de los cuales depende la economía de la región, tales como: el establecimiento de la Empresa Geólogo Minera, la Presa Nuevo Mundo, el Tejar, el Combinado Lácteo y otros.

En el sector La Granja, área de estudio de la investigación, el principal renglón económico es el agropecuario, aquí está presente la UBPC Antonio Maceo del municipio Moa que no obtiene las producciones esperadas. Además en esta localidad se encuentra una escuela primaria y una bodega.

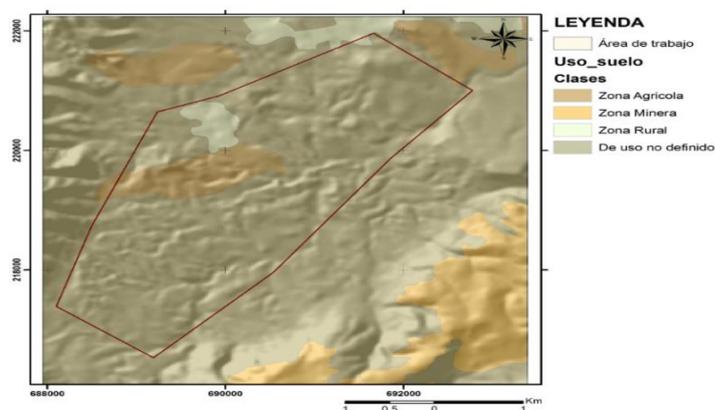


Figura 1. 5 Uso de los suelos en el área de estudio (modificado de Rodríguez A, 1999)

#### 1.4 Características geológicas

El área está caracterizada por su diversidad y complejidad, existen zonas pantanosas, llanuras fluviales, pero con predominio en los alrededores de un relieve montañoso, constituido casi en su totalidad por el sistema Sagua-Baracoa y las montañas bajas de las cuchillas Moa-Toa. El relieve de la zona costera generalmente es de llanuras abrasivas marinas, denudativos y

ligeramente diseccionadas con alturas de 20-25 metros. Las costas son abrasivo-tectónicas y erosivo-tectónicas, correspondiendo a las zonas de ascenso gradual. Hacia el sur el relieve es típicamente montañoso y bastante accidentado, de origen tectónico, formado por grandes bloques que han sido desplazados y han estado sometidos a los agentes de intemperismo, los que han ido denudando y transformando la geomorfología del área (Rodríguez A, 1999).

Representada por una variada composición litológica. Estratigráficamente está compuesta por las rocas del Complejo Ofiolítico (peridotitas, gabros, basaltos) y los sedimentos fluviales del Cuaternario. Según el mapa geológico el área se sitúa casi exclusivamente sobre cuerpos de gabros que tienen una estructura de grandes bloques y el complejo ofiolítico, que está representado por serpentinitas muy meteorizadas.

Como es de esperar la cuenca se encuentra ocupada por sedimentos aluviales de los depósitos del cuaternario abarcando un área de 1.54 km<sup>2</sup> que representa el 1.91 %, se depositan en los márgenes, cauces y desembocaduras fluviales del río y están constituidos por bloques, cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial (Figura 1.9).

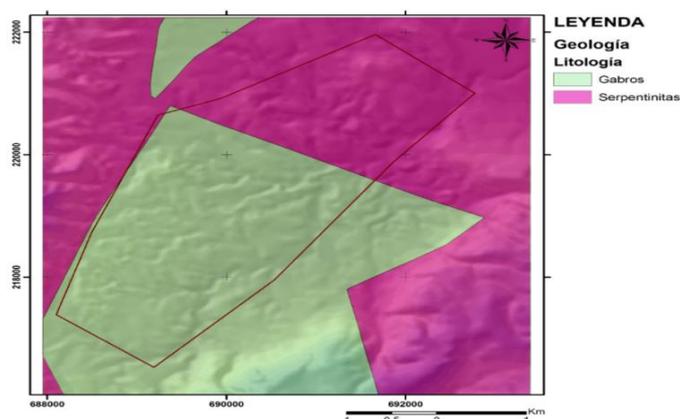


Figura 1. 6 Mapa geológico del área de estudio (modificado de Rodríguez A, 1999)

#### 1.4.1 Hidrografía

La abundancia de precipitaciones, combinada con el relieve y las características del clima, favorece la existencia de una red hidrográfica bien

desarrollada, fundamentalmente del tipo dendrítica, que corre de sur a norte. Representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se destacan: Yamanigüey, El Medio, Semillero, Quesigua, Cayo Guam, Punta Gorda, Yagrumaje, Moa, Cabaña y Aserrío los cuales son de carácter permanente, drenando en el mismo sentido que presenta la red. Estos ríos desembocan en la Bahía de Moa, formando deltas cubiertas de mangles, con una zona de erosión y otra de acumulación.

Forman terrazas al llegar a la zona de pie de monte y presentan numerosos meandros, sus orillas son abruptas y erosionadas en las zonas montañosas, mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas. Son alimentados por las precipitaciones atmosféricas teniendo como origen las zonas montañosas del grupo Sagua - Baracoa. Sobrepasan los 1.5 m/seg de velocidad y los gastos oscilan entre 100 y 200 l/seg algunos pueden tener gastos inferiores (Batista J, 1998).

El nivel de los ríos cambia en dependencia a 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. El área de estudio es atravesada por el río Cabaña, su cuenca se localiza al noroeste del municipio de Moa. Cubre una superficie total de 81 km<sup>2</sup>, donde su mayor elevación es de 390 m.s.n.m y su perímetro es de 61.44 km con pendientes mayores de 69.67°.

Los parteaguas secundarios son rectos y alargados, con pendientes abruptas, siendo esto un criterio importante en su identificación. En la cuenca completa el patrón de drenaje, a nivel general, es dendrítico, de forma angular debido al alto control tectónico sobre todo en los límites de los bloques morfoTECTÓNICOS, siendo típicos los valles en forma de V con pendientes fuertes, los que se hacen más amplios y menos profundos cuanto mayor es su orden. Hacia el sur las cimas son aplanadas y el drenaje es menos denso, de cauces estrechos y profundos con divisorias aplanadas, generalmente asociados a fracturas.

Esta variedad de drenaje le hace adoptar a la red fluvial un esquema similar a las nerviaciones de las hojas de los árboles, con afluentes en variadas direcciones, aunque generalmente, se unen a la corriente principal bajo un ángulo bastante agudo en la dirección del flujo de esta. La red fluvial corre en toda la cuenca con dirección noreste, alimentada de manera general por 35-40 tributarios donde su curso fluvial tiene una longitud de 23,37 km. En el cauce fluvial aparecen sinuosidades que se han originado por diversos factores como irregularidades en el terreno y diferencias litológicas en el cauce.

#### **1.4.2 Recursos edáficos**

Los suelos se caracterizan por su color rojo púrpura, estando situados dentro de la región más extensa de suelos ferríticos de la isla, sobre macizos de rocas ultrabásicas serpentinizadas. Representan en Cuba los perfiles que han sufrido un intemperismo más intenso y un mayor grado de evolución en las distintas etapas de su desarrollo (Batista J, 1998). Estos tipos de suelos se pueden caracterizar como suelos profundos, de baja fertilidad, buen drenaje interno, gran parcelación del agua y muy friables. Tienen pH ligeramente ácido a medianamente ácido, siendo la acidez mayor en la superficie que en la profundidad.

Las llanuras de la región de Moa, están caracterizadas, desde el punto de vista edafológico, por el predominio de suelos del agrupamiento ferríticos, aluviales y cenagosos. Las génesis de los mismos se relacionan espacialmente con lugares de relieve más o menos estables (superficies de planación), fundamentalmente sobre peridotitas serpentinizadas, donde el intemperismo tropical ha actuado de manera muy intensa (proceso de ferritización).

La vegetación como factor de formación de estos suelos ferríticos, ha jugado un importante rol en cuanto a la protección antierosiva ejercida por el follaje y el aporte de biomasa en forma principalmente de hojarasca. Se puede observar, que la vegetación establecida sobre los suelos ferríticos es bastante específica, en concordancia con la baja fertilidad natural y actividad biológica de los mismos.

Los suelos ferríticos distribuidos en el área, se caracterizan por la presencia en ellos, del horizonte de diagnóstico subsuperficial férrico, 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, goethita, gibbsita y trazas de minerales arcillosos 1:1, el grado de saturación por bases es mayor de 50%, la estructura de agregados finos, poco estables, y debe ser al menos de 10 cm de espesor si descansa directamente sobre la roca madre. Estos suelos poseen muy baja fertilidad natural. El pH en agua es ligeramente ácido.

Los suelos esqueléticos (Lithosoles) se tratan de suelos de perfil ACD ó AD, poco profundos (menos de 20 cm de solum) 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°), alrededor de las superficies interfluviales del río Cabaña. Son suelos que no han podido evolucionar a consecuencia de la continua erosión a que están sometidos (agrupamiento de suelos poco evolucionados), en relieves inestables, sobre rocas duras y compactas, por lo que no poseen horizontes de diagnóstico, y los horizontes pedológicos presentan poca alteración química de los minerales primarios.

Los suelos aluviales (no carbonatado) se relacionan espacialmente con la llanura de inundación del río Cabaña, incluyéndose las áreas anegadizas y las que actualmente no están sujetas a inundaciones, pero que no presentan aún rasgos en el perfil provocados por el desarrollo de nuevos procesos edafogenéticos, (Figura 1.8). Se manifiesta el tipo aluvial poco diferenciado. 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.



Figura 1. 7 Suelos aluviales en la llanura de inundación del río Cabaña.

Los 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 y 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.

#### **1.4.3 Características Tectónicas**

El bloque oriental cubano comprendido desde la falla Cauto-Nipe hasta el extremo oriental de la isla, presenta una tectónica caracterizada por su alta complejidad, dado por la ocurrencia de eventos de diferentes índoles que se han superpuesto en el tiempo y que han generado estructuras que se manifiestan con variada intensidad e indicios en la superficie. Este bloque se caracteriza por el amplio desarrollo de la tectónica de cabalgamiento que afecta las secuencias más antiguas (Carmenate J, 1996).

Esta complejidad en la región de estudio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste que se cortan y desplazan entre sí, formado por un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la compresión. También se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos.

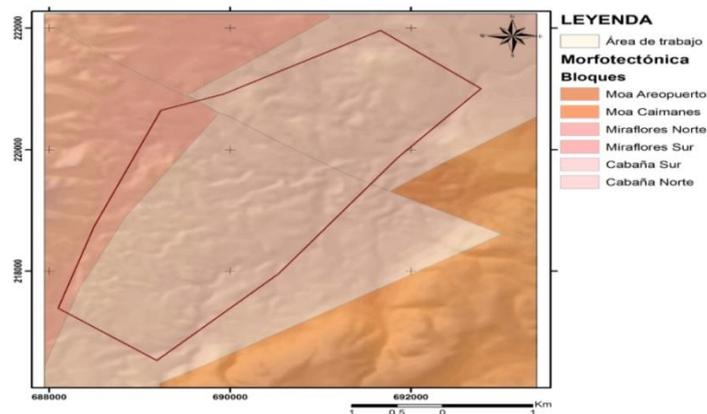


Figura 1.9 Morfotectónica del área de estudio (modificado de Rodríguez A, 1999)

En los estudios tectónicos precedentes del territorio se han reconocido dos sistemas de fallas que cortan a las rocas del complejo ofiolítico, sin embargo, como resultado del desarrollo de las presentes investigaciones fueron cartografiados cuatro sistemas de estructuras disyuntivas que corresponden a cada uno de los periodos de la evolución geotectónica. (Batista J, 1998) (Rodríguez A, 1999).

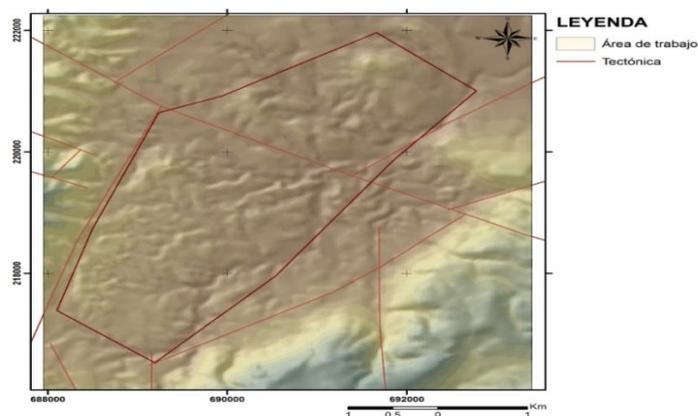


Figura 1. 10 Tectónica del área de estudio (modificado de Rodríguez A, 1999)

#### 1.4.5 Características Hidrogeológicas

En el área las condiciones hidrogeológicas se basan en las particularidades geológicas, geomorfológicas, climatológicas, hidrogeológicas y de yacencia de las rocas. En esta región son abundantes las precipitaciones atmosféricas, de las cuales una parte se evapora y la otra se ingresa al escurrimiento superficial y a la alimentación del manto acuífero (Batista J, 1998). Teniendo en cuenta

los tipos de rocas presentes en la región y en el área de estudio, así como la capacidad de almacenar las aguas subterráneas, existen cinco complejos acuíferos:

Complejo acuífero de las ofiolitas. Se extiende en dirección noreste-sureste, 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 hasta 12. El coeficiente de filtración (K) está comprendido entre valores menores de 1 a 14.7 m/día, el gasto de aforo (Q) desde menos de 1l/s hasta más de 4l/s. Las aguas son de tipo hidrocarbonatadas-clórica-sódicas e hidrocarbonatadas-magnesianas.

Complejo acuífero de las lateritas. Se extiende por casi toda la zona ocupando gran parte del área. Litológicamente por potentes cortezas de intemperismo. Este complejo representa un acuitardo, debido al predominio de aguas capilares y de potencias considerables de lateritas, que alcanzan valores de 30 m, con un marcado desarrollo de los procesos de capilaridad, donde los ascensos capilares de las aguas pueden alcanzar más de 20 m. La fuente de alimentación 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 aluviales. Se extiende en dirección norte-sur formando una franja ancha en su parte superior y estrecha en su parte inferior. Ocupa todas las terrazas del río Moa, así como los valles de su afluente Cabaña. Litológicamente está formado por gravas, arenas, arcillas, cantos rodados, arenas arcillosas y arcillas arenosas con una potencia de 15 m aproximadamente, perteneciente a la formación río Macío. Su edad se considera que es del cuaternario. Las aguas de estos acuíferos son de tipo freáticas, existiendo interrelación hidráulica entre el río y el acuífero, cambiando la dirección del flujo en dependencia del período de lluvia y seca respectivamente. Por la dirección del movimiento, las aguas subterráneas alimentan al río en todas direcciones. El coeficiente de filtración (K) varía desde

13-290 m/días, mientras que su gasto de aforo (Q) es de 2-57 l/seg. La profundidad de yacencia del agua es pequeña, con valores comprendidos entre los 1-5m, según su composición química por clasificaciones de Kurlov y Aliokin están denominadas aguas hidrocarbonatadas magnésicas.

Complejo acuífero de los sedimentos costeros. Se extiende por casi todo el norte del área, formando una franja estrecha de 1 - 2 Km de ancho. El relieve es costero con cotas de 0 - 2 m sobre el nivel del mar. Su edad es cuaternaria. Litológicamente está constituido por depósitos arcillosos con fragmentos angulosos de composición variada. Las rocas acuíferas son calizas organógenas, en menor grado sedimentos no consolidados y depósitos arcillo - arenosos con fragmentos en forma de ángulos de composición múltiple. La profundidad de yacencia varía en un rango de 1-5 m.

Su coeficiente de filtración (K) puede alcanzar valores aproximados de hasta 64.4 m/días, el gasto de aforo (Q) es de aproximadamente 14 l/seg. Los tipos de agua predominantes son de grietas y cárnicas y en algunos casos intersticiales. En su mayoría tienen interrelación hidráulica con las aguas del mar, según kurlov por su composición química son cloruradas - hidrocarbonatadas - sódicas - cálcicas y según Aliokin son cloruradas sódicas.

Complejo acuífero de los sedimentos terrígenos carbonatados. Está formado por margas estratificadas, calizas compactas, depósitos brechosos, de carácter tanto tectónico como sedimentario, aleurolitas y conglomerados. Las rocas acuíferas están constituidas por conglomerados brechosos y las calizas en menor proporción las margas estratificadas.

### **1.5 Investigaciones precedentes**

Para que una investigación pueda obtener los resultados esperados es necesario que se realice una búsqueda minuciosa de toda la bibliografía existente a nivel internacional, nacional y local. A continuación se reflejan los principales trabajos referenciados a nivel mundial:

El interés por el suelo surgió desde el momento de su labranza y el desarrollo de los cultivos, es decir desde que el hombre se ocupó de la agricultura. Cultivando suelos distintos el hombre los conocía y los diferenciaba en mejores

y peores. Vastos conocimientos sobre los cuales tenían los antiguos, entre ellos: egipcios, asirios, chinos, griegos y romanos (Ogas R.; Pernasetti O, 2006).

Yakabi, K. S (2014) expone el siguiente concepto; suelo es la parte superficial de la litosfera. Constituida por una mezcla variable de partículas minerales, materia orgánica, aire y agua. Se forma a través de un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos sobre el medio rocoso original (meteorización), siendo el soporte material para el desarrollo de organismos vivos.

La Academia Nacional de Ciencias Americana (ANCA) publica en el año 1993 el libro titulado Soil and Water Quality: An Agend for Agriculture (National Research Council, 1993), en el que se establece la capacidad del suelo para promover el crecimiento de las plantas, proteger las vertientes a través de la regulación de la infiltración y prevenir la contaminación del aire y del agua mediante su poder amortiguador sobre contaminantes potenciales como agroquímicos, residuos orgánicos y contaminantes industriales.

