



INSTITUTO SUPERIOR MINERO  
METALURGICO DE MOA  
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ

Ingeniería Geológica  
Facultad: Geología y Minería

# Trabajo de Diploma

Para Optar por el Título de

## Ingeniero Geólogo

**Título: Evaluación geoambiental de la cuenca hidrográfica del río Pontezuelo, Mayarí.**

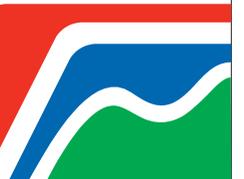
**Autora: Marlen Torres Beltrán**

**Tutor (es): Dr.C. Yuri Almaguer Carmenates**

**Ing. Yanetsis Chacón Pérez**

**Moa, 2015**

**“Año 57 de la Revolución”**



## DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Marlen Torres Beltrán, autora de este trabajo de diploma y los tutores Dr.C. Yuri Almaguer Carmenates e Ing. Yanetsis Chacón Pérez, declaramos la propiedad intelectual de este trabajo al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para que disponga de su uso cuando estime conveniente.

Para que así conste firmo la presente a los \_\_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ de 2015.

---

Diplomante: Marlen Torres Beltrán

---

Tutor: Dr.C. Yuri Almaguer Carmenates

---

Tutora: Ing. Yanetsis Chacón Pérez

## **Dedicatoria**

Dedico con mucho amor mi trabajo de diploma a quienes constituyen en mi vida lo mejor de ella.

- Mi madre Marlene Beltrán y a mi padre José Ramón Torres por haberme guiado en la vida y darme una educación basada en valores y principios.
- En mi familia dedico esta tesis a mi abuela Elva Vicente y mi tío Rolando Beltrán por apoyarme en todo momento.
- Aunque mis abuelos no estén vivos quisiera que de donde me estén mirando se sientan orgullosos de mí, que esto fue lo que ellos siempre soñaron.
- A mis primos Nguyen Tang y Elba María Beltrán por demostrarme su amor y cariño siempre.
- A León Ortelio Vera Sardiñas por creer en mí.

## Agradecimientos

En el transcurso de la vida muchas son las personas que contribuyen a tu formación personal. Es por ello que quiero agradecer a:

- A mi madre Marlene Beltrán y mi abuela Elva Vicente quienes me hicieron ser todo lo que soy.
- A mis tíos Isidro R. Torres, Rolando y Ernesto Beltrán. Tías Yanet Correa, Sofía y Arelis Torres, que en todo momento creyeron en mí capacidad de formarme como una profesional.
- A mis primos Miguel R. Torres, Aiden López, Nguyen y Nguyen lin Tang y primas Elba M. Beltrán, Han le Tang, Taimí Torres por su amor incondicional.
- A Nelida y Francisca Olmo a quienes quiero mucho.
- A mi hermano Carlos Alberto Fernández por escucharme siempre.
- A mi tutor Yuri Almaguer por formarme como investigadora y tener la certeza de que nunca lo defraudaría aunque se encontrara lejos.
- A Yanetsis Chacón y Manuel A. Pérez por ser mis guías.
- A Leonel Rodríguez por su comprensión y amor.
- Al colectivo de profesores del departamento de geología por haberme formado como una profesional, transmitiendo sus conocimientos y experiencias, los que a lo largo de estos 5 años me brindaron toda su sabiduría y comprensión.
- A mis compañeros de aula por su apoyo incondicional estos 5 años.
- A mis amigos Yetsis Viviana Chacón, Frank A. Cruz, Rosa M. Landrove, Yasmany Medina, David San Miguel, Juan José García y Elizabet Gonzales que formaron parte de este trabajo con su ayuda en todo momento.
- A José A. Ramírez, Alfonzo Fernández, Vilmisleidis Basanta, Marlon Suárez por estar a mi lado estos 7 años.
- A Roxana Añel, Cesar D. Fernández, Lilian y Lien Aguilera por su amistad.
- A losnel Rouco por su apoyo, dedicación y ayuda.
- Sobre todo quiero agradecerle a la Revolución Cubana y en especial a nuestro comandante en jefe, por permitirme estudiar y convertirme en una profesional.

A todos muchas gracias.

*"Podrán morir las personas, pero jamás sus ideas."*

*Ernesto Ché Guevara*



## RESUMEN

La presente investigación se desarrolla por la problemática manifestada en la cuenca del río Pontezuelo, donde los vertimientos de residuales líquidos y sólidos han degradado la calidad de sus aguas y donde no existen adecuadas herramientas de gestión de los impactos ambientales. En este sentido se traza como objetivo evaluar las condiciones geoambientales de la cuenca del río Pontezuelo con vista a implementar estrategias de mitigación de la contaminación. La metodología está basada en caracterización de los focos y fuentes contaminantes mediante los métodos de cartografía ambiental; los datos obtenidos se utilizaron para la evaluación de los impactos ambientales en la cuenca. Además se utilizaron datos hidroquímicos para ver el nivel de contaminación de las aguas. Toda la información fue digitalizada, procesada e integrada en un sistema de información geográfica. Los estudios revelan que hay predominio del vertimiento de contaminantes líquidos, representando el 76% del total documentado; las fuentes contaminantes que los aportan provienen de las redes de drenaje, vertimiento urbano y de la actividad industrial presente en la ciudad de Mayarí. Los análisis hidroquímicos confirman la evaluación de impacto ambiental, a través de algunos parámetros como los sólidos disueltos totales, el estudio del contenido de iones nitrato y sulfato, demuestran alta contaminación de las aguas del río, específicamente en las áreas ocupadas por la ciudad, donde aumentan los valores de ambos significativamente; esto se asocia a los procesos de oxidación bacteriana de la materia orgánica y la cercanía a fuentes de contaminación.

## SUMMARY

Present investigation unrolls by the problems manifested at the Pontezuelo river, because the liquids and solids residuals have degraded the quality of their waters and without the adequate tools of step of the environmental impacts. So our subject is evaluate conditions geoambientales of the basin of the river himself looking out on implementing strategies of mitigation of contamination. The methodology is based in characterization of the contaminating sources using the methods of environmental cartography, using the obtained data for the evaluation of the environmental impacts on the river, besides hydroquimics to appreciate the level of contamination of waters. All information was digitized, processed and integrated on a geographic information system. The studies reveal that there is predominance of the liquid contaminants, representing 76 % of the total; the contaminating sources come from the drainage systems, urban drain and industrial activity present at Mayarí's city. Hydroquimics analyses confirm the evaluation of environmental impact, through some parameters like the total dissolved, the study of the contents of ions the nitrate and sulfate demonstrate high contamination of the waters of the river, specifically in the areas occupied by the city, where they increase significantly both values, product to the processes of bacterial oxidation of the organic matter and the proximity to sources of contamination.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE</b> .....	5
Introducción .....	5
1.1 Marco teórico conceptual .....	5
1.2 Aspectos a considerar en la realización de un estudio de contaminación ...	11
1.3 Metodologías de estudios ambientales. ....	14
1.4 Uso de los sistemas de información geográfica (SIG) en los estudios ambientales.....	21
1.5 Trabajos de estudios ambientales en Cuba. ....	23
<b>CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PONTEZUELO</b> .....	25
Introducción .....	25
2.1 Características físico geográficas del área .....	25
2.1.1 Ubicación geográfica.....	25
2.1.2 Clima.....	26
2.1.3 Vegetación. ....	27
2.1.4 Orografía.....	28
2.1.5 Red Hidrográfica. ....	29
2.1.6 Desarrollo industrial y agrícola. ....	31
2.2 Caracterización geológica de la cuenca .....	31
2.2.1 Características geológicas. ....	31
2.2.2 Estratigrafía.....	32
2.2.3 Tectónica. ....	36
2.2.4 Características geomorfológicas. ....	37

<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE ESTUDIO GEOAMBIENTAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA PONTEZUELO.....</b>	<b>38</b>
Introducción .....	38
3.1 Etapas de trabajo.....	38
3.2 Evaluación de impactos ambientales.....	41
3.3 Cartografía digital aplicando un SIG .....	47
<b>CAPITULO IV. RESULTADOS DEL ANÁLISIS GEOAMBIENTAL DEL RÍO PONTEZUELO.....</b>	<b>52</b>
Introducción .....	52
4.1 Estudio de focos y fuentes contaminantes.....	52
4.2 Factores que influyen en la contaminación del río Pontezuelo. ....	56
4.3 Evaluación de los impactos ambientales (EIA). ....	58
4.4 Análisis físico-químico de las aguas del río Pontezuelo.....	65
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>71</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>76</b>