Llerena C (2004) en su investigación realizó la caracterización de los suelos de La Asunción en Perú, mediante la evaluación de los diferentes parámetros edáficos, donde los resultados se comparan con el sistema de clasificación FAO y la determinación de la capacidad de uso potencial para cada unidad trabajada.

Jamioy D (2011) denota que dentro de los estudios más avanzados de la ciencia del suelo, aquellos encaminados a conocer su calidad y salud son hoy en día prioritarios. Por lo tanto la cuantificación y monitoreo cobra gran importancia debido al riesgo de degradación por prácticas agrícolas inapropiadas a través del tiempo.

Leyva L (2012) denota dos clasificaciones para el suelo una según su funcionalidad y otra de acuerdo con sus características físicas.

Por funcionalidad:

- Suelos arenosos: no retienen el agua, tienen muy poca materia orgánica y no son aptos para la agricultura, ya que no tienen nutrientes.

- Suelos calizos: tienen abundancia de sales calcáreas, son de color blanco, seco y árido, y no son buenos para la agricultura.
- Suelos humíferos (tierra negra): tienen abundante materia orgánica en descomposición, de color oscuro, retienen bien el agua y son excelentes para el cultivo.
- Suelos arcillosos: están formados por granos finos de color amarillento y retienen el agua formando charcos. Si se mezclan con humus pueden ser buenos para cultivar.
- Suelos pedregosos: formados por rocas de todos los tamaños, no retienen el agua y no son buenos para el cultivo.
- Suelos mixtos: poseen características intermedias entre los suelos arenosos y los suelos arcillosos.

Según sus características físicas:

- Litosoles: se considera un tipo de suelo que aparece en escarpas y afloramientos rocosos, su espesor es menor a 10 cm y sostiene una vegetación baja, se conoce también como leptosales que viene del griego leptos que significa delgado.
- Cambisoles: son suelos jóvenes con proceso inicial de acumulación de arcilla. Se divide en vértigos, gleycos, eutrícos y crómicos.
- Luvisoles: presentan un horizonte de acumulación de arcilla con saturación superior al 50%.
- Acrisoles: presentan un marcado horizonte de acumulación de arcilla y bajo saturación de bases al 50%.
- Gleysoles: presentan agua en forma permanente o semipermanente con fluctuaciones de nivel freático en los primeros 50 cm.
- Fluvisoles: son suelos jóvenes formados por depósitos fluviales, la mayoría son ricos en calcio.

- Rendzina: presenta un horizonte de aproximadamente 50 cm de profundidad. Es un suelo rico en materia orgánica sobre roca caliza.
- Vertisoles: son suelos arcillosos de color negro, presentan procesos de contracción y expansión, se localizan en superficies de poca pendiente y cercanos escurrimientos superficiales.

Más adelante en el 2013, Marapi R, estudia la habilidad del suelo como soporte para el crecimiento de los cultivos en la que influyen factores como grado de facilidad de labranza, contenido en materia orgánica, profundidad del suelo, capacidad de retención de agua, tasa de infiltración, cambios de pH y capacidad nutritiva.

Debido a la infiltración de agua edáfica, que produce una cierta meteorización química, así como a la actividad orgánica en el suelo, se desarrolla una estructura secuencial en capas u horizontes según la profundidad. El conjunto de horizontes, denominado *perfil*, da idea de la estructura global del suelo. Los horizontes tienen diferentes propiedades físicas y químicas, dependiendo del proceso de formación del suelo. Básicamente se distinguen tres horizontes; los cuales de menor a mayor profundidad se clasifican como:

Horizonte A: constituido de partículas minerales y materia orgánica fresca y parcialmente descompuesta. Es una zona del suelo donde se produce mucha lixiviación, principalmente de sales de hierro, aluminio y manganeso. Contrarrestando la acumulación de materia orgánica procedente de organismos vivos, tiene lugar una transferencia de compuestos orgánicos sencillos hacia horizontes más profundos. En este horizonte predominan los materiales silíceos.

Horizonte B: se produce una acumulación de los compuestos de lixiviación procedentes del horizonte A. En esta zona tiene lugar una lixiviación moderada y la oxidación de materia orgánica. Contiene óxidos de hierro (III), que provocan una coloración amarillo – marrón. También, hay presencia de silicatos laminares.

Horizonte C: es el más profundo y se caracteriza por la inexistencia de lixiviación. En esta zona de meteorización pobre, se observa la presencia de material poco particulado. En los tres horizontes, a causa de los procesos de oxidación de la materia orgánica y de la formación de óxidos, hay un consumo neto de oxígeno edáfico, lo que conlleva a una reducción de este gas con la profundidad. Por el contrario, hay una mayor producción de CO<sub>2</sub> paralela a la disminución de materia orgánica que se observa al aumentar la profundidad (Domènech X, 2000).

Vaca R (2009) señala la necesidad de abrir un debate por parte de los científicos del suelo entorno al concepto de calidad del suelo, que permita desarrollar nuevas metodologías para cuantificar los riesgos ambientales que amenazan a los suelos tanto en ámbitos agrícolas como no agrícolas.

El ministerio de agricultura y ganadería de los Estados unidos (USDA, 1999) explica que las características físico-químicas del suelo, deben ser conocidas por el productor agrícola, ya que el crecimiento y desarrollo de los cultivos y la cantidad y calidad de las cosechas, están en relación directa con los nutrimentos y las características de los suelos. Además indican que para el estudio del estado nutricional del suelo, únicamente es necesario tomar muestras superficiales, pues es en la capa arable donde las plantas obtienen el mayor suministro de elementos nutritivos y agua.

Sánchez O (2014) en su estudio caracteriza el agua como uno de los elementos reguladores del equilibrio del sistema natural. Determinado por las relaciones existentes entre la biosfera, la litosfera y la hidrosfera. Se mueve dentro del sistema natural tanto en los estados líquidos como sólido y gaseoso, en un ciclo permanente cuya relación es determinante para posibilitar la vida y por ende las actividades productivas del ser humano. Dentro del sistema ambiental global, integra un ciclo dinámico, que comprende los fenómenos de evaporación, condensación, congelación, fusión, así como los de precipitación, infiltración y escorrentía.

Según Dixón A (2001), los principios básicos para mejorar la productividad del agua en el campo, a nivel de finca o de cuenca que se aplican a todos los cultivos, tanto bajo condiciones de secano como de riego, son:

- Incrementar los rendimientos comercializables de los cultivos por cada unidad de agua transpirada por este.
- Reducir todas las pérdidas (drenaje, filtrado) incluyendo las pérdidas por evaporación distintas de la transpiración estomática de las plantas.
- Incrementar el uso efectivo del agua de lluvia, del agua almacenada y del agua marginal de menor calidad.

En estudios realizados por la (FAO, 2011) la lluvia es la fuente de agua para la producción de cultivos en las zonas más húmedas del mundo donde se produce cerca del 60 por ciento de la producción agrícola. La agricultura de secano se encuentra cerca del 80 por ciento de las tierras arables y el riego en 20 por ciento, produciendo el 40 por ciento de los cultivos alimenticios del mundo.

Park Ch (2007) en su estudio demuestra que los problemas relacionados con el agua en la agricultura están en dependencias de la gran variabilidad espacial y temporal de las lluvias, antes que con los bajos volúmenes de acumulación de la misma. Los resultados generales de la impredecibilidad de las lluvias son un alto riesgo para las sequías meteorológicas y los períodos secos interestacionales. Además como cubrir los déficits de agua durante los períodos secos cortos con riego suplementario, estabiliza la producción e incrementa tanto la producción como la productividad del agua, siempre que sea aplicada en los momentos más sensibles del crecimiento de las plantas.

La siguiente investigación proporciona varios medios para el manejo del suelo y el agua. Plantea una estrategia de la agricultura de secano que se basa en la producción de más alimentos por unidad de lluvia en forma continua, al recolectar la máxima cantidad posible de lluvia a nivel comunitario, de finca y de parcela, tratar de minimizar las pérdidas de agua y usar eficientemente el agua en el campo (Villarrola G, 2001).

## **Nacional**

Pacheco O (2013) en su tesis de maestría titulada “Medidas de conservación para suelos potencialmente erosionables en Camagüey”, brinda una metodología que permite aumentar la producción de alimentos, conserva los suelos potencialmente erosionables, hace un uso más adecuado de los mismos. Durante su ejecución se introdujo en todos los campos el laboreo mínimo, utiliza los equipos e implementos más ligeros.

Ollerana R (2012) en su investigación “Reflexiones sobre el uso de suelo urbano para la agricultura en ciudad de La Habana”, refiere que la optimización del uso de suelos para la agricultura es un proceso de intervención participativa por el cual se planifica, define y concreta el uso de los suelos vacantes en un territorio.

Ciudad de La Habana cuenta con más de 35 000 hectáreas con potencial para su uso en la agricultura, de las cuales 33 000 se hayan en explotación. Sin embargo, dado el grado de contaminación a que está expuesta la ciudad, los espacios agrícolas deben estar predominantemente dirigidos al desarrollo de subprogramas como forestales, frutales y ornamentales, así como en el diseño de parques recreativos y deportivos, con el fin de mejorar la calidad de vida de la población. En este trabajo se reflexiona sobre la necesidad urgente de diseñar conscientemente los espacios ociosos de la ciudad dando participación directa a los ciudadanos de la comunidad. Se comenta sobre los inconvenientes de poner a producir cualquier área sin considerar previamente las cercanías a las vías de comunicación y otros posibles focos de contaminación.

En el estudio Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios, se presentan algunos resultados generados en diferentes instituciones científicas en cuanto al uso de tecnologías adecuadas con el manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios, así como las experiencias de su introducción en la práctica productiva con el fin de contribuir al desarrollo sostenible y la seguridad alimentaria de Cuba (Sánchez S, Hernández M y Ruz F, 2011)

La presente investigación analiza los grupos que integran la mesofauna edáfica sensibles a las perturbaciones naturales y antrópicas del medio, las que provocan cambios en su composición específica y su abundancia, y ocasionan la pérdida de especies y de su diversidad, con la consiguiente disminución de la estabilidad y la fertilidad del suelo; donde el número, la densidad y el balance de estos grupos permiten predecir y evaluar las transformaciones ocasionadas por la aplicación de diferentes métodos de producción agrícola en condiciones edafoclimáticas específicas, así como considerar integralmente el funcionamiento del ecosistema (Socarrás A, 2013)

Muñiz O (2015) en su artículo resume el desarrollo, principales logros y desafíos de la ciencia del suelo en Cuba en los 50 años transcurridos desde la fundación del Instituto de Suelos, período en que tales estudios se acometieron de forma sistemática y metódica en el país. Se presentan los principales resultados; entre ellos se mencionan: el desarrollo e introducción de la clasificación genética de los suelos de Cuba, en sus diferentes versiones; la clasificación agroproductiva de los suelos de Cuba; el mapa a escala 1: 25 000 de los suelos de Cuba y el establecimiento de las bases del Servicio de Suelos que brindan a los agricultores, tanto el Instituto de Suelos como el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar.

Las aguas naturales tanto superficiales como subterráneas tienen amplia utilización en la agricultura en procesos de riego de distintos cultivos y en el lavado de suelos salinos. Cada tipo de cultivo en correspondencia con el tipo de suelos tiene sus exigencias de características químicas de las aguas que pueden ser utilizadas en los mismos (De Miguel C, 2012).

La agricultura es siempre el mayor usuario de todos los recursos hídricos tomados en su conjunto, por ejemplo, la lluvia (llamada agua verde) y el agua en los ríos, lagos y acuíferos (llamada agua azul). La agricultura absorbe alrededor del 70 por ciento del consumo mundial, el uso doméstico un 10 por ciento y los usos industriales un 21 por ciento (Tamayo M, 2011).

Sánchez D, Sánchez Y y Fernández M (2014) con el estudio Análisis hidroquímico con fines de riego de aguas subterráneas de la provincia de

Granma, realizan la evaluación de las características hidroquímicas de las aguas subterráneas en el norte de la provincia de Granma para su utilización en el riego agrícola. A partir de una base de datos del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, compuesta de 303 pozos, generándose mediante el programa Surfer (vers. 9.0) y a escala 1:250 000 mapas hidroquímicos de mineralización, contenido de cloruro, clase química del agua, coeficiente de irrigación e índice de salinidad marina.

González F, Herrera J, López T y Cid G (2013) con el estudio Funciones del agua para el rendimiento de 14 cultivos agrícolas en condiciones del sur de La Habana, traza estrategias de manejo que contribuyan al incremento en la producción agrícola. Utilizando los datos de consumo de agua, agua aplicada por riego, precipitaciones y los rendimientos obtenidos en más de 100 experimentos de campo realizados fundamentalmente en suelo ferralítico rojo de la zona sur de La Habana y con ayuda de herramientas de análisis de regresión en dicho trabajo se estiman las funciones rendimientos versus agua aplicada para 14 cultivos agrícolas. Encontradas para los cultivos de frijol, sorgo, ajo, cebolla, boniato, malanga y piña al relacionar el rendimiento con el agua aplicada por riego. Estos resultados pueden servir como herramientas para alcanzar los rendimientos potenciales de los cultivos estudiados y en la toma de decisiones cuando el recurso agua está limitado.

### **Local**

Pérez G y Piña J. E (2010) con la investigación Evaluación de la sequía meteorológica y su impacto en el sector agrícola y pecuario en los municipios del este holguinero, se analiza el comportamiento de la sequía meteorológica facilitando la participación de diferentes sectores involucrados, mediante la evaluación de los impactos ocasionados por la sequía en el sector agrícola y ganadero de esta zona oriental y se constató la repercusión que tuvo la ocurrencia de este fenómeno en los rendimientos en el sector antes mencionado.

Fernández M y Fernández O (2007) en su investigación evalúan la calidad físico-química y bacteriológica de las aguas subterráneas en pozos criollos del municipio Moa. Emplearon las técnicas analíticas convencionales así como métodos gráficos. Los resultados reflejan la presencia de elementos no deseables, indicadores de contaminación, que sobrepasan los índices establecidos para el consumo humano como agua potable.

En todas las búsquedas realizadas no se encontró ninguna investigación precedente realizada sobre evaluación de suelo y agua con fines agropecuarios, por lo que nos atrevemos a decir que la investigación es la primera que se realiza con esta temática en el territorio de Moa

### **1.6 Conclusiones**

Según el mapa geológico litológicamente el área de estudio se sitúa sobre cuerpos de gabros, que tienen una estructura de grandes bloques y el complejo ofiolítico, representado por serpentinitas muy meteorizadas. Hidrográficamente es atravesada por el río Cabañas y se encuentra situada dentro del complejo acuífero de las lateritas. Los suelos poseen muy baja fertilidad natural, el pH es ligeramente ácido y presentan nódulos ferruginosos que le confieren elevada permeabilidad, provocando un drenaje rápido. A través de la revisión bibliográfica realizada se pudo constatar el desconocimiento existente en la región de Moa con relación a la caracterización físico-química de los suelos y agua con fines agropecuarios, siendo una herramienta primordial en las unidades productoras.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

### Introducción

### Metodología de investigación

### Conclusiones

#### 2.1 Introducción

En el presente capítulo se procede a explicar la metodología que se aplicó en la investigación, se describen los métodos utilizados en los trabajos de campo y en los análisis de laboratorio. Además, los métodos de procesamiento e interpretación de los resultados obtenidos. Se ha asumido la metodología establecida para los estudios geológicos en general, conformada por cuatro etapas de trabajo: etapa I Preliminar, etapa II Trabajo de campo, etapa III Análisis de laboratorio y etapa IV Procesamiento de la información.

#### 2.2 Metodología de investigación

La metodología de investigación tiene por objetivo mostrar una forma de evaluación a seguir, que comprenda el estudio de las características físico – químicas de los suelos y aguas en el sector a estudiar:



El método empleado consiste en identificar aquello que es especial y representativo basándose en el contexto geológico - ambiental.

Se desarrolla en cuatro etapas de trabajo, las cuales se describen a continuación:

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

En esta etapa se realiza una búsqueda de información bibliográfica en: una serie de artículos científicos, trabajos investigativos, revistas, tesis de grado, de maestría y doctorales, así como informes relacionados con el tema a tratar. Se utiliza información del Centro de Información del ISMM, de sitios web de internet especializados en el tema y entrevistas a los pobladores y trabajadores de La Granja.

Luego de haber desarrollado la búsqueda bibliográfica, fue almacenada en el gestor bibliográfico EndNote x7 para procesar e interpretar los datos obtenidos y luego ser llevados a formato digital como parte de la memoria escrita del trabajo.

### **II Etapa. Trabajo de campo**

Se realizan con el objetivo de describir en el terreno los procesos geológicos, identificar los tipos de rocas, suelo y los impactos fundamentales de la actividad antrópica sobre el medio. Teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Realización de marchas de reconocimiento para la descripción geológica de afloramientos e identificación de procesos geodinámicos que se desarrollan en el sector.
- Descripción de los tipos de suelos e identificación de criterios de productividad biológica, en base a la densidad de vegetación y desarrollo del follaje.
- Identificación de impactos antrópicos sobre los factores ambientales en el área.
- Toma de muestras para la realización de análisis de laboratorios.

### Equipamiento utilizado

- Mapas topográficos
- GPS
- Brújula
- Mapa geológico
- Libreta, lápiz, marcador
- Piqueta
- Pico
- Cámara fotográfica
- Frascos plásticos
- Bolsas de nylon

### Toma de muestras

**Suelo:** el muestreo es la etapa previa al análisis, cuyo objetivo es elegir una parte del suelo que sea representativa; existen varias opciones para realizar un muestreo, la investigación adopta el muestreo al azar: es probablemente el más simple de todos. La selección de las muestras se deja completamente al azar y no hay relación con ninguna variación observada en el suelo. Es un método por el que cada muestra o propiedad del suelo tiene la misma probabilidad de ser tomada y considerada. En un campo homogéneo es un método satisfactorio.