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han producido cambios profundos en las interrelaciones Hombre–Medio Geológico. El hombre ha provocado la alteración de los procesos naturales, a través de cambios en las condiciones físicas y químicas de las aguas, suelos; y en otros casos la aceleración de los agentes naturales, al mismo tiempo en el proceso de desarrollo socio-económico, se ha generado un cierto grado de vulnerabilidad, aumentando los riesgos de las actividades socioeconómicas de ellas derivadas. Bajo estas condiciones geoambientales, las cuencas hidrográficas constituyen áreas en las cuales se manifiestan grandes transformaciones que se traducen en impactos ambientales negativos sobre el ecosistema y los factores ambientales como el agua y los suelos. Por lo general las grandes afectaciones de las cuencas se deben a la deforestación intensiva por explotación forestal o desarrollo agrícola, minero, industrial, y en otras ocasiones por la existencia de poblaciones dentro del área de la cuenca, como sucede con el río Pontezuelo.

El agua no se encuentra en la naturaleza en su forma químicamente pura, compuesta solamente por moléculas de agua. Puesto que disuelve ávidamente a la mayoría de los compuestos sólidos, líquidos y gaseosos; en su forma natural se encuentran normalmente impregnadas en ellos. Esta característica es muy buena pues es precisamente el oxígeno disuelto el que permite la actividad acuática; los sólidos en solución modulan su actividad química y son aprovechados por los seres vivos. Es interesante hacer notar que el agua químicamente pura no es apropiada para la vida. Pero esta propiedad de disolver compuestos extraños a ella es la que provoca serios problemas de contaminación: los desechos industriales o domésticos incorporados a la masa de agua, llegan hacerla inadecuada y hasta peligrosa para la vida. Conocer los límites de impurezas que para cada uso pueden aceptarse y estudiar la manera de eliminarlos es una tarea de higiene extremadamente importante para conservar los recursos hídricos.

La contaminación del agua puede producirse por diversas sustancias: residuos sólidos, líquidos y gaseosos, sólidos en suspensión, materia tóxica, microorganismos infecciosos, desechos radiactivos, entre otros. Estas sustancias

dan al agua propiedades indeseables, como corrosividad, toxicidad, incrustabilidad, mal olor, mal sabor y mala apariencia. La disponibilidad de agua potable de buena calidad es un factor importante para preservar la salud de la población y son conocidas las epidemias causadas por la contaminación de las aguas que en el pasado diezmaron la población.

Actualmente en la mayoría de los centros urbanos se controlan estos problemas, pero el creciente desarrollo de la sociedad hace aumentar continuamente la cantidad y tipos de fuentes contaminantes. Productos químicos arrastrados por las lluvias así como la erosión de los suelos contribuyen, al igual que fuentes de origen natural e industrial a deteriorar la calidad de las aguas. El municipio de Mayarí está insertado en el contexto ambiental cubano, lo cual no escapa a todas las problemáticas ambientales del mundo y de nuestro país. Su economía está sustentada en cuatro sectores priorizados: el turismo, la producción de alimentos, la agricultura y la generación de energía eléctrica.

Resumiendo, toda la actividad socioeconómica genera un alto por ciento de residuales domésticos, industriales y hospitalarios lo que conlleva a impactar negativamente en la sociedad mayaricera, a ello se le suma la fuerte sequía por la que ha atravesado en los últimos años y otros eventos climáticos que han influido negativamente en la salud ambiental del territorio.

Sobre la base de lo anteriormente expuesto se desarrolla la presente investigación la cuál analiza como **problema**: La contaminación de las aguas del río Pontezuelo y ausencia de herramientas de gestión de los impactos ambientales en la ciudad de Mayarí, lo que genera unas condiciones geoambientales negativas en el área.

Como **Objeto de estudio** se selecciona las condiciones geoambientales de la cuenca del río Pontezuelo, porque dentro de ella se desarrollan actividades socioeconómicas que han transformado y contaminado sus aguas, disminuyendo la calidad de las mismas y la productividad de los suelos dentro de la cuenca.

**Campo de estudio:** la contaminación de las aguas del río Pontezuelo.

## HIPÓTESIS

Si se cartografían y caracterizan los focos y fuentes contaminantes, así como la calidad de las aguas del río Pontezuelo, implementando como herramienta de análisis un sistema de información geográfica, es posible evaluar sus condiciones geoambientales y establecer estrategias de mitigación de los impactos por contaminación.

## JUSTIFICACIÓN

La población urbana de Mayarí, está ubicada dentro de la cuenca del río Pontezuelo, el cual vierte sus aguas al río Mayarí. Las aguas del Pontezuelo corren dentro de la ciudad, reciben y transportan los contaminantes aportados por las actividades socioeconómicas desarrolladas, fundamentalmente la agrícola, industrial, instituciones de salud entre otras.

En la actualidad se evidencian afectaciones a los recursos hídricos provocados por dichas actividades, poniéndose de manifiesto en la alteración de sus propiedades físicas, químicas y bacteriológicas, afectando en gran medida la calidad natural de las mismas.

## OBJETIVOS

**Objetivo general:** Evaluar las condiciones geoambientales de la cuenca del río Pontezuelo mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) para implementar estrategias de mitigación de la contaminación.

### Objetivos específicos:

- Caracterizar los focos y fuentes contaminantes.
- Identificar y evaluar los impactos ambientales que se ponen de manifiestos en la cuenca.
- Caracterizar la calidad de las aguas a partir de sus propiedades físicas y químicas.
- Implementar un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permita el análisis espacial de los factores que influyen en la contaminación del río Pontezuelo.

## **APLICABILIDAD DE LOS RESULTADOS**

Los resultados de la presente investigación serán aplicados por el gobierno del Municipio Mayarí, el MINSAP y las diferentes empresas, interesados en conocer el estado actual de la calidad de las aguas, los posibles focos de contaminación y las medidas preventivas que conlleven a minimizar las incidencias negativas que trae consigo su contaminación. Además de servir como punto de partida para futuras investigaciones.

## CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE

### Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo establecer el marco teórico conceptual de la investigación. Basado en la consulta de las bibliografías relacionadas con el tema, tratando la base teórica de la misma, teniendo en cuenta los factores que las condicionan, los métodos de estudios realizados para evaluación de impactos geoambientales en una cuenca hidrográfica aplicando un Sistema de Información Geográfica (SIG).

### 1.1 Marco teórico conceptual

El **medio ambiente** es el conjunto de circunstancias que rodean a un individuo o a una comunidad. En este se incluyen todos los elementos físicos como por ejemplo aire, agua, suelo, paisaje, flora, fauna, entre otros, que afectan al crecimiento y desarrollo de un individuo o una comunidad. En este se consideran también las condiciones sociales y culturales tales como ética, economía y estética que afectan el comportamiento individual o comunitario. Por lo tanto en la Geología Ambiental se deben considerar no sólo los procesos físicos que ocurren en la Tierra, sus recursos y otros aspectos estructurales propios de la Geología si no también la sociedad y la cultura que influyen en cómo se percibe y reacciona con el medio ambiente físico circundante.

La **Contaminación** es la pérdida, disminución, deterioro significativo inferido al Medio Ambiente. La contaminación es cualquier sustancia o forma de energía que puede provocar algún daño o desequilibrio en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo. El agua, el aire y el suelo, son los principales medios contaminados.

En las ciencias geológicas se diferencian siempre **el suelo y el subsuelo**. Se entiende como el suelo la capa superficial alterada, y el subsuelo como la roca madre inalterada. De cara a una gestión medioambiental son dos las divisiones que se pueden hacer del suelo, como soporte físico y como sistema ecológico.