Las muestras fueron recolectadas en el mes de febrero; en el horario de las 9:30 am, tomadas en cuatro puntos del sector a estudiar, dos muestreos por parcela, se escogen los más representativos para los análisis de laboratorio mediante la técnica superficial, pequeña excavación en forma de cono con el pico y la pala a unos 20 cm de profundidad, se toman 1000 gr de la parte central de la excavación y se envasan en una bolsa de plástico limpia.

- Muestra 1 (S-1) lado izquierdo de la primera parcela.
- Muestra 2 (S-2) lado derecho de la primera parcela.
- Muestra 3 (S-3) lado izquierdo de la segunda parcela.
- Muestra 4 (S-4) lado derecho de la segunda parcela.

Las muestras se identifican con su ficha de campo, con una serie de datos que incluyen las siglas de la muestra, la situación exacta, coordenadas marcadas, localidad y fecha de recogida.

**Agua:** es importante tener en cuenta que el resultado de un análisis depende de la forma y lugar en donde se toma la muestra, por lo que, para garantizar la confiabilidad e imparcialidad, es necesario e importante la seguridad, control y calidad con que se preserven y transporten las muestras al laboratorio.

El muestreo se realizó en el horario establecido según la norma cubana 827: 2010, antes de las 10 de la mañana. En 3 puntos diferentes del sector, se determinan las características físico-químicas de las aguas superficiales: el río Cabaña que pasa por el sector en estudio y tanque de abastecimiento; y subterráneas: el único pozo que tiene el sector en estudio, en el período lluvioso y poco lluvioso de los años 2013, 2014 y 2015. En frascos plásticos de agua potable de 500 ml, enjuagados varias veces con el agua en análisis e identificados como:

- Muestra 1 (M-1) agua del río.
- Muestra 2 (M-2) agua del tanque de almacenamiento.
- Muestra 3 (M-3) agua del pozo.

## **Preparación de las muestras**

### **Suelo**

Las muestras recogidas se conservan en bolsas de plástico y mantienen su estado original, para evitar cualquier tipo de contaminación y transformación, luego fueron enviadas al laboratorio químico del CEDINIQ donde se preparó mediante el siguiente procedimiento:

Secado: la muestra completa se seca al aire. Se extiende formando una capa de grosor no superior a 15 mm, en bandeja que no absorba humedad ni produzca contaminación. Para acelerar el proceso puede reducirse el tamaño de los terrones mayores mediante una trituración suave que no introduzca contaminación. El secado debe proseguirse hasta que la pérdida de masa de la muestra de suelo no sea mayor de un 5 % en 24 h.

Trituración y eliminación de materiales gruesos. Tamizado: cuando la muestra de suelo se ha secado hasta formar terrones, es necesario llevar a cabo un proceso de trituración. Antes de iniciarlo, cantos, fragmentos de vidrio, residuos, etc. deben eliminarse. Una vez secada y separados los fragmentos extraños, la muestra debe reducirse de tamaño por trituración hasta alcanzar un tamaño de partícula inferior a 2 mm. En este sentido, es aconsejable determinar la distribución del tamaño de la partícula (curva de tamizado).

Homogenización: la muestra debe rehomogenizarse después de cualquier operación de separación, tamizado, triturado o pulverizado, ya que puede producirse la segregación de las partículas de diferentes tamaños.

Se determinó: pH, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre, manganeso, zinc, hierro y molibdeno.

### **Agua**

Una vez recogidas las muestras fueron conservadas en los frascos plásticos y se mantuvieron en su estado original para evitar contaminaciones, se enviaron al laboratorio de Planta de agua de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara y al laboratorio del Centro de Higiene y Epidemiología del municipio Moa para determinar los siguientes parámetros: pH, conductividad, turbidez, STD, color, sodio, aluminio, cloruro, calcio, hierro, sílica, dureza total y coliformes totales.

### **III Etapa. Análisis de laboratorio**

Para la realización de este conjunto de análisis se emplearon equipos e instrumentales con una alta precisión en los resultados.

#### **Suelo. Equipos y técnicas empleadas**

- Determinaciones de pH, método electrométrico.
- Los elementos: N, P, K, Ca, Mg, Co, Mn, Zn, Fe, Mo, fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica.

### **Agua. Equipos y técnicas empleadas**

- Para las determinaciones relacionadas con la conductividad y sólidos totales disueltos se empleó el conductímetro WTWLF – 330UNICAM.
- Determinaciones de pH, el potenciómetro WTW UNICAM.
- Por el método de análisis colorimétrico fueron determinados el color, la turbidez, Cr, NO<sub>3</sub>, Fe, mediante el espectrofotómetro DR – 2000 y el espectrofotómetro ultravioleta visible Helios λ UNICAM.
- Para las determinaciones del Cl, Ca, dureza total, se empleó el método de valoración volumétrica, determinándose el residuo seco por el método gravimétrico.
- Los elementos pesados Na, Al, Si, se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica.

### **IV Etapa. Procesamiento de la información**

En esta etapa al obtener las informaciones necesarias de campo y laboratorio que garantizan el cumplimiento de los objetivos de la investigación se evalúan y procesan mediante herramientas de Office 2010, entre ellas Microsoft Excel y Word, etc. Para luego ser interpretados mediante tablas y gráficos que forman parte de la memoria escrita.

### **2.3 Análisis de las características geológicas y geodinámicas predominantes del área de pastoreo**

Para su determinación se procede a revisar las fotos aéreas bajadas del programa Google Earth y a la interpretación de la documentación del reconocimiento de campo realizado en 14 puntos del área de pastoreo a una distancia de 250 m, se utilizan fichas normalizadas con el objetivo de homogenizar los datos y facilitar el procesamiento de la información, los elementos tenidos en cuenta son:

**Punto No**

**Ubicación**

**Coordenadas**

**Litologías**

**Estructura**

**Vegetación**

**Suelos**

**Red fluvial**

**Fenómenos geodinámicos**

**Acción antrópica**

## **2.4 Determinación de la calidad de los suelos según sus propiedades químicas**

En la presente investigación el suelo es de gran relevancia teniendo en cuenta que es el cuerpo natural que sostiene la vida, el elemento sin el cual no podría haber plantas, árboles ni cultivos agrícolas, ya que brinda soporte, aporta nutrientes, almacena el agua que requieren las plantas para su desarrollo y actúa como filtro de contaminantes que produce el hombre.

**Potencial de hidrógeno (pH):** se refiere al grado de acidez, neutralidad o alcalinidad del suelo, dado por la proporción de iones de hidrógeno ( $H^+$ ) y de oxidrilos ( $OH^-$ ). Cuando hay mayor presencia de  $H^+$ , la reacción del suelo es ácida, con pH menor a 7; mientras que con mayor presencia de  $OH^-$ , la reacción es alcalina, con pH mayor a 7; si la concentración de ambos iones está en proporciones iguales, la reacción es neutra, y el pH es igual a 7 (Liu G y Hanlon E, 2012). La escala del pH va de 0 a 14; no obstante, el rango de pH en los suelos en condiciones naturales no alcanza los valores extremos, sino que varía entre 3.5 a 9.0.

El sistema USDA en el año 2011 propuso la siguiente clasificación para los valores de pH.

Tabla 2.1 Calificación del pH del suelo (USDA)

| Valores   | Clasificación        |
|-----------|----------------------|
| < 4,5     | Extremadamente ácido |
| 4,5 – 5,5 | Fuertemente ácido    |
| 5,6 – 6   | Medianamente ácido   |
| 6,1 – 6,5 | Ligeramente ácido    |
| 6,6 – 7,3 | Neutro               |
| 7,4 – 7,8 | Medianamente básico  |
| 7,9 – 8,4 | Básico               |
| 8,5 – 9   | Ligeramente alcalino |
| 9,1 – 10  | Alcalino             |
| > 10      | Fuertemente alcalino |

**Contenido de macronutrientes:** las plantas necesitan de un conjunto de nutrientes para su desarrollo. Existen elementos que son requeridos en grandes cantidades, llamados macronutrientes; mientras que otros son requeridos en menor cantidad, llamados micronutrientes.

- **Nitrógeno (N):** promueve el desarrollo de las hojas y el crecimiento de brotes. Se presenta en el protoplasma celular y constituye las proteínas, clorofila, nucleótidos, alcaloides, enzimas, hormonas y vitaminas. Asimismo, el nitrógeno es alimento de los microorganismos del suelo, lo que favorece a la descomposición de la materia orgánica por un proceso de desnitrificación. El N puede ser asimilado por las plantas solo en su forma aniónica de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y catiónica de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (FAO, 2012).

Tabla 2.2 Interpretación de análisis de nitrógeno total (%), fuente: FAO (2012)

| Nitrógeno % | Clasificación |
|-------------|---------------|
| 0 - 0.10    | Muy pobre     |
| 0.10 – 0.15 | Pobre         |
| 0.15 – 0.25 | Medio         |
| 0.25 – 0.30 | Rico          |
| < 0.30      | Muy rico      |

- **Fósforo (P):** contribuye a la formación de las raíces, frutos y semillas, y a la floración. Es constituyente de la célula viva, nucleótidos, lecitinas y

enzimas. Este elemento participa en las transferencias de energía. Las formas disponibles para las plantas representan solo una pequeña fracción del total contenido en la solución del suelo.

- **Potasio (K):** favorece la resistencia de la planta frente a las enfermedades y eventos climáticos extremos, como son las sequías. Participa en la fotosíntesis, en la síntesis de las proteínas y en la activación de las enzimas; incluso, mejora la calidad del fruto. El contenido total en el suelo tiende a exceder los 20 000 ppm, pero gran parte se encuentra como componente estructural de los suelos minerales, no siendo asimilables por las plantas.

Tabla 2.3 Interpretación de análisis de fósforo y potasio (%), fuente FAO (2012)

| Clasificación | Fósforo %   | Potasio %   |
|---------------|-------------|-------------|
| Bajo          | 0 – 0.12    | 0 – 0.12    |
| Medio         | 0.12 – 0.30 | 0.12 – 0.30 |
| Alto          | < 0.30      | < 0.30      |

- **Calcio (Ca):** el calcio es absorbido por las plantas en forma del catión Ca (II), estimula el desarrollo de las raíces y de las hojas. Forma compuestos de las paredes celulares. Ayuda a reducir el nitrato en las plantas, activar varios sistemas de enzimas y neutralizar los ácidos orgánicos en la planta. Influye indirectamente en el rendimiento al reducir la acidez del suelo y la solubilidad y toxicidad de manganeso, cobre y aluminio. Además, es requerido en grandes cantidades por las bacterias fijadoras de nitrógeno.
- **Magnesio (Mg):** proviene de minerales como biotita, hornablenda, dolomita y clorita. Está sujeto a intercambio catiónico. Se encuentra en la solución del suelo y se absorbe en las superficies de las arcillas y la materia orgánica. Los suelos generalmente contienen menos magnesio que calcio debido a que el magnesio no es absorbido tan fuertemente por los coloides del suelo y puede perderse más fácil por lixiviación.

Tabla 2.4 Interpretación de análisis de calcio y magnesio (%), fuente FAO (2012)

| Clasificación | Calcio %   | Magnesio % |
|---------------|------------|------------|
| Bajo          | 0 – 2.51   | 0 – 0.4    |
| Medio         | 2.51 – 6.0 | 0.4 – 0.8  |
| Alto          | < 6.0      | < 0.8      |

**Contenido de micronutrientes:** son los elementos requeridos en pequeñas cantidades por las plantas o animales, necesarios para que los organismos completen su ciclo vital.

- **Hierro (Fe):** se encuentra en la naturaleza tanto en forma de Fe (III) como de Fe (II), dependiendo del estado de reducción del sistema. En cantidad suficiente formando distintos compuestos. Su carencia se manifiesta primero en las hojas jóvenes, pero también pueden aparecer en las más viejas. Las hojas quedan amarillas con los nervios verdes, después todas amarillas, se abarquillan y caen.
- **Cobre (Cu):** los sulfuros son la principal fuente de suministro de cobre a los suelos, siendo los más comunes el sulfuro cuproso (SCu<sub>2</sub>), el sulfuro férrico-cuproso (S<sub>2</sub>FeCu) y el sulfuro cúprico (SCu). Su deficiencia en hojas jóvenes se ven manchas cloróticas (amarillas).
- **Molibdeno (Mo):** su mayor o menor disponibilidad está determinada en forma directa por el pH del suelo y los contenidos en óxidos de hierro y aluminio. Altas cantidades de fertilizantes fosfatados en suelos ácidos favorece la absorción de Mo por la planta.
- **Manganeso (Mn):** existe en el suelo proviene de óxidos, carbonatos, silicatos y sulfatos. Debido a sus diferentes grados de oxidación (II, III y IV) y a la propiedad de pasar con facilidad de unas formas a otras, el comportamiento del Mn en el suelo es complejo. Su deficiencia ofrece síntomas parecidos a los del hierro: hojas amarillas entre los nervios que permanecen verdes. Se puede diferenciar porque en este caso aparece una aureola verde alrededor de los nervios. Las

causas de la carencia son por suelos calcáreos y por suelos arenosos muy lavados.

- **Zinc (Zn):** procede de diferentes minerales, principalmente silicatos, sulfuros, óxidos y carbonatos. En la disolución del suelo se encuentra fundamentalmente como  $Zn^{2+}$ , sin que tenga propiedades reductoras. Puede alcanzar valores importantes debido a que es capaz de sustituir a algunos elementos de la estructura de la arcilla (Al, Mn, Fe).

Tabla 2.5 Contenido medio de micronutrientes en suelo, fuente: FAO (2012)

| Elementos | Valores (%) |
|-----------|-------------|
| Hierro    | 3.80        |
| Manganeso | 0.06        |
| Zinc      | 0.005       |
| Cobre     | 0.003       |
| Molibdeno | 0.002       |

## 2.5 Determinación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas del Sector La Granja con fin agropecuario

Para determinar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas del sector La Granja, se analizaron los resultados físicos, químicos y microbiológicos obtenidos en el laboratorio y se compararon con las Normas Cubanas vigentes en la actualidad que permite la caracterización de las aguas potables, NC 827:2010 Agua potable –requisitos sanitarios y para algunos elementos determinados que no aparecían en esta norma se utilizó la NC 93-02 de 1985 Agua potable –requisitos sanitarios y muestreo.

Además, en la Guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para tener referencia de los valores admisibles a nivel mundial en la determinación de la calidad de las aguas y para la determinación de las aguas por su pH se basa en la clasificación de E. B. Pasovox, tomado de (de Miguel C, 2012).

Tabla 2.6 Clasificación de las aguas por su pH

| Valores   | Clasificación      |
|-----------|--------------------|
| < 3       | Muy ácida          |
| 3 – 5     | Ácidas             |
| 5 – 6,5   | Débilmente ácidas  |
| 6,5 – 7,5 | Neutras            |
| 7,5 – 8,5 | Débilmente básicas |
| 8,5 – 9,5 | Básicas            |
| > 9,5     | Muy básicas        |

### Clasificación de las aguas para su posible utilización en el riego

Las aguas naturales tanto superficiales como subterráneas tienen amplia utilización en la agricultura en procesos de riego de distintos cultivos y en el lavado de suelos salinos. Cada tipo de cultivo en correspondencia con el tipo de suelo, tiene sus exigencias de características químicas de las aguas que pueden ser utilizadas.

### Contenido de carbonato de sodio residual (CSR), según Eaton, tomado (de Miguel C, 2012)

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \text{ en mg.eq. /l}$$

En correspondencia con el valor de carbonato de sodio residual obtenido las aguas se clasifican en:

- CSR < 1,25 Aguas buenas para el riego.
- CSR 1,25 – 2,5 Aguas dudosas para el riego (debe controlarse la salinidad del suelo durante la utilización de estas aguas)
- CSR > 2,5 Las aguas no son aptas para el riego.

### Porcentaje de sodio soluble (PSS), según Wilcox, tomado (de Miguel C, 2012)

El porcentaje de sodio soluble se determina por la fórmula:

$$\text{PSS} = \frac{(\text{Na}^+ + \text{K}^+)100}{\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{Na}^+ + \text{K}^+} \text{ en mg.eq/l.}$$

Según los valores del PSS, las aguas se clasifican en:

- PSS < 20 Aguas excelentes para el riego.
- PSS: 20 – 40 Aguas buenas para el riego.
- PSS: 40 – 60 Aguas admisibles para el riego.
- PSS: 60 – 80 Aguas dudosas para el riego.
- PSS > 80 Aguas no aptas para el riego.

**Rango de absorción del sodio por el suelo (RAS), según laboratorio del Departamento de Control de Salinidad de los E.U.A, tomado (de Miguel C, 2012)**

$$\text{RAS} = \frac{(Na^+)}{\sqrt{\frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{2}}} \text{ en mg.eq/l.}$$

El tipo de agua se determina en correspondencia con la siguiente clasificación:

- RAS < 10 Aguas excelente para el riego.
- RAS: 10 – 18 Aguas buenas para el riego.
- RAS: 18 – 26 Aguas regulares para el riego.
- RAS > 26 Aguas no aptas para el riego.

**Índice de Salinidad Marina (de Miguel C, 2012)**

En estado natural y sin salinización marina, en la composición química de las aguas subterráneas existe el predominio de los iones bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ) y calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) sobre los iones cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) y ( $\text{Na}^+$ ), en sedimentos acuíferos y rocas carbonatadas (de origen marino).

El bicarbonato y el calcio deben su origen en las aguas subterráneas principalmente por la disolución de calizas, dolomitas etc. o del cemento calcáreo de las rocas que forman el acuífero y de las aguas que alimentan al acuífero (aguas fluviales, atmosféricas o de otros acuíferos). De tal forma, el predominio de los iones cloruro y sodio sobre los iones bicarbonato y calcio en

estos tipos de sedimentos es indicio de una posible salinización de origen marino.

$$\text{ISM} = \frac{\% \text{ Cl} + \% \text{ Na}}{\% \text{ HCO}_3 + \% \text{ Ca}} \text{ en } \% \text{ eq.}$$

Tabla 2.7 Clasificación de las aguas por el Índice de Salinidad Marina (ISM)

| Valor ISM | Mineralización-gr./l. | Clasificación por ISM                  |
|-----------|-----------------------|--|
| <1        | Predomina < 0,8       | Aguas o acuífero no salinizado         |
| 1 – 1,9   | 0,9 – 1,6             | Aguas o acuífero débilmente salinizado |
| 2 – 6,9   | 1,7 – 5,8             | Aguas o acuífero salinizado            |
| 1 - 21    | 5,9 – 17,7            | Aguas o acuífero muy salinizado        |
| >21       | >17,8                 | Aguas o acuífero hipersalinizado       |

Tabla 2.8 Clasificación de las aguas para su aplicación en riego por correlación ISM con el RAS del Departamento de Control de Salinidad de USA

| Valor ISM  | Tipo de agua            |
|------------|-------------------------|
| <4,1       | Aguas buenas            |
| 4,1 – 7,9  | Aguas satisfactorias    |
| 8,0 – 12,0 | Aguas no satisfactorias |
| >12,0      | Aguas malas             |

**Clasificación por la concentración de sales solubles totales (C), según Laboratorio de salinidad USA, tomado (de Miguel C, 2012)**

La concentración de sales solubles totales se expresa como conductividad eléctrica (Ec) del agua en micromhos por centímetro (UV / cm) a 25 °C de temperatura del agua, con lo que se establecen cuatro grupos de agua.

La clasificación de las aguas se realiza en 4 grupos:

- C 1- Aguas de baja salinidad: Ec entre 100 y 250 micromhos / cm.
- C 2- Aguas de salinidad media: Ec entre 250 y 750 micromhos / cm.
- C 3- Aguas altamente salinas: Ec entre 750 y 2 250 micromhos / cm.
- C 4- Aguas extremadamente salinas: Ec superiores a 2 250 micromhos / cm.

## **2.6 Conclusiones**

En este capítulo se describe la metodología que se llevó a cabo en el desarrollo de la investigación, consistente en cuatro etapas fundamentales; etapa preliminar: donde se realizó la revisión de la información existente con el fin de obtener todos los conceptos e información necesaria para la realización del marco teórico y conocimientos para comparar resultados; etapa trabajo de campo: aquí se realizó toda la descripción geológica del área de pastoreo, su influencia en las producciones ganaderas y la toma de muestras; etapa análisis de laboratorio: se realizan todos los análisis necesarios tanto de suelo como de agua, y la última etapa procesamiento de la información, donde se comparan todos los resultados obtenidos con las normas y parámetros a utilizar en la investigación.

## **CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN DE LOS GEOINDICADORES SUELO Y AGUA EN EL SECTOR LA GRANJA**

### **Introducción**

**Descripción de las características geológicas y geodinámicas**

**Evaluación de la calidad de los suelos del sector la Granja**

**Evaluación de las aguas superficiales y subterráneas**

**Propuesta de plan de acción**

**Conclusiones**

### **3.1 Introducción**

La producción agropecuaria, es un proceso que requiere de años de trabajo e inversión de capital, basados en el mejoramiento y buen manejo de las praderas, la fertilidad del suelo, alimentación del ganado, calidad del agua, capacitación del personal, conocimiento de las técnicas modernas de producción y la correcta toma de decisiones, sustentadas en registros de producción e información de mercado. Todo esto, determina que los sistemas de producción, no tengan un patrón único y definido de cómo producir más, sino que se deben considerar una combinación de factores que están disponibles en el medio interno y externo de la unidad productiva.

Razones por las cuales el presente capítulo muestra la descripción de los procesos geodinámicos externos, el análisis de la calidad de los suelos y agua y de los factores que intervienen en los recursos de producción que contribuyen a la baja productividad en el sector La Granja a través de la integración del reconocimiento de campo, interpretación de fotos y análisis físicos - químicos de los suelos y aguas del sector.

### **3.2 Descripción de los procesos geodinámicos de superficie en el área de pastoreo**

Los trabajos de campo desarrollados en el área permitieron determinar las características geológicas, entre las cuales se destacan el predominio del suelo cubriendo toda la superficie y solo en dos puntos, 3 y 11, pudieron observarse la roca madre con un alto grado de meteorización y fragmentación.

En el área de pastoreo se evidenció la ocurrencia de procesos geodinámicos de superficie como la meteorización, la erosión y la acumulación, esta última referida a los pies de laderas.

La meteorización, fenómeno físico - geológico más importante en el área de estudio, que en el entorno es responsable de la formación de potentes cortezas lateríticas sobre rocas básicas y ultrabásicas, se pone de manifiesto a través de un suelo de color rojo-anaranjado, sobre el cual se ha desarrollado una incipiente capa de humus.

En toda el área hay un predominio de los procesos de erosión superficial, puesta de manifiesto fundamentalmente en la erosión por cárcavas, condicionada por tres factores fundamentales:

- La acción de las precipitaciones.
- La inclinación del terreno que influye en la pérdida de una parte del perfil de suelo.
- La respuesta erosiva de los suelos en función del mal manejo y uso.

Este proceso se hace más intenso por la propia actividad de pastoreo que sobre el área se realiza, que elimina la cobertura vegetal, acompañado de las malas prácticas agrotécnicas, al no aplicarse planes de mejoramiento y rehabilitación de los sectores afectados.

A pesar del predominio de los procesos de erosión, en algunos puntos (puntos 5 y 6) pudo observarse durante el trabajo de campo, la acumulación de sedimentos, materiales alterados y transportados previamente y que han quedado temporalmente al pie de las pequeñas laderas. En estos pequeños sectores no existe desarrollo de vegetación.

### **3.3 Evaluación de la calidad de los suelos del Sector La Granja**

En el área de pastoreo, donde no se realizaron análisis de laboratorio, los trabajos de campo evidenciaron el predominio de zonas con poca vegetación de especies herbáceas en relación las especies arbustivas y arbóreas, una

vegetación secundaria como consecuencia de la acción antrópica sobre el medio provoca la disminución de la vegetación típica de charrascales por vegetación de sabanas, lo cual influye en la disminución de la biodiversidad en el área y de las producciones de leche.

Los suelos del área son de color rojo púrpura, representado por suelos ferralíticos desarrollados sobre rocas ultrabásicas serpentinizadas. Estos tipos de suelos son de baja fertilidad, buen drenaje interno, muy friable, pH fuertemente ácido 5.2 en los cuales la acidez disminuye con la profundidad

En estos suelos de la región de estudio la fuente de acidez viene del  $H^+$  y  $Al^{3+}$  en la solución del suelo. Este pH ácido es originado por las precipitaciones, la actividad reticular de las plantas y la meteorización de los minerales primarios y secundarios que están presentes en el sector que constituyen una corteza de meteorización.

Moa es una región con un alto por ciento de precipitaciones y es una causa de esta acidificación pues donde hay mayores precipitaciones, el exceso de lluvia lixivia base de catión del suelo e incrementa  $H^+$  y  $Al^{3+}$ , además de que el pH del agua de lluvia es ligeramente ácido debido a su reacción en la atmósfera con el  $CO_2$  que forma ácido carbónico.

Las actividades de las raíces de las plantas absorben los nutrientes en forma de iones y ocupan más cationes que aniones, sin embargo para mantener una carga neutra en sus raíces, disponen de iones de  $H^+$  procedentes de la raíz, y para ello exudan ácidos orgánicos con el objetivo de acidificar el suelo alrededor de sus raíces para solubilizar elementos metálicos como el hierro que son insolubles a pH neutro.

En el perfil del suelo existe un horizonte subsuperficial férrico de hasta 10 cm de espesor en los sitios donde descansan directamente sobre la roca madre, con presencia de nódulos ferruginosos que representan hasta el 20 % del volumen del suelo, se encuentran minerales como la hematita, goethita, gibbsita y minerales arcillosos, el grado de saturación es mayor de 50 %, estas características físico químicas le infieren una muy baja fertilidad natural lo que provoca un escaso desarrollo de pastos para el ganado.

La descripción de los puntos visitados se puede ver en el anexo 2.

En el área que ocupan las parcelas, debido a los objetivos de lograr un mayor rendimiento agrícola de los suelos, se realizaron los ensayos para determinar sus propiedades químicas y determinar su fertilidad.

La calidad del suelo es definida, simplemente, como la “capacidad de funcionar de un específico tipo de suelo”. En general es evaluada midiendo un grupo mínimo de propiedades para estimar la capacidad del suelo de realizar funciones básicas como son mantener la productividad, regular y separar agua y flujo de solutos, filtrar los contaminantes, y almacenar y reciclar nutrientes.

En este estudio la calidad de los suelos se evalúa a partir de la comparación de los resultados obtenidos en el laboratorio del Centro de Investigaciones del Níquel, capitán Alberto Fernández Montes de Oca (CEDINIQ) con los índices del sistema USDA en el 2011 y parámetros referenciales aportados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en el año 2012.

Las plantas necesitan al menos catorce elementos químicos para germinar, crecer, realizar la fotosíntesis y reproducirse. Todos y cada uno de los elementos nutritivos juegan un papel específico en la nutrición vegetal.

### **Potencial de hidrógeno (pH)**

Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y en otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo (Liu G y Hanlon E, 2012).

Tabla 3.1. Resultados del análisis de pH y su clasificación, según USDA

| <b>Muestras</b> | <b>pH %</b> | <b>Clasificación</b> |
|-----------------|-------------|----------------------|
| S-1             | 6.9         | Neutro               |
| S-2             | 7.6         | Medianamente básico  |
| S-3             | 4.7         | Fuertemente ácido    |
| S-4             | 4.5         | Fuertemente ácido    |

En general, las muestras se concentran en torno a un pH de 4,5 a 7,6. El valor mínimo de pH es 4,5, que corresponde al punto S-4, y el valor máximo es de 7,6 para el punto S-2.

Según el sistema USDA, los valores van de pH neutro (S-1) a medianamente básico (S-2); estando ambos dentro de los ideales para suelos agrícolas, es una condición adecuada para la asimilación de los nutrientes al estar disponibles muchos de los esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, donde los microorganismos proliferan con mayor facilidad.

Los valores para las muestras 3 y 4 son mucho más bajos, se clasifican como fuertemente ácidos, es pobre en bases (calcio, magnesio, potasio), la actividad de los microorganismos se reduce y el fósforo disponible disminuye, al precipitarse con el hierro y el aluminio.

El pH del suelo es una característica primordial en las propiedades químicas, al gobernar muchos de los procesos químicos (Liu G y Hanlon E, 2012). Específicamente, el pH controla la disponibilidad de los nutrientes; e, indirectamente, tiene influencia sobre los procesos biológicos y la actividad microbiana.

La mayoría de los cultivos se desarrollan adecuadamente en un suelo con pH entre 5,5 y 7,0, al estar disponibles muchos de los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Liu G y Hanlon E, 2012).

En suelos ácidos, se encuentran  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ , y  $Mn^{4+}$ , está relacionada con las condiciones de pluviometría.

### **Contenido de macronutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio**

Los tres elementos mencionados anteriormente constituyen la composición del abono natural; de haber déficit en alguno de ellos o en porcentajes bajos, el suelo ya no puede ser considerado desde el punto de vista químico como infértil.

El mayor reservorio de nitrógeno en el suelo se encuentra en los microorganismos que lo habitan: bacterias, hongos y nemátodos. Su déficit afecta de manera notable el desarrollo de las plantas, se manifiesta en las

hojas viejas, que se vuelven cloróticas desde la punta hasta su totalidad a través del nervio central (Liu G y Hanlon E, 2012).

Los porcentajes de **nitrógeno** (Tabla 3.2) varían desde 0.04 a 0.06 %, el suelo se clasifica como muy pobres en el contenido de nitrógeno; según parámetros de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), los suelos cuyos valores oscilen desde 0 hasta 0.1 % se clasifican como muy pobres.

De esta manera, el aporte de nitrógeno conduce a la obtención de forrajes y granos con bajo contenido proteico y baja fertilidad de los suelos. Esto va en detrimento del desarrollo de las plantas que tienen una alta demanda de este elemento químico, pues interviene en la multiplicación celular y se considera factor de crecimiento; por su importancia en la formación de los aminoácidos, proteínas y enzimas.

Como podemos apreciar en la tabla 3.2, el porcentaje de **fósforo** varía desde 0.026 % hasta 0.034 %, los suelos se clasifican como de bajo contenido de fósforos, según los parámetros establecidos por la FAO cuando los valores del suelo oscilan entre 0 y 0.12 % se clasifican como suelos pobres en el contenido de fósforos.

Es el fósforo luego del nitrógeno, es el macronutriente que en mayor medida limita el rendimiento de los cultivos. Además, interviene en numerosos procesos bioquímicos a nivel celular. Contribuye al desarrollo de las raíces y las plántulas y mejora su resistencia a las bajas temperaturas. Incrementa la eficiencia del uso del agua y ayuda a combatir algunas enfermedades. Interviene en el transporte, almacenamiento y transferencia de energía, además es considerado factor de precocidad, ya que activa el desarrollo inicial de los cultivos y favorece la maduración.

La carencia de fósforo se puede observar en el desarrollo débil del vegetal, tanto de su parte aérea como del sistema radicular. Las hojas se hacen más delgadas, erectas, con nerviaciones menos pronunciadas. Además, presentan un color verde pálido, con los bordes secos y un color entre violeta y castaño. Baja floración y poco desarrollo de las raíces.

El porcentaje de **potasio** varía desde 0.034 % hasta 0.086 %, los suelos se clasifican como de bajo contenido de potasio, al establecerse por la FAO que los suelos que tengan su contenido de potasio entre 0 y 0.12 % son suelos de bajo contenido de potasio. (Tabla 3.2)

El potasio es muy móvil y juega un papel múltiple. Mejora la actividad fotosintética; aumenta la resistencia de la planta a la sequía, heladas y enfermedades; promueve la síntesis de lignina, favorece la rigidez y estructura; la formación de glúcidos en las hojas; aumenta el tamaño y peso en los granos de cereales y en los tubérculos. Es de gran importancia en la activación enzimática, fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidrato, en el balance de agua, en el crecimiento meristemático. Además, interviene en la maduración, fructificación y calidad de los frutos.

Se observa un retraso general en el crecimiento y un aumento de la vulnerabilidad de la planta a los posibles ataques de parásitos. Se hace notar en los órganos de reserva: semillas, frutos y tubérculos. Sus primeros síntomas, cuando es leve, se observan en las hojas viejas; pero cuando es aguda, son los brotes jóvenes los más severamente afectados, llegando a secarse. Las hojas jóvenes se ven como rojizas y las adultas se mantienen verdes, pero con los bordes amarillentos y marrones. Se reduce la floración, fructificación y desarrollo de toda la planta.

Tabla 3.2. Resultado de los macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio y su clasificación, según FAO

| Muestras | Nitrógeno % | Clasificación | Fósforo % | Clasificación | Potasio % | Clasificación |
|----------|-------------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|
| S-1      | 0.086       | Muy Pobre     | 0.026     | Bajo          | 0.056     | Bajo          |
| S-2      | 0.05        | Muy Pobre     | 0.034     | Bajo          | 0.034     | Bajo          |
| S-3      | 0.05        | Muy Pobre     | 0.028     | Bajo          | 0.042     | Bajo          |
| S-4      | 0.06        | Muy Pobre     | 0.031     | Bajo          | 0.086     | Bajo          |

## Contenido de calcio y magnesio

Se puede apreciar que el contenido de **calcio** presente en los suelos analizados, oscilan desde 0.043 % hasta 0.089 %, según la FAO todos los suelos cuyos valores de calcio estén por debajo de 2.51 % se clasifican como suelos de bajo contenido de calcio, por lo que todas las muestras en cuestión son clasificadas de bajo contenido de calcio (Tabla 3.3).

El calcio es necesario en la división y crecimiento de la célula. Es el elemento estructural de paredes y membranas celulares, y básico para la absorción de elementos nutritivos. Participa junto con el magnesio en la activación de las enzimas del metabolismo de glúcidos y proteínas. Además, estimula el desarrollo de las raíces y de las hojas, forma compuestos de las paredes celulares, ayuda a reducir el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), activa varios sistemas de enzimas y neutraliza los ácidos orgánicos en la planta. También influye indirectamente en el rendimiento al reducir la acidez del suelo. Esto reduce la solubilidad y toxicidad del manganeso, cobre y aluminio. Es requerido en grandes cantidades por las bacterias fijadoras de nitrógeno.

Su déficit se observa en las diferentes plantaciones al no poseer un buen crecimiento de la raíz y del tallo. Impidiendo la obtención fácil de los nutrientes.

El porcentaje de **magnesio** varía para la muestra 1 y 2 desde 1.43 % hasta 1.90 % respectivamente, según los valores de la FAO se clasifican como suelos de alto contenido de magnesio, al obtener valores por encima de 0.8 %, ayudando esto en la formación de aceites y grasas (Tabla 3.3)

Sin embargo, para las muestras 3 y 4 la clasificación es de bajo contenido de magnesio, los valores obtenidos oscilan desde 0.145 % hasta 0.192 %, donde según la FAO los suelos que tengan valores de magnesio por debajo de 0.4 % se clasifican como suelos de bajo contenido de magnesio.