Hay varios enfoques para los estudios del proceso de contaminación que manifiestan en el medio geológico, uno de ellos es enfocado al estudio del proceso en las cuencas hidrográficas, debido a la importancia desde el punto de vista del recurso agua existente y a la biodiversidad que se desarrolla en las mismas. De esta forma es preciso definir el término **cuenca hidrográfica**, que es un territorio drenado por un único sistema de drenaje, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de las aguas. El uso de los recursos naturales se regula administrativamente separando el territorio por cuencas hidrográficas, y con miras al futuro las cuencas hidrográficas se perfilan como las unidades de división funcionales con más coherencia, permitiendo una verdadera integración social y territorial por medio del agua. También recibe los nombres de **Hoya Hidrográfica**, **Cuenca de Drenaje** y **Cuenca Imbrífera**.

Las cuencas se dividen en varias partes, las que se enumeran a continuación:

**Cuenca alta**, que corresponde a la zona donde nace el río, el cual se desplaza por una gran pendiente.

- **Cuenca media**, la parte de la cuenca en la cual hay un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale. Visiblemente no hay erosión.
- **Cuenca baja**, la parte de la cuenca en la cual el material extraído de la parte alta se deposita en lo que se llama cono de deyección.

Existen varios tipos de cuencas en función de la zona donde desembocan las aguas y/o el régimen de las aguas dentro de la misma:

- Exorreicas: drenan sus aguas al mar o al océano.
- Endorreica: desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación fluvial al mar.

- Arreicas: las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje.

Otro de los factores ambientales afectados por los procesos de contaminación es el suelo, por lo tanto se define como **contaminación del suelo** es la presencia de compuestos químicos hechos por el hombre u otra alteración al ambiente natural del mismo.

### **Procesos de Degradación del Suelo**

**Degradación de los suelos:** Deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas aisladamente o en forma combinada, que impiden o limitan el buen desarrollo de cultivos y de buenas cosechas.

Especial atención se dedica en los temas de suelo a su degradación. Los procesos de degradación alteran la estructura del suelo y su capacidad productiva. Cabe destacar los siguientes procesos:

- **Erosión hídrica:** Consiste en el proceso de remoción y arrastre del suelo por la acción del agua. Una serie de factores facilita la ocurrencia de los fenómenos erosivos originados por el agua: las características de las precipitaciones, la erosionabilidad del suelo, la topografía del terreno, etc. La erosión hídrica es una de las formas de degradación del suelo más extendida. Su estudio en mayor detalle y profundidad se sitúa en la parte del temario dedicada a procesos.
- **Erosión eólica:** Consiste en el proceso de remoción y arrastre de partículas del suelo por acción del viento. Las condiciones apropiadas para que se produzca son fundamentalmente la existencia de un suelo seco, suelto y finamente dividido, poca o ninguna cubierta vegetal, una superficie de terreno llana o levemente ondulada y un viento de velocidad suficiente.
- **Deshumidificación:** La materia orgánica existente en el suelo o humus, es el último estadio de una compleja transformación de los residuos orgánicos provenientes de los distintos seres vivos y tiene un destacado papel en muchas de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos: retención de agua, stock de nutrientes inorgánicos, amortiguación de pH, estabilización de la

estructura edáfica, etc. Se comprende que una pérdida notoria de la cantidad de esta materia orgánica del suelo se traduzca en palpable degradación del mismo. La deshumidificación es muy visible en la gran mayoría de los suelos agrícolas, en los que, junto a una disminución del aporte de materia orgánica fresca por la explotación de la cosecha, aumenta la mineralización del humus existente como consecuencia de las labores agrícolas.

- **Salinización:** Puede describirse como la acumulación progresiva de sales solubles en el suelo, debida al afloramiento superficial de materiales litológicos salinos, a la presencia en el subsuelo de aguas con elevado contenido en sales o, muy frecuentemente, al empleo de aguas de riego más o menos salobres. Salvo en los terrenos litológicamente o edáficamente abundantes en sales solubles, en los demás casos la salinización se produce debido a la evaporación del agua existente en el suelo o el subsuelo, lo que conlleva el consiguiente depósito de las sales en superficie, llegando a formar costras blanquecinas. Los efectos sobre el crecimiento vegetal son muy importantes: dificultades hídricas suplementarias para las plantas, perturbación en su absorción de nutrientes, toxicidad directa de las propias sales, etc. La salinización es probablemente tras la erosión hídrica, la forma de degradación edáfica más importante a nivel mundial.