El magnesio forma parte de la molécula de clorofila, por tanto es esencial para la fotosíntesis y para la formación de otros pigmentos. Activa numerosas enzimas del metabolismo de las proteínas y glúcidos. Favorece el transporte y acumulación de azúcares en los órganos de reserva y el del fósforo hacia el

grano. Al igual que el calcio, es constituyente de las paredes celulares. Influye en los procesos de oxidación-reducción.

Su déficit se observa en las hojas viejas donde aparecen espacios entre las nervaduras de color amarillo, posteriormente afecta a las hojas jóvenes. La planta termina perdiendo las hojas. En ocasiones la coloración de las hojas se torna rojizas y con manchas amarillas.

Tabla 3.3 Resultado de los macronutrientes: calcio, magnesio y su clasificación, según FAO

| Muestras | Calcio % | Clasificación | Magnesio % | Clasificación |
|----------|----------|---------------|------------|---------------|
| S-1      | 0.044    | Bajo          | 1.43       | Alto          |
| S-2      | 0.043    | Bajo          | 1.90       | Alto          |
| S-3      | 0.089    | Bajo          | 0.192      | Bajo          |
| S-4      | 0.075    | Bajo          | 0.145      | Bajo          |

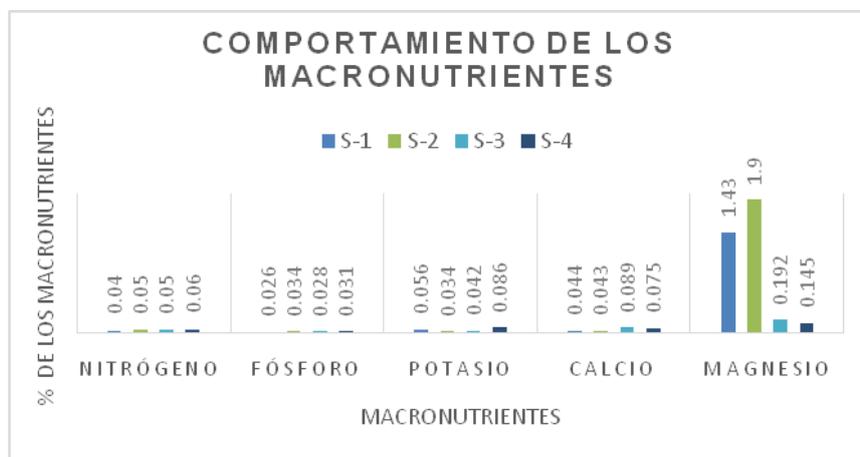


Figura 3.1. Comportamiento de los macronutrientes.

### Contenido de micronutrientes: cobre, manganeso, zinc, hierro y molibdeno

Los micronutrientes (Tabla 3.4) son los elementos requeridos en pequeñas cantidades por las plantas o animales, necesarios para que los organismos completen su ciclo vital, catalizadores de numerosas reacciones del metabolismo vegetal, pero en exceso pueden ser tóxicos para las plantas.

**El cobre** participa en la fotosíntesis y en el metabolismo de las proteínas, al analizar sus valores, estos oscilan entre 0.002 % en las muestras (S-3 y S-4) hasta 0.006 % la muestra (S-1). Están dentro de los valores admisibles dados por la FAO en el año 2012, en la muestra S-2 el porcentaje está ligeramente por encima de lo permisible, este valor no es significativo y no ocasiona daños a las plantaciones.

**El manganeso** participa junto al hierro en la formación de clorofila y en el metabolismo de los hidratos de carbono. Sus valores oscilan entre 0.121 % hasta 0.471%, algo por encima de los valores establecidos por la FAO.

**El zinc** es fundamental en la formación de auxinas, las hormonas del crecimiento, también interviene en la síntesis de ácidos nucleicos, proteínas y vitamina C y tiene un efecto positivo en el cuajado y maduración de las plantas. Sus valores oscilan desde 0.004 % en la muestra 3 hasta 0.01 % en la muestra 2, permanecen dentro de los rangos aceptables que propone la FAO excepto la muestra 2 que está algo por encima, no representa esto ningún daño para las plantaciones.

**El hierro** interviene en la síntesis de la clorofila; en la captación y transferencia de energía durante la fotosíntesis, en la respiración, además actúa en reacciones de óxido-reducción, como la reacción de reducción de nitratos. Sus valores oscilan entre 8,15 % (muestra 2) hasta 17,63 % (muestra 3), están por encima de los valores referenciales según FAO.

**El molibdeno** interviene en la fijación del nitrógeno del aire en las leguminosas, al igual que en la transformación de nitratos en el interior de la planta. Tiene un rango de variación de 0.001 % para las muestras S-1 y S-3, hasta 0.002 % para las muestras S-2 y S-4, para todas las muestras analizadas sus valores permanecen dentro de los rangos normales establecidos por la FAO.

Tabla 3.4 Resultados de los micronutrientes estudiados y sus valores referenciales, según FAO

| Muestras                     | Cobre<br>% | Manganeso<br>% | Zinc<br>% | Hierro<br>% | Molibdeno<br>% |
|------------------------------|------------|----------------|-----------|-------------|----------------|
| S-1                          | 0.006      | 0.215          | 0.006     | 8.54        | 0.001          |
| S-2                          | 0.024      | 0.471          | 0.01      | 8.15        | 0.002          |
| S-3                          | 0.002      | 0.121          | 0.004     | 17.63       | 0.001          |
| S-4                          | 0.002      | 0.153          | 0.005     | 15.44       | 0.002          |
| Valores<br>admisibles<br>(%) | 0.003      | 0.06           | 0.005     | 3.80        | 0.002          |

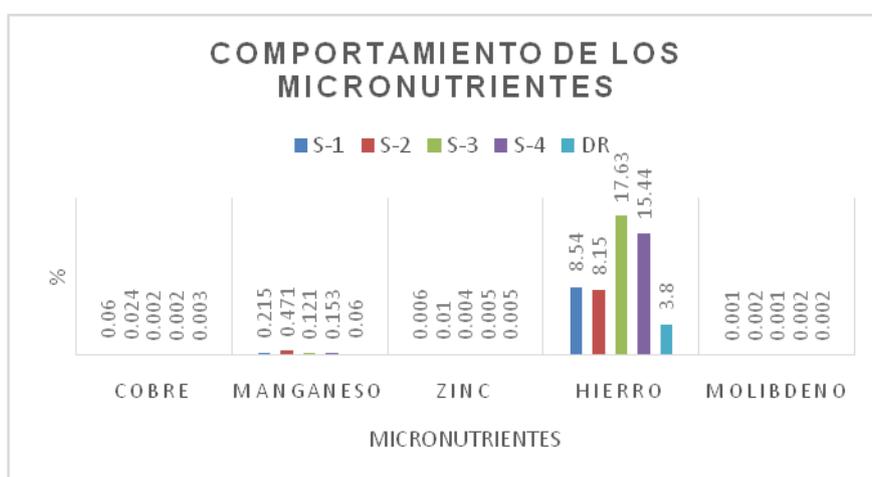


Figura 3. 2. Comportamiento de los micronutrientes.

### 3.4 Evaluación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas del Sector La Granja con fines agropecuarios

Los resultados de los análisis físicos y químicos de las aguas superficiales y subterráneas fueron comparados con la norma cubana NC 827:2010 Agua potable–requisitos sanitarios y la NC 93-02 de 1985 Agua potable –requisitos sanitarios y muestreo, así como las Guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

### 3.4.1 Características físicas: Potencial de hidrógeno, Conductividad, color, turbidez y STD

El análisis de los valores del potencial de hidrógeno (tabla 3.5) representa su acidez o su alcalinidad, cuyo factor más importante es habitualmente la concentración de ácidos o bases debido a la mineralización total, en las muestras de aguas superficiales, se observa que los valores oscilan entre 7.67 y 8.13, los cuales se encuentran dentro de los rangos admisibles (NC 827: 2010), clasificadas como aguas débilmente básicas según Pasovox E (1975), al estar sus valores en el rango de 7,5 y 8,5.

Tabla 3.5 Resultados del análisis de pH en las aguas superficiales y su clasificación

| <b>Año</b>          | <b>Muestras</b> | <b>pH</b> | <b>Clasificación</b> |
|---------------------|-----------------|-----------|----------------------|
| <b>2013</b><br>PPLL | M-1             | 8.13      | Débilmente básicas   |
|                     | M-2             | 7.58      | Débilmente básicas   |
| <b>2014</b><br>PLL  | M-1             | 8.0       | Débilmente básicas   |
|                     | M-2             | 7.6       | Débilmente básicas   |
| <b>2014</b><br>PPLL | M-1             | 7.9       | Débilmente básicas   |
|                     | M-2             | 8.12      | Débilmente básicas   |
| <b>2015</b><br>PLL  | M-1             | 7.92      | Débilmente básicas   |
|                     | M-2             | 7.67      | Débilmente básicas   |
| <b>NC 827: 2010</b> |                 | 6.5-8.5   |                      |
| <b>OMS</b>          |                 | 6.5-8.5   |                      |

Respecto a las aguas subterráneas los valores de pH (Tabla 3.6) oscilan en un intervalo de 7.0 - 8.12, están dentro de los valores permisibles según la NC 827:2010, y se clasifican según Pasovox E (1975) como aguas neutras las muestreadas en el período poco lluvioso del 2013 y 2014 y como débilmente básicas las muestreadas en el período lluvioso de los años 2014 y 2015.

Se considera que las acciones de PML implementadas por las diferentes empresas del Níquel han logrado disminuir la contaminación atmosférica y su composición al conseguir lluvias no tan ácidas. Además pueden estar influenciadas por el escurrimiento superficial y subterráneo el cual arrastra e

infiltra compuestos que alteran la composición química y física de las aguas subterráneas.

Tabla 3.6 Resultados del análisis de pH en las aguas subterráneas

| Año          | pH      | Clasificación      |
|--------------|---------|--------------------|
| 2013<br>PPLL | 7.0     | Neutras            |
| 2014<br>PLL  | 7.9     | Débilmente básicas |
| 2014<br>PPLL | 7.2     | Neutras            |
| 2015<br>PLL  | 8.12    | Débilmente básicas |
| NC 827: 2010 | 6,5-8,5 |                    |
| OMS          | 6,5-8,5 |                    |

La evaluación de las características físicas de las aguas superficiales (Tabla 3.7) y subterráneas (Tabla 3.8) arrojan que:

**La conductividad eléctrica** presenta valores elevados para todas las muestras analizadas, lo que significa que se encuentran alterados debido a los sólidos en suspensión y la presencia de metales pesados procedentes principalmente de los residuales vertidos tanto de la actividad minera como de la actividad agropecuaria que tienen lugar en la zona.

Los valores de las aguas superficiales para el período poco lluvioso varían desde 241 hasta 665 us/cm y para el período lluvioso desde 225 hasta 451 us/cm. Las aguas subterráneas para el período lluvioso presentan valores desde 129 hasta 280 us/cm y en el período poco lluvioso desde 230 hasta 243 us/cm.

Tabla 3.7. Análisis físico de las aguas superficiales.

| Año            | Resultados de los análisis físicos de las aguas superficiales. |               |                 |             |                |
|----------------|--|---------------|-----------------|-------------|----------------|
|                | Muestras   | Conductividad | Turbidez<br>NTU | STD<br>mg/l | Color<br>Pt/Co |
| 2013<br>PP/LL  | M-1  | 225           | 24              | 500         | 40             |
|                | M-2  | 241           | 16              | 700         | 38             |
| 2014<br>P/LL   | M-1  | 665           | 15              | 1 368       | 40             |
|                | M-2  | 390           | 30              | 1000        | 60             |
| 2014<br>PP/LL  | M-1  | 220           | 12              | 500         | 30             |
|                | M-2  | 290           | 23              | 650         | 49             |
| 2015<br>P/LL   | M-1  | 451           | 32              | 1 226       | 53             |
|                | M-2  | 600           | 25              | 1 300       | 46             |
| NC<br>827:2010 |  | 120-220       | 5.00            | 500-1000    | 15             |
| OMS            |  | 120-220       | 5.00            | 600         | 15             |

Tabla 3.8. Análisis físico de las aguas subterráneas.

| Año           | Resultados de los análisis físicos de las aguas subterráneas |                 |             |                |
|---------------|--|-----------------|-------------|----------------|
|               | Conductividad  | Turbidez<br>NTU | STD<br>mg/l | Color<br>Pt/Co |
| 2013<br>PP/LL | 230.0  | 19.0            | 700         | 27.0           |
| 2014<br>P/LL  | 280.0  | 27.0            | 800         | 30.0           |
| 2014<br>PP/LL | 129.0  | 14.0            | 500         | 29.0           |
| 2015<br>P/LL  | 243.0  | 20.0            | 650         | 38.0           |
| NC 827:2010   | 120-220  | 5.00            | 500-1000    | 15             |
| OMS           |  | 5.00            | 600         | 15             |

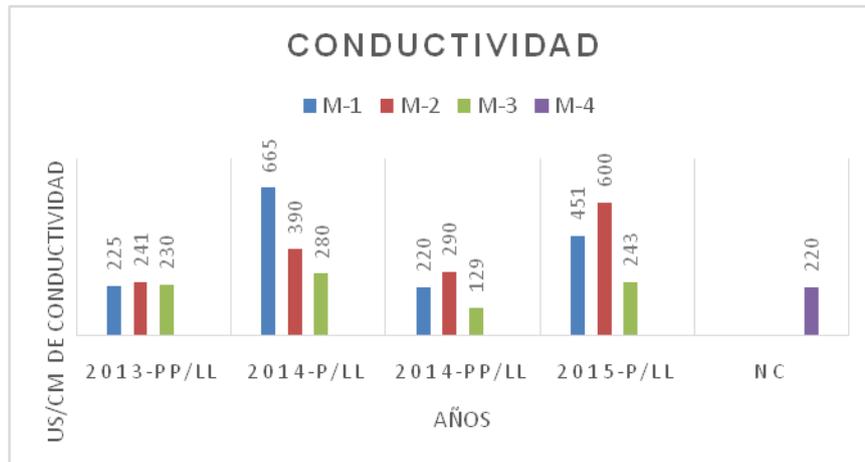


Figura 3.3. Comportamiento de la conductividad eléctrica.

**El color y la turbidez** se encuentran por encima de los valores permisibles en las normas utilizadas, esto se debe a que la zona de estudio está cerca del agua que está bajo la influencia de las labores mineras y de los residuales del proceso de extracción de níquel de la fábrica Pedro Sotto Alba.

El enturbiamiento del agua indica la calidad del agua; una alta turbidez suele asociarse a altos niveles de microorganismos patógenos (virus, parásitos y bacterias) causantes de enfermedades, los valores para las aguas superficiales oscilan desde 12 hasta 32 NTU y para las aguas subterráneas varían desde 14 hasta 27 NTU.

Además esto provoca un incremento de la coloración de las aguas con una variación de los valores desde 30 hasta 60 Pt/Co para las aguas superficiales y de 27 hasta 38 Pt/Co para las subterráneas.

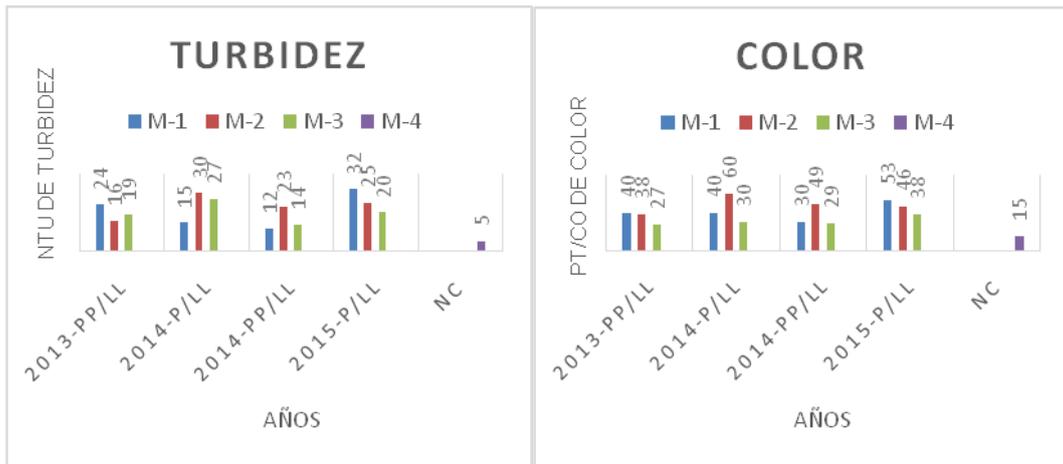


Figura 3.4. Comportamiento de la turbidez y el color.

El **Contenido de sólidos totales disueltos (STD)** presenta valores por encima de los referenciales en las normas analizadas. El agua natural tiene iones en disolución que son proporcionales a la cantidad de sustancias disueltas, conductividad y salinidad. Este incremento puede estar influenciado por la actividad minera que se desarrolla cerca de la zona y también por la actividad agropecuaria. Los valores se encuentran en un intervalo de 500 a 1 368 mg/l, para las aguas superficiales y de 500 hasta 800 mg/l para las subterráneas.