- **Sodificación y alcalinización:** Cuando el porcentaje del catión sodio supera el 15 % del conjunto de iones que forman parte del conjunto del llamado complejo de intercambio iónico del suelo (un conjunto de coloides orgánicos y minerales que retienen a los diferentes iones minerales) aparecen en los suelos efectos indeseables. Degradación estructural, mala aireación, deficiente conductividad hídrica y dificultades en el enraizamiento de los vegetales son algunos de ellos. Si esta sodificación va acompañada de un incremento del pH del suelo por encima del 8.5, recibe el nombre de alcalinización, caso de ser prolongada, llega a inutilizar los suelos para la agricultura.

- **Encostramiento y compactación:** Bajo este título se incluyen distintos procesos de degradación física del suelo: encostramiento, cementación o impermeabilidad de su superficie, o bien compactación subsuperficial. Los primeros aspectos citados de degradación subsuperficial acarrearán una mayor

escorrentía, menor almacenamiento hídrico del suelo y mayores dificultades de enraizamiento de las plantas. La compactación superficial produce una deficiente aireación y una mala conducción del agua, algo que puede llegar a ocasionar asfixia a las raíces de los vegetales y a los microorganismos del suelo.

- **Asfaltización:** En un sentido restringido, la asfaltización puede completarse<sup>o</sup> como un encostramiento e impermeabilización muy especial de la superficie del suelo, originado exclusivamente por la acción humana. La asfaltización supone la sustratación de áreas más o menos grandes de suelo al crecimiento vegetal como consecuencia de un encostramiento e impermeabilización extremos. En un sentido más amplio, la asfaltización puede abarcar también un proceso de instauración de cualquier otro recubrimiento duro y poco permeable sobre la superficie del suelo: empedrado, enladrillado, cementado, etc. Se trata, por supuesto, de un fenómeno ligado muy estructuralmente a la urbanización y a la extensión de infraestructuras de todo tipo.

- **La contaminación:** Es una forma de degradación del suelo y es consecuencia de la utilización del suelo como receptáculo de desechos. La contaminación es otro concepto con dificultades en el campo de lo científico. Normalmente se entiende como tal la introducción antrópica en el medio ambiente en general o en alguno de sus compartimientos (aire, agua y, en el caso que nos ocupa, suelo), de materia o energía capaz de alterar los recursos, procesos y sistemas ecológicos o de provocar riesgos para la salud humana.

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

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

#### **Contaminantes biológicos:**

- Corresponden a desechos orgánicos, tales como la materia fecal y restos de alimentos.

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

### **Contaminantes químicos:**

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

### **Contaminantes físicos:**

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

Son partículas de suelo o sólidos de basura que se acumulan en el fondo de depósitos o corrientes de agua. Otras partículas no forman sedimentos: flotan cerca de la superficie enturbiando el agua y obstaculizando la penetración de la luz. Como la fotosíntesis llevada a cabo por algas y otras plantas requiere de esa luz, al no producirse la fotosíntesis, provoca el decaimiento no sólo de algas y plantas sino también de los organismos.

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

## **1.2 Aspectos a considerar en la realización de un estudio de contaminación**

### **Fuentes y causas productoras de la contaminación**

La contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante, sin duda es la provocada por el hombre. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso del agua, una gran generación de residuos, de los cuales la mayoría de ellos van a parar al agua y sufren alteraciones en la calidad natural por la existencia de sustancias químicas y microorganismos procedentes de la actividad humana.

#### **Contaminación de origen humano:**

- 1. Industrial:** Según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos. Normalmente en los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces sistemas de depuración de las aguas, sobre todo las que producen contaminantes peligrosos, como son los metales tóxicos. En algunos países en vías de desarrollo la contaminación del agua por residuos industriales también existe y es significativa e importante.
- 2. Natural:** Normalmente las fuentes naturales constituyentes son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de polución excepto en algunos lugares muy concretos. Por ejemplo, el mercurio que se encuentra naturalmente en la corteza de la tierra y en los océanos contamina la biosfera mucho más que el procedente de la actividad humana. Algo similar pasa con los hidrocarburos y otros productos.
- 3. Vertidos urbanos:** La actividad doméstica produce principalmente residuos orgánicos, sales, ácidos, entre otros.
- 4. Agricultura y ganadería:** Los trabajos