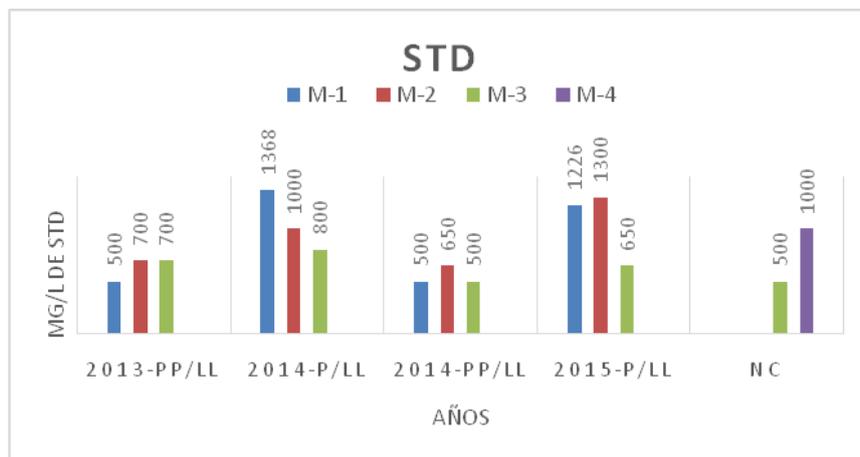


Figura 3.5. Comportamiento de los sólidos totales disueltos.

Tabla 3.9. Análisis químico de las aguas superficiales

| Resultados de los análisis químicos de las aguas superficiales |       |          |         |        |        |        |        |         |       |
|--|-------|----------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|-------|
| Muestras   | Sodio | Aluminio | Cloruro | Calcio | Hierro | Silica | Dureza | Nitrato | Cromo |

| <b>AÑO</b>   |     | mg/l  | mg/l     | mg/l    | mg/l   | mg/l  | mg/l   | <b>total</b><br>mg/l<br>CaCO <sub>3</sub> | mg/l   | <b>total</b><br>mg/l |
|--------------|-----|-------|----------|---------|--------|-------|--------|---|--------|----------------------|
| <b>2013</b>  | M-1 | 26.0  | 0.047    | 26.82   | 18.40  | 0.363 | 22.574 | 240                                       | 0.017  | 0.01                 |
| <b>PP/LL</b> | M-2 | 28.0  | 0.047    | 17.72   | 15.20  | 0.083 | 20.988 | 88  | 0.0089 | 0.03                 |
| <b>2014</b>  | M-1 | 15.0  | 0.055    | 19.0    | 11.0   | 0.21  | 21.7   | 230                                       | 0.042  | 0.032                |
| <b>P/LL</b>  | M-2 | 17.0  | 0.03     | 25.0    | 14.5   | 0.045 | 20.7   | 154                                       | 0.036  | 0.018                |
| <b>2014</b>  | M-1 | 14.0  | 0.08     | 17.9    | 13.09  | 0.12  | 22.31  | 210.0                                     | 0.01   | 0.02                 |
| <b>PP/LL</b> | M-2 | 12.0  | 0.025    | 27.2    | 19.5   | 0.048 | 20.13  | 167.0                                     | 0      | 0                    |
| <b>2015</b>  | M-1 | 28.0  | 0.040    | 27.0    | 15.2   | 0.47  | 20.12  | 228.0                                     | 0.034  | 0.022                |
| <b>P/LL</b>  | M-2 | 30.0  | 0.1      | 25.5    | 17.0   | 0.013 | 21.50  | 172.0                                     | 0.045  | 0.014                |
| <b>NC</b>    |     | 200.0 | 0.05-0.2 | 250.0   | 75-200 | < 0.3 | < 22   | 100-400                                   | 0.2    | 0.05                 |
| <b>OMS</b>   |     | 200.0 | 0.1-0.2  | 200-300 |        | < 0.3 |        | 100-300                                   |        |                      |

Tabla 3.10. Análisis químico de las aguas subterráneas.

| <b>Año</b>                  | <b>Resultados de los análisis químicos de las aguas subterráneas</b> |                         |                        |                       |                       |                       |  |
|-----------------------------|--|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|
|                             | <b>Sodio</b><br>mg/l   | <b>Aluminio</b><br>mg/l | <b>Cloruro</b><br>mg/l | <b>Calcio</b><br>mg/l | <b>Hierro</b><br>mg/l | <b>Silica</b><br>mg/l | <b>Dureza total</b><br>mg/l<br>CaCO <sub>3</sub> |
| <b>2013</b><br><b>PP/LL</b> | 15.0   | 0.026                   | 19.8                   | 14.0                  | 0.02                  | 22.6                  | 220.0  |
| <b>2014</b><br><b>P/LL</b>  | 28.0   | 0.017                   | 24.3                   | 16.0                  | 0.08                  | 25.31                 | 157.0  |
| <b>2014</b><br><b>PP/LL</b> | 15.0   | 0.047                   | 18.6                   | 14.7                  | 0.047                 | 21.13                 | 218.0  |
| <b>2015</b><br><b>P/LL</b>  | 18.0   | 0.02                    | 20.5                   | 12.0                  | 0.013                 | 24.11                 | 162.0  |
| <b>NC</b>                   | 200.0  | 0.05-0.2                | 250.0                  | 75-200                | < 0.3                 | < 22                  | 100-400  |
| <b>OMS</b>                  | 200.0  | 0.1-0.2                 | 200-300                |                       | < 0.3                 |                       | 100-300  |

### 3.4.2 Características químicas de las aguas superficiales y subterráneas

El análisis de las características químicas (Tabla 3.9 y 3.10) refleja que en todas las muestras analizadas los elementos naturales **sodio**, **cloruro** y **calcio**, están por debajo de los valores establecidos en la NC 827:2010 influenciado por el tipo de litología existente en la zona, lo que afecta la calidad de las aguas para el consumo animal, ya que estos elementos son esenciales para el desarrollo del organismo, fundamentalmente en la formación de los huesos, dientes, en la coagulación de la sangre, actividad enzimática, aporte energético, transporte mineral y en otras funciones vitales.

Según Sager R (2000) cuando los animales beben, en períodos largos, aguas con bajo contenido de cloruro, y no se ponen a su alcance suplementos minerales, aparecen síntomas de baja ganancia de peso (poco engorde), pelaje áspero y baja fertilidad.



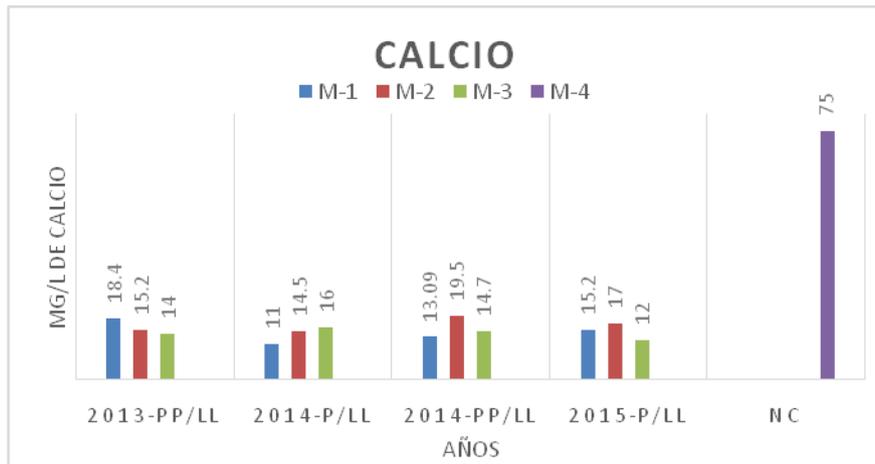


Figura 3.6. Comportamiento del sodio, cloruro y calcio.

En el caso del **hierro**, las aguas subterráneas están en el rango admisible, mientras que las aguas superficiales presentan valores por encima de los establecidos por la NC 827:2010. Influenciado por el tipo de litología presente en la zona.

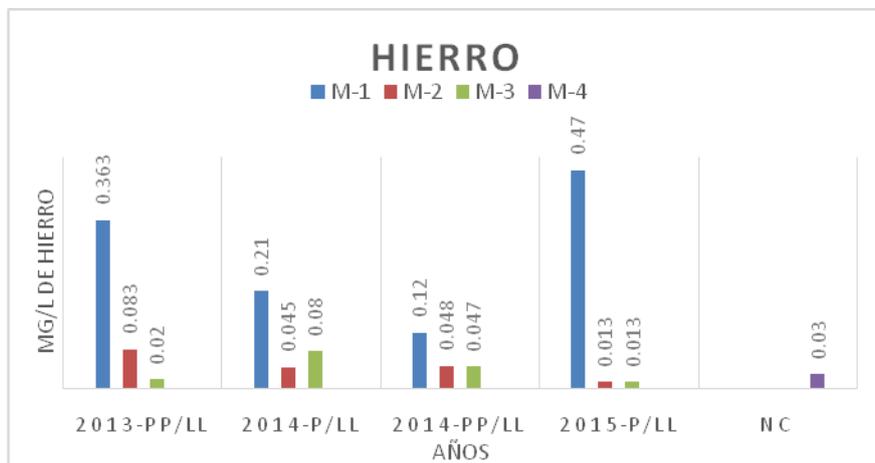


Figura 3.7. Comportamiento del hierro.

Al evaluar los elementos **aluminio y sílica** se observa que los valores obtenidos están dentro de los rangos admisibles en las normas analizadas. Al igual que la dureza total.

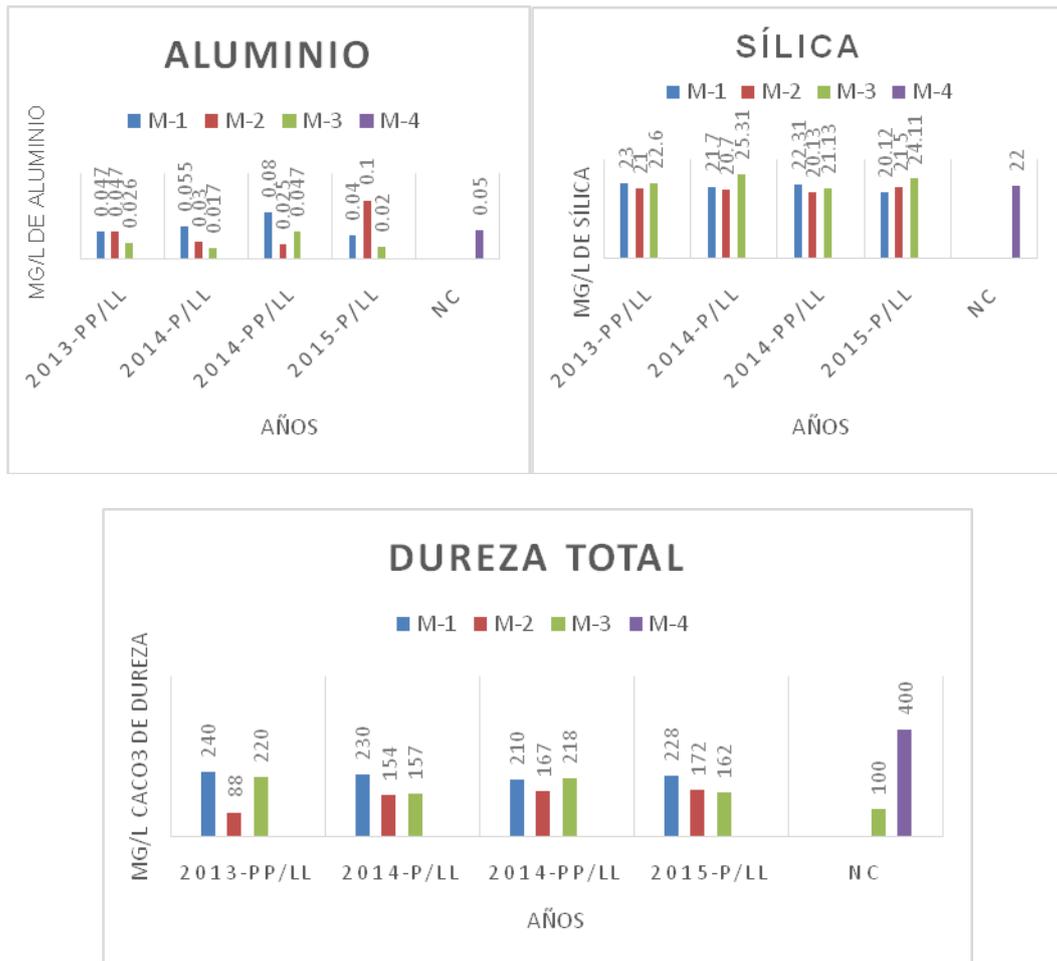


Figura 3.8. Comportamiento del aluminio, sílica y dureza total.

El **nitrito** es un elemento indicador de contaminación, la concentración máxima admisible es 0.2 mg/l según la NC: 827:2010, aunque debe de estar ausente según las normas de la Organización Mundial de la Salud, las concentraciones cercanas a estos límites indican la posibilidad de contaminación orgánica que sería comprobada con el análisis bacteriológico.

Sus valores oscilan para el período poco lluvioso desde 0 hasta 0.017, siendo mayor en el período lluvioso desde 0.034 hasta 0.045, puede estar influenciado con vertimientos de elevadas concentraciones de materia orgánica u arrastres producto de las precipitaciones.

El **romo** total generalmente no aparece en grandes concentraciones en las aguas naturales. Sus valores oscilan desde 0 hasta 0.032 mg/l, estando por debajo de los valores permisibles en las normas analizadas.

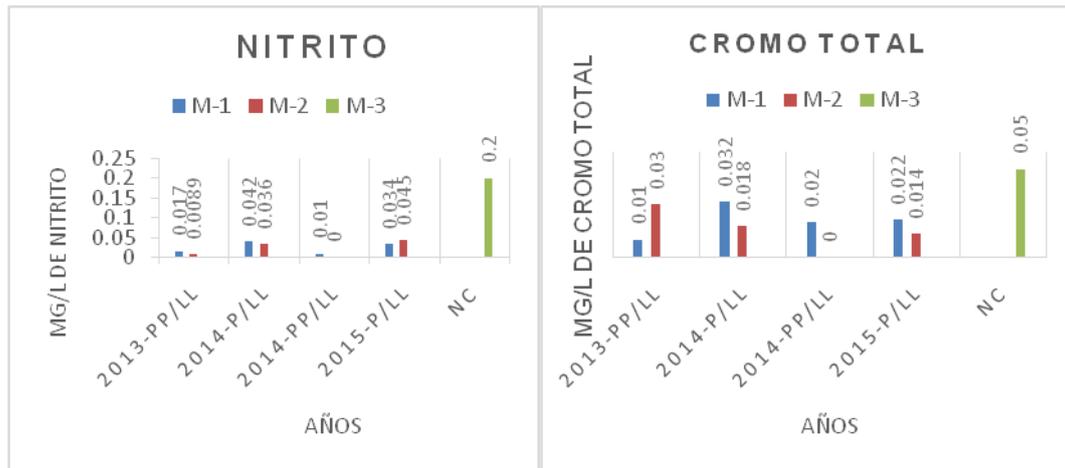


Figura 3.9. Comportamiento del nitrito y cromo total.

### 3.4.3 Análisis microbiológico

A las muestras de aguas superficiales y subterráneas realizadas en el año 2015 se les efectuó análisis microbiológico (muestra de agua del río (M-1), del tanque (M-2) y del pozo (M-3)), se obtiene como resultados la existencia de +16 bacilos coli \* 100 m<sup>3</sup>, que demuestra deterioro de la calidad del agua por la presencia de contaminación con bacilos coli originados por los desechos sólidos y líquidos orgánicos que se depositan en las fuentes superficiales de agua y por la presencia de letrinas cercanas a las tomas de agua subterráneas y a los acuíferos.

Estos resultados demuestran que el consumo por los animales de esta agua contaminada les provoca contagio con la bacteria en cuestión y por ende reducción de su calidad de vida y de sus producciones, además de que al emplearse en el riego afectan el desarrollo de las plantaciones, especialmente los vegetales y hortalizas que al consumirlos no llevan cocción.

### 3.4.4 Clasificación de las aguas para su uso en riego

La calidad del agua para el riego es esencial en la producción de los cultivos y del forraje para los animales. Esta calidad del agua de riego afecta tanto a los rendimientos de los cultivos, la producción lechera como a las condiciones físicas del suelo; por tanto, es muy importante realizar un análisis del agua de riego en diferentes años y períodos: lluvioso y poco lluvioso, y determinar parámetros como:

### **Contenido de Carbonato de Sodio Residual (CSR)**

En agua para riego donde la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  (bicarbonatos) y  $\text{CO}_3^{2-}$  (carbonatos) es mayor que la del calcio y magnesio, existe la tendencia de estos cationes a precipitar en forma de carbonatos, a medida que la solución del suelo se va concentrando, al evaluar los resultados obtenidos con el cálculo del CSR, estas aguas se pueden clasificar en: aguas buenas para riego, aguas dudosas para riego o agua aptas para riego;

#### ***Año 2013***

En los muestreos realizados, las aguas superficiales se clasifican como aguas buenas para el riego, con valores menores que 1,25 mg.eq. /l; en la muestra del río Cabañas (M-1) es de -0.38 mg.eq. /l y en el del tanque (M-2) de -0.38 mg.eq./l. Las aguas subterráneas (M-3) también se clasifican como aguas buenas para el riego con un valor de 1,21 mg.eq. /l.

#### ***Año 2014***

##### ***Periodo lluvioso***

Los muestreos de las aguas superficiales se comportaron de la siguiente manera: la muestra del río Cabaña (M-1) tiene un valor de 2,91 mg.eq./l, por lo que se clasifican como aguas no aptas para el riego, en cuanto a la muestra del tanque la (M-2), su valor es 2,3 mg.eq. /l; se clasifican como aguas dudosas para el riego. En tanto las aguas subterráneas (M-3) tienen un valor de 1,01 mg.eq. /l, lo que las clasifica como aguas buenas para el riego.

##### ***Período poco lluvioso***

Los muestreos de las aguas superficiales reflejan que el muestreo del río Cabañas (M-1) y el agua del tanque la (M-2) con valores de 0.09 mg.eq. /l y 0,55 mg.eq. /l respectivamente, se clasifican como aguas buenas para el riego. Así también las aguas subterráneas (M-3) con un valor de 0,4 mg.eq. /l se clasifican como aguas buenas para el riego.

## **Año 2015**

### **Periodo lluvioso**

Los muestreos de las aguas superficiales se comportaron de la siguiente manera: el río Cabañas (M-1) tiene un valor de 2,39 mg.eq/l, por lo que se clasifica como agua dudosa para el riego, en cuanto a la muestra del tanque (M-2), su valor es 0,9 mg.eq. /l; se clasifica como agua buena para el riego. En tanto las aguas subterráneas (M-3) tienen un valor de 2,87 mg.eq. /l, lo que las clasifica como aguas no aptas para el riego.

### **Por ciento de Sodio Soluble (PSS)**

Al evaluar los resultados obtenidos en el cálculo del Por ciento de Sodio Soluble, las aguas se clasifican en:

## **Año 2013**

Las aguas superficiales se clasifican en: la muestra del río Cabañas (M-1) como agua buena para el riego con valor de 22,20 %, el tanque (M-2) con un valor de 42,48 % como agua admisible para el riego y las aguas subterráneas (M-3) clasifican como aguas buenas para el riego con un valor de 24,7 %.

## **Año 2014**

### **Periodo lluvioso**

Los muestreos de las aguas superficiales se comportaron de la siguiente manera: el agua del río Cabañas (M-1) y del tanque (M-2) con valores de 25,66 % y 22,38 % respectivamente, clasifican como aguas buenas para el riego. De igual manera las aguas subterráneas (M-3) con un valor de 33,33 % también clasifican como aguas buenas para el riego.

### **Período poco lluvioso**

Los muestreos de las aguas superficiales reflejan que el agua del río Cabañas (M-1) con un valor de 27,23 % se clasifica como agua buena para el riego y el tanque (M-2) con valor de 10,04 % es agua excelente para riego. Así también

las aguas subterráneas (M-3) con un valor de 26,8% clasifican como aguas buenas para el riego.

### **Año 2015**

#### **Periodo lluvioso**

Los muestreos de las aguas superficiales se comportaron de la siguiente manera: tanto el agua del río Cabañas (M-1) con un valor de 21,66 % y el tanque (M-2) cuyo valor es 42,17 % clasifican como aguas admisibles para el riego. En tanto las aguas subterráneas (M-3) tienen un valor de 29,7 %, lo que las clasifica como aguas buenas para el riego.

#### **Rango de Absorción del Sodio por el suelo (RAS)**

El valor del RAS obtenido por aplicación de la fórmula se relaciona con la conductividad eléctrica de las aguas. Al analizar los resultados de los muestreos realizados en los años 2013, 2014 y 2015 todos los valores son inferiores a 10, se clasifican según el laboratorio del Departamento de Control de Salinidad de los E.U.A como aguas excelentes para el riego.

#### **Índice de Salinidad Marina (ISM)**

Al calcular el ISM según la fórmula de Miguel C, se obtiene que todos los muestreos realizados en los años 2013, 2014 y 2015 presentan valores por debajo de 1, estas aguas se clasifican como aguas o acuíferos no salinizados y buenos para el riego.

#### **Clasificación por la concentración de sales solubles totales (C)**

La concentración de sales solubles totales se expresa como conductividad eléctrica (Ec) del agua.

En los muestreos realizados las aguas se clasifican como:

C-1 Aguas de baja salinidad, a este grupo pertenecen las aguas cuyos valores de conductividad estén entre 100 – 250: se encuentra la muestra (M-1) y (M-2) del año 2013, la muestra (M-1) del año 2014 período poco lluvioso. También pertenece a esta clasificación las muestras correspondientes a las aguas

subterráneas realizadas en los años 2013, periodo poco lluvioso del 2014 y el muestreo realizado en el 2015.

C-2 Aguas de salinidad media, a este grupo pertenecen las aguas cuyos valores de conductividad estén entre 250 – 750: se sitúan la muestra (M-1) y (M-2) del período lluvioso del 2014, la muestra (M-2) del 2014 período poco lluvioso, además los muestreos (M-1) y (M-2) del año 2015, todas correspondientes a las aguas superficiales. También se encuentran en este grupo las aguas subterráneas muestreadas en el período lluvioso del 2014.

### 3.5 Propuesta de plan de acción

1. **Incorporación de materia orgánica:** bien descompuesta previa a la siembra o con tres meses de anticipación para facilitar su descomposición, los materiales a utilizar pueden ser el estiércol de ganado vacuno o aves de corral.
2. **Fertilización química:** reposición o mantenimiento del nivel de los nutrientes según resultados del análisis químico de suelo. La dosis de nutrientes debe ser parcelada; es decir, aplicada por lo menos en dos oportunidades con el fin de evitar pérdidas de los mismos por inmovilización.
3. **Prever cobertura muerta:** mantener sobre la superficie del suelo restos de hojas, tallos y raíces de plantas, principalmente en los meses lluviosos al presentarse en esta temporada un alto índice de erosividad.
4. **Corrección de la acidez del suelo:** los resultados de los análisis de las muestras de suelos, nos indica que la parcela 2 según su pH se clasifican como suelos fuertemente ácidos, donde la aplicación de cal agrícola ayuda a reducir la acidez de los suelos. Dicha enmienda debe ser aplicada por lo menos 3 meses antes de la siembra.
5. **Rotación de cultivos:** en principio, las rotaciones de cultivos se utilizan para conservar y mantener la fertilidad del suelo, donde se debe comenzar con las leguminosas para aportar nitrógeno a los cultivos siguientes.

6. **Rotación de cuartones:** dividir el área de pastoreo en cuartones y realizar la rotación de los animales por los cuartones para favorecer el crecimiento vegetativo del pasto.
7. **Siembra de viandas:** todas las aguas analizadas dieron contaminación con bacilos coli, se recomienda mientras se desarrolla el saneamiento ambiental de esta área, monitorear con frecuencia las aguas y mientras persista la contaminación sembrar viandas que llevan un tiempo de cocción.
8. **Agua de beber:** se necesita realizar el saneamiento ambiental de las aguas en análisis y desinfectar el tanque de almacenamiento de la unidad y transportar el agua de consumo de los animales desde la planta potabilizadora de Moa.
9. **Suministro de nutrientes:** suministrar con frecuencia comidas con alto contenido nutritivo (pienso) o suplemento vitamínico y de hierro a los animales de la unidad porque no están supliendo las necesidades de vitaminas y minerales que necesita el organismo animal.

### 3.6 Conclusiones

En el análisis de los resultados alcanzados se puede constatar que se logró realizar la caracterización geológica del área de pastoreo; al evaluar la incidencia de los fenómenos geológicos presentes con las producciones de la zona, además se obtiene la caracterización química de los suelos y su grado de fertilidad, la evaluación físico- química de las aguas del sector, su incidencia en los procesos agropecuarios y la clasificación de las aguas para su uso en riego.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

La presente investigación, con el cumplimiento de los objetivos propuestos nos permite concluir que:

1. Al realizarse el análisis de las características geológicas y edafológicas predominantes en el área de pastoreo, se observó la incidencia de los procesos de erosión y meteorización que condicionan las características del suelo, el pobre desarrollo de la vegetación y la mala conservación de los recursos edáficos.
2. Al evaluar el contenido de los macronutrientes y micronutrientes presentes en los suelos. Se pudo comprobar que poseen una baja disponibilidad y asimilación de los elementos: nitrógeno, potasio, fósforo y calcio, conocidos como nutrientes esenciales, por lo que se clasifican como suelos infértiles, y el contenido de los micronutrientes están dentro de los valores permisibles.
3. Las aguas superficiales y subterráneas se caracterizan desde el punto de vista físico como no aptas para el consumo animal, desde el punto de vista químico como aguas de bajo contenido de minerales esenciales y desde el punto de vista microbiológico son aguas contaminadas con bacilos coli y según su clasificación para su uso en riego son aguas buenas para el riego.
4. Después de haber caracterizado el suelo y las aguas en el sector de investigación, se demostró la necesidad y posibilidad de desarrollar el plan de acción que potencie el mejor uso y la mayor eficiencia productiva, como aclaración necesaria, el plan propuesto a la unidad ya se encuentra en proceso de implementación.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se propone a la Empresa Agroforestal de Moa la necesidad de un estudio similar en los sectores de producción del municipio o el entorno.
2. A la UBPC Antonio Maceo del sector La Granja utilizar esta investigación como herramienta para evaluar el tipo de abono a utilizar y los cultivos a sembrar.

**BIBLIOGRAFÍA**

- ADAMOVICH, A. Estructuras geológicas y minerales útiles de la región Nipe - Cristal, provincia de Oriente. La Habana: FondoGeológico, 1963.
- ANCA Soil and Water Quality: An Agend for Agriculture. *National Research Council*. 1993. 540.
- BATISTA, J. Caracterización geológica y estructural de la región de Moa a partir de la interpretación del levantamiento aeromagnético 1: 50 000. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Departamento de Geología, 1998.
- CAIRO, P. Suelos. 1980. 366.
- CARMENATE, J. Evaluación de las condiciones ingeniero-geológicas para la zonificación de los fenómenos geológicos en áreas urbanas y suburbanas de la ciudad de Moa. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Departamento de Geología, 1996.
- CARNESOLTAS, M. La Circulación Local de Brisas en Cuba. Tesis doctoral. Universidad de La Habana, 1987.
- CHAPELA, G. Lucha contra la desertificación y lucha contra el calentamiento global INE (Instituto Nacional de Ecología. *Revista Geología Minería*, 2005, Vol 21(Número 3): 15.
- CHAVIANO, B. Algunas consideraciones de rehabilitación minera en la minería del Níquel: Municipio de Moa, Cuba. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 2011, 4: 10.
- CRESPO, G. Comportamiento y perspectivas de los métodos de evaluación y control de la fertilidad de los suelos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. La Haba, 2004, volumen 38(número 3): pp. 227 – 234.
- DE MIGUEL, C. Hidrogeología aplicada con aspectos ambientales. La Habana: Editorial Félix Varela, 2012. 384 p.
- DIXÓN, A. Modernización participativa del manejo del agua para reducir el exceso de extracción del agua subterránea en Yemén. ECURED. Agua, 2001.
- DOMÈNECH, X. Química del suelo. El impacto de los contaminantes. Madrid: Miraguano S.A, 2000, Vol 3: 210.

- DOS SANTOS, A. Geología aplicada al medio ambiente. Aspectos geológicos de protección ambiental, 1995.
- FAO. Agricultura. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. En, FAO, R., ed., 2011 of Conference. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/014/am859s/am859s01.pdf>>.
- . Agricultura. La subnutrición en el mundo en el 2012". El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. En., 2012 of Conference, p. pp 8 – 14. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/014/am859s/am859s01.pdf>>.
- FERNÁNDEZ, M. Evaluación de la calidad de las aguas de consumo humano en la zona urbana de la ciudad de Moa. Tesis de maestría. ISMM, Departamento de Geología, 2003.
- FERNÁNDEZ, M.Y.F., O. Evaluación de la calidad físico- química y bacteriológica del agua subterránea en pozos criollos del municipio de Moa. *Revista Minería y Geología*, 2007, Vol 23(Número 4): 10.
- FERNÁNDEZ, Z. Plan de MIZC para minimizar el azolvamiento en la bahía de Cayo Moa Tesis de maestría. Universidad de Oriente, 2009.
- GONZÁLEZ, F., HERRERA, J, LÓPEZ, T Y CID, G Funciones agua rendimiento para 14 cultivos agrícolas en condiciones del sur de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 2013, Vol 22(No 3): 7.
- JAMIOY, D. Propuesta de indicadores de calidad edafológicos para valorar la influencia de los sistemas productivos sobre algunas propiedades físicas-químicas en suelos oxisoles del piedemonte llanero colombiano. Tesis de maestría. Universidad nacional de Colombia, Departamento Ciencias agropecuarias, 2011.
- KNIPPER, A. Tectónica y geología histórica de la zona de articulación entre el Mio y el eugeosinclinal y el cinturón hiperbasítico de Cuba. Contribución a la geología de Cuba. La Habana: ACC, 1974, Publicación especial No.2, I.G.P.
- LEE, K. Compass and Gyroscope: Integrating Science and Politics for the Environment. Washington: Island Press, 1993.

- LEYVA, L. Influencia del uso del suelo en la macrofauna edáfica en áreas de la región norte del municipio Las Tunas. *Innovación tecnológica*, 2012, Volumen 18 (Número 4): 8-10.
- LIU, G.Y.H., E. Soil pH Range for Optimum Commercial Vegetable Production. HS1207 Florida. University of Florida, 2012.
- LLERENA, C. Conservación y abandono de andenes. Lima. Tesis de maestría. Universidad de Haifa, Departamento agrario, 2004.
- MARAPI, R. Andenes: cuando el pasado, el presente y el futuro se encuentran. *Revista Agraria Lima*, 2013, Vol 20 (Número 148): 12.
- MUÑIZ, O. 50 Aniversario del Instituto de suelos de Cuba. *Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 2015, Volumen 5 (Número 2): 9.
- NC 827-2010 (CUBA). AGUA POTABLE, R.S. Vigente diciembre 2010.
- NC -93-02: 1985 (CUBA). HIGIENE COMUNAL, A.P.R.S.Y.M. Aprobada Octubre 1985. Vigente Marzo 1986.
- OCDE. Core set of indicators for environmental performance reviews. Organisation for Economic Co-Operation and Development, 1993, Report 83.
- OGAS, R., PERNASETTI Evaluación de la fertilidad de los suelos de las terrazas arqueológicas de la cuenca alta del sistema Pirquitas. *Revista del CIZAS*, 2006, Vol 7 (Número 1): 50.
- OLLERANA, R. Reflexiones sobre el uso de suelo urbano para la agricultura en ciudad de La Habana: Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT), 2012.
- OMS. Guías para la calidad del agua potable. En., 2005, vol. Volumen 1.
- PACHECO, O. Medidas de conservación para suelos potencialmente erosionables en Camagüey. Tesis de maestría. Universidad de Camaguey, Departamento Agropecuario, 2013.
- PALACIOS, J. Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial en México. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, 2004.
- PARK, CH. A dictionary of environment and conservation. Oxford: Oxford University Press, 2007.
- PASOVOX, E. Clasificación de las aguas según su PH en libro Hidrogeología general. San Petersburgo: Nedra, 1975.

- PÉREZ, G.Y.P., J. E Evaluation of the Meteorological Drought and Its Influence on Agriculture and Livestock in the Municipalities of Eastern Holguín. *Ciencias Holguín*, 2010, XVI: 9.
- POTAPOVA, M. Geology as an historical science of nature. *Interacción of sciences in the study of the earth*, 1968.
- RAMÍREZ, Y. Mapa geotécnico del área de emplazamiento de la Planta Ferroníquel Minera S.A. Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Departamento de Geología, 2010.
- RODRÍGUEZ, A. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónicas. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Departamento de Geología, 1999.
- SAGER, R. Salinidad del agua de bebida en relación al consumo de agua y heno de alfalfa (*Medicago sativa*). *Revista Argentina Producción Animal*, 2000, Vol. 17: 25.
- SÁNCHEZ, D., SÁNCHEZ, Y Y FERNÁNDEZ, M Análisis hidroquímico con fines de riego de aguas subterráneas de la provincia de Granma. *Revista Minería y geología*, 2014, Vol 30(Número 4): 16.
- SÁNCHEZ, O. Evaluación físico - química de las aguas del río Cabañas Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Departamento de Geología, 2014.
- SÁNCHEZ S, H., M Y RUZ, F. Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. *Pastos y Forrajes*, 2011, Vol. 34 (No 4): 12.
- SOCARRÁS, A. Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo. *Pastos y Forrajes*, 2013, vol 36(no.1): 3-6.
- TAMAYO, M. Sobre extracción y sostenibilidad: teoría compleja, práctica simple. ECURED. Agua, 2011.
- USDA. Soil Quality Test Kit Guide. Washington. D.D: Agricultural Research Service and Natural Resources Conservation Service-Soil Quality Institute. En, Estados Unidos. 1999 of Conference. Disponible en: <[http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044790.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044790.pdf)>.
- Soil Quality Indicators: Soil pH.Washington D.C: USDA. En. 2011 of Conference. Disponible en: <[http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044790.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044790.pdf)>.

[//www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/health/assessment/?cid=stelprdb1237387.>](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/health/assessment/?cid=stelprdb1237387).

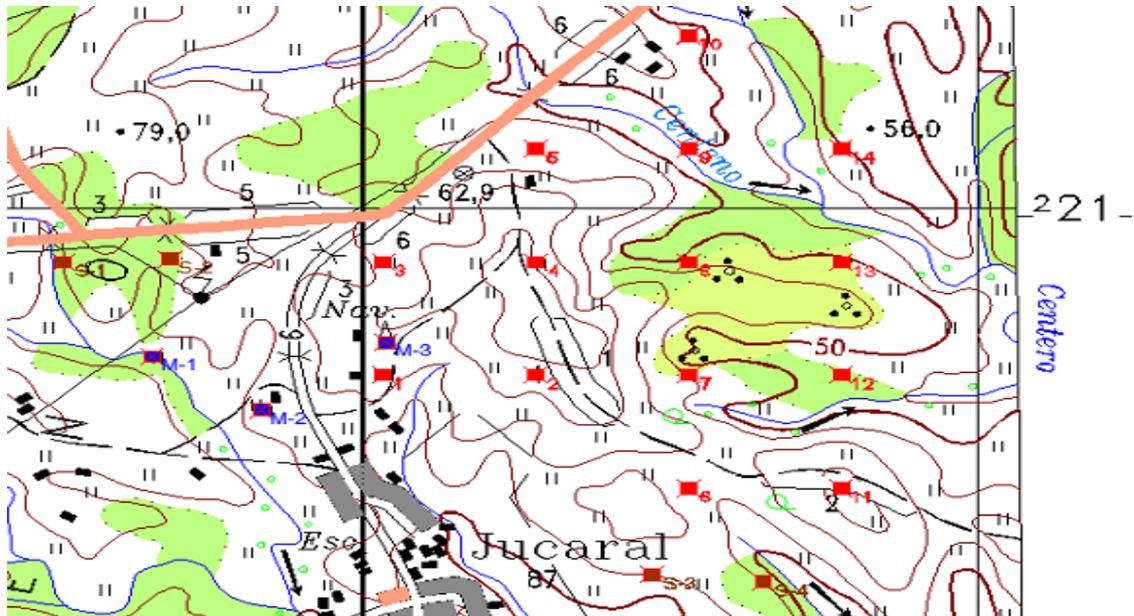
VACA, R. Calidad del suelo en el estado de México en función de su uso. Congreso Rec ambientales. [Artículo científico]. 2009. Disponible en: <<http://www.vacmex.mx/red-ambientales/docs/congresos>>.

VILLARROLA, G. La gestión de las aguas superficiales y el medio ambiente. Madrid, 2001.

YAKABI, K. Estudio de las propiedades edáficas que determinan la fertilidad del suelo en el sistema de andenería de la comunidad campesina, San Pedro de Laraos, provincia de Huarochirí, Lima. Tesis de grado. Universidad Católica del Perú, Departamento Geografía y Medio ambiente, 2014.

## ANEXOS

### Anexo 1. Ubicación de los puntos de muestreos dentro del área de estudio



#### Leyenda

- Puntos de descripción geológica
- Muestreo de agua
- Muestreo de suelo

### Anexo 2. Descripción geológica realizada en el área de pastoreo

#### Punto: 1

**Ubicación:** Este punto se encuentra a 50 m al este del camino que da entrada al poblado La Granja.

**Coordenadas:** X: 690033.9    Y: 220635.7

**Litologías.** Se observa corteza de meteorización de color pardo-rojizo con tonalidad amarillenta, de tipo ultramáfica, con predominio de fragmentos de roca serpentinita.

**Vegetación.** La vegetación es poco densa y predominan los charracales.

**Suelos.** Desde el punto de vista edafológico los suelos son ferruginosos se observa un color pardo- rojizo, con presencia de minerales oxidados:

60% minerales oxidados

30% arcilla

10% cromita estable y otros minerales

En el corte es insitu, con roca alterada y horizonte prácticamente incipiente, no hay indicios de redeposición, sin presencia de estratificaciones y sin perdigones.

**Red fluvial.** No hay presencia de arroyos.

**Fenómenos geodinámicos.** Se observan cárcavas de pequeñas dimensiones producto al escurrimiento pluvial, y no afloran las rocas.

**Acción antrópica.** Presencia de la vaquería y de los asentamientos poblacionales en la comunidad.



Figura 1. Corteza de meteorización.

## Punto 2

**Ubicación:** Este punto se encuentra a 250 m al norte del punto anterior, 250 m al este del punto 4 y a 250 m al sur del punto 7.

**Coordenadas:** X: 690282.1      Y: 220635.7

**Litologías.** Se observa corteza de meteorización de color pardo, residual, no se observan grietas relícticas en superficie.

**Vegetación.** La vegetación es poco densa con presencia de arbustos algunos árboles de tamarindo.

**Suelos.** Desde el punto de vista edafológico es de color pardo- rojizo con ausencia de la capa de humus.

**Red fluvial.** No existe presencia de arroyos.

**Fenómenos geodinámicos.** Presencia de una potente corteza de meteorización y no se observan afloramientos de rocas.

**Acción antrópica.** Incrementada por la acción de la construcción de la vaquería y de los asentamientos de los pobladores en la comunidad.



Figura 2. Suelo del área de pastoreo.

### **Punto: 3**

**Ubicación:** Este punto se encuentra a 250 m al este del punto 1 y a 250 m al norte del punto 4.

**Coordenadas:** X: 690033.9 Y: 220882.1

**Litologías.** Corteza de meteorización de color pardo-rojizo con tonalidad amarillenta, afloran las rocas ultrabásicas agrietadas, con alto grado de meteorización, fragmentadas, con desarrollo de procesos erosivos como cárcavas, se observan pequeños fragmentos de rocas con diámetro variable % 5 y 15 cm, originados por los procesos de meteorización de la roca.

**Estructura.** Presencia de agrietamiento con grietas pequeñas cerradas, roca serpentinitica muy meteorizada, alterada, que se rompen con facilidad.

**Vegetación.** La vegetación es poco densa constituida por arbustos de guayaba e icaco.

**Suelos.** Suelo meteorizado de color rojo oscuro.

**Red fluvial.** No existe presencia de arroyos.

**Fenómenos geodinámicos.** Meteorización representada por una potente corteza de intemperismo. Se observan procesos erosivos representados por el desarrollo de cárcavas.

**Acción antrópica.** Incrementada por la acción de la construcción de la vaquería y de los asentamientos de los pobladores en la comunidad.



Figura 3. Afloramiento del punto 3.

#### **Punto 4.**

**Ubicación:** Este punto se encuentra a 250 m al sur del punto anterior, a 250 m al este del punto 2, a 250 m al norte del punto 8 y 250 m al oeste del punto 5.

**Coordenadas:** X: 690282.1      Y: 220882.1

**Litología.** Corteza de meteorización de color pardo claro, con fragmentos de rocas Tobas con diámetro entre 1 y 2 cm, muy alterados y meteorizados.

**Estructura.** Presencia de fragmentos de rocas del complejo ofiolítico muy alteradas y agrietadas, sin cúmulos básicos.

**Vegetación.** Poco densa con presencia de arbustos medianos como guayaba.

**Suelos.** Presentan una coloración amarillenta rojiza, muy erosionados mediante pequeñas cárcavas, pocos maduros porque se observan fragmentos de rocas muy alteradas que dificulta su caracterización, no se delimitan los horizontes del suelo, capa de humus entre 4-5 cm.

**Red fluvial.** No existe presencia de arroyos.

**Fenómenos geodinámicos.** Presencia de rocas muy alteradas, predominio de erosión, fundamentalmente acaravamiento producto a las abundantes precipitaciones.

**Acción antrópica.** Incrementada por la acción de la construcción de la vaquería y de los asentamientos de los pobladores en la comunidad.



Figura 4. Erosión por cárcava.

#### **Punto 5**

**Ubicación:** Este punto se encuentra a 250 m al este del punto anterior y a 250 m al norte del punto 9.

**Coordenadas:** X: 690282.1    Y: 221128.6

**Litología.** Corteza de meteorización de color rojo oscuro, se observan pequeños afloramientos de rocas ultrabásicas, específicamente peridotita serpentinizada muy alterada.

**Estructura.** Se encuentran fragmentos de rocas que oscilan de 5-20 cm que pueden haber sido transportadas de las zonas más altas.

**Vegetación.** La vegetación es poco densa, se observan algunos individuos de guayaba.

**Suelos.** Desde el punto de vista edáfico se observa una coloración rojo intensa. Incipiente capa de humus, aproximadamente 2 cm.

**Red fluvial.** Se observa un arroyo intermitente que corre de este-oeste, en presencia de abundantes precipitaciones.

**Fenómenos geodinámicos.** Se observan procesos de meteorización y erosión mediante cárcavas.

**Acción antrópica.** Incrementada por la acción de la construcción de la vaquería y de los asentamientos de los pobladores en la comunidad.



Figura 5. Erosión por cárcava.

#### **Punto 6**

**Ubicación:** Este punto se encuentra a 250 m al oeste del punto 7 y a 250 m al norte del punto 11.

**Coordenadas:** X: 690530.4      Y: 220389.3

**Litología.** Corteza de meteorización intensa, en presencia de procesos erosivos por la formación de cárcavas; se observan cúmulos máficos (gabros) porque la coloración se transforma a naranja violácea con pequeñas partes de minerales, de coloración más clara (arcilla caulinítica); afloran fragmentos de rocas alteradas y muy meteorizadas.

**Estructura.** Presencia de rocas meteorizadas, muy fragmentadas con diámetro de 2-8 cm.

**Vegetación.** La vegetación es poco densa, en presencia de algunos arbustos, entre ellos el tamarindo.

**Suelos.** Desde el punto de vista edáfico se observan suelos con una coloración rojiza oscura con tonalidades violáceas que denota un componente arcilloso (caolítica), la presencia de rocas alteradas.

**Red fluvial.** No existe presencia de arroyos.

**Fenómenos geodinámicos.** Presencia de procesos demeteorización, erosión por cárcavas y acumulación.

**Acción antrópica.** Incrementada por la acción de la construcción de la vaquería y de los asentamientos de los pobladores en la comunidad.



Figura 6. Suelos de pastoreo.

### **Punto 7**

**Ubicación:** Este punto se encuentra a 250 m al este del punto anterior, a 250 m al oeste del punto 8, a 250 m al norte del punto 12 y a 250 m al sur del punto 2.

**Coordenadas:** X: 690530.4      Y: 220635.7

**Litologías.** Corteza de meteorización de color rojo oscuro, en presencia de afloramientos de rocas básicas agrietadas (gabros), con incremento de arcilla caolinita, con un alto grado de meteorización y fragmentación. Al lado izquierdo del punto se observan las rocas preexistentes muy alteradas, agrietadas, fragmentadas y meteorizadas.

**Estructura.** Presencia de agrietamiento con microgrietas cerradas, afloran fragmentos de rocas tanto de gabros como de peridotitas.

**Vegetación.** La vegetación es poco densa constituida por arbustos de guayaba e icaco.

**Suelos.** Desde el punto de vista edáfico se puede observar una coloración rojo intensa, se desarrolla según varios horizontes, roca alterada-horizonte arcilloso con minerales oxidados – perdigones-capas de humus.

**Red fluvial.** No existe presencia de arroyos.

**Fenómenos geodinámicos.** La corteza de meteorización es potente. Se observan procesos erosivos mediante cárcavas y la acumulación de sedimentos en los pies de laderas.

**Acción antrópica.** Incrementada por la acción de la construcción de la vaquería y de los asentamientos de los pobladores en la comunidad.



Figura 7. Suelos del área de pastoreo.

## Punto 8

**Ubicación:** Este punto se encuentra a 250 m al este del punto anterior, a 250 m al oeste del punto 9, a 250 m al norte del punto 13 y 250 m al sur del punto 4.

**Coordenadas:** X: 690530.4      Y: 220882.1

**Litologías.** Se observa corteza de meteorización de color rojo anaranjado, sin la presencia de afloramientos, pero se observan pequeños fragmentos de rocas de un diámetro aproximado de 1 - 2 cm que han sido meteorizados y transportadas desde las zonas más altas. No hay existencia de elementos de yacencia.

**Vegetación.** La vegetación es poco densa constituida por arbustos de guayaba y tamarindo.

**Suelos.** Desde el punto de vista edáfico se observa una coloración roja intensa, con abundantes pedregones y una capa de humus incipiente, aproximadamente 2 mm.

**Red fluvial.** No existe presencia de arroyos.

**Fenómenos geodinámicos.** Potencorteza de meteorización. En presencia de procesos erosivos principalmente por cárcavas.

**Acción antrópica.** Incrementada por la acción de la construcción de la vaquería y de los asentamientos de los pobladores en la comunidad.



Figura 8. Suelos del área de pastoreo.

### **Punto: 9**

**Ubicación:** Este punto se encuentra a 250 m al este del punto anterior, a 250 m al oeste del punto 10, a 250 m al norte del punto 14 y a 250 m al sur del punto 5.

**Coordenadas:** X: 690530.4      Y: 221128.6

**Litologías.** En presencia de una corteza de meteorización de color rojo-amarillento claro, se observan fragmentos de las rocas preexistentes con predominio de un diámetro de 2-5 cm y algunas de 10-40 cm, el tipo de rocas existente en este punto es Tobas y peridotitas serpentinizadas.

**Estructura.** No poseen agrietamiento ni elementos de yacencia.

**Vegetación.** La vegetación es poco densa constituida por arbustos de charrascal, helechos e icaco.

**Suelos.** Desde el punto de vista edáfico se observa un color rojizo claro con tonalidad naranja, capa de humus incipiente 1-2 cm, fragmentos de rocas alteradas del suelo, lo que demuestra un suelo poco maduro.

**Red fluvial.** No existe presencia de arroyos.

**Fenómenos geodinámicos.** Se observan fuertes procesos de meteorización y erosión por cárcavas.

**Acción antrópica.** Incrementada por la acción de la construcción de la vaquería y de los asentamientos de los pobladores en la comunidad.



Figura 9. Suelos del área de pastoreo.

#### **Punto: 10**

**Ubicación:** Este punto se encuentra a 250 m al este del punto anterior.

**Coordenadas:** X: 690530.4      Y: 221375

**Litologías.** Corteza de meteorización de color rojo oscuro, se observan afloramientos con una longitud de 15 m de rocas Tobas, además la existencia de procesos erosivos por cárcavas.

**Estructura.** En presencia de estratificación de las rocas, no se observan elementos de yacencia.

**Vegetación.** La vegetación es poco densa constituida por arbustos de guayaba e icaco.

**Suelos.** Desde el punto de vista edáfico se observa una coloración naranja claro, poco potente, con incipiente desarrollo de horizonte de humus.

**Red fluvial.** No existe presencia de arroyos.

**Fenómenos geodinámicos.** Presencia de una potente corteza de meteorización y erosión por cárcavas.

**Acción antrópica.** Incrementada por la acción de la construcción de la vaquería y de los asentamientos de los pobladores en la comunidad.



Figura 10. Suelos del área de pastoreo.

#### **Punto 11**

**Ubicación:** Este punto se encuentra a 250 m al sur del punto 6 y a 250 m al oeste del punto 12.

**Coordenadas:** X: 690778.6      Y: 220389.3

**Litologías.** Corteza de meteorización de color pardo oscuro, en presencia de afloramientos de rocas ultrabásicas agrietadas, con alto grado de meteorización y fragmentación (peridotitas serpentinizadas).

**Estructura.** Existe presencia de agrietamiento con microgrietas cerradas.

**Vegetación.** La vegetación es poco densa constituida por arbustos de guayaba, icaco y tamarindo.

**Suelos.** Desde el punto de vista edáfico se observa una coloración parda bien intensa, capa de humus incipiente.

**Red fluvial.** No existe presencia de arroyos.

**Fenómenos geodinámicos.** Presencia de una potente corteza de meteorización y procesos erosivos por cárcavas.

**Acción antrópica.** Incrementada por la acción de la construcción de la vaquería y de los asentamientos de los pobladores en la comunidad.



Figura 11. Afloramiento del punto 11.

## Punto 12

**Ubicación:** Este punto se encuentra a 250 m al este del punto anterior, a 250 m al sur del punto 7 y a 250 m al oeste del punto 13.

**Coordenadas:** X: 690778.6      Y: 220635.7

**Litologías.** Corteza de meteorización de color pardo claro, en presencia de afloramientos de rocas ultrabásicas agrietadas, con alto grado de meteorización y fragmentación, alrededor del punto se observan las rocas preexistentes muy alteradas, agrietadas, fragmentadas y meteorizadas. Rocas ultrabásicas serpentinizadas, no existe presencia de microgrietas.

**Vegetación.** La vegetación es poco densa constituida por arbustos de guayaba e icaco.

**Suelos.** Desde el punto de vista edáfico se observa una coloración rojo amarillenta claro, horizonte de humus incipiente.

**Red fluvial.** No existe presencia de arroyos.

**Fenómenos geodinámicos.** Presencia de una potente corteza de meteorización, se observan procesos erosivos por cárcavas.

**Acción antrópica.** Incrementada por la acción de la construcción de la vaquería y de los asentamientos de los pobladores en la comunidad.



Figura 12. Suelos del área de pastoreo.

### **Punto 13**

**Ubicación:** Este punto se encuentra a 250 m al este del punto anterior, a 250 m al oeste del punto 14 y a 250 m al sur del punto 8.

**Coordenadas:** X: 690778.6      Y: 220882.1

**Litologías.** Las rocas que afloran están in situ y son rocas del complejo ultramáficoserpentinizado. Se encuentran muy alteradas y agrietadas, alrededor del punto se observan las rocas preexistentes muy alteradas, agrietadas, fragmentadas y meteorizadas.

**Estructura:** Existe presencia de agrietamiento con microgrietas cerradas.

**Vegetación.** La vegetación es poco densa constituida por arbustos de guayaba e icaco.

**Suelos.** Desde el punto de vista edáfico se observa una coloraciónrojo intensa, con incipiente capa de humus.

**Red fluvial.** No existe presencia de arroyos.

**Fenómenos geodinámicos.** Presencia de una potente corteza de meteorización, se observan procesos erosivos por cárcavas.

**Acción antrópica.** Incrementada por la acción de la construcción de la vaquería y de los asentamientos de los pobladores en la comunidad.



Figura 13. Suelos del área de pastoreo.

#### **Punto 14**

**Ubicación:** Este punto se encuentra a 250 m al este del punto anterior y a 250 m al sur del punto 9.

**Coordenadas:** X: 690778.6 Y: 221128.6

**Litología.** Corteza de meteorización de color pardo claro. En este punto no afloran rocas en superficie, se observan rocas deslizadas de las zonas más altas.

**Vegetación.** La vegetación es poco densa constituida por arbustos de guayaba e icaco.

**Suelos.** Desde el punto de vista edáfico se observa una coloración rojiza con tonalidad clara. No se pueden discriminar los diferentes horizontes del suelo.

**Red fluvial.** No existe presencia de arroyos.

**Fenómenos geodinámicos.** Presencia de una potente corteza de meteorización y erosión por cárcavas.

**Acción antrópica.** Incrementada por la acción de la construcción de la vaquería y de los asentamientos de los pobladores en la comunidad.



Figura 14. Suelos del área de pastoreo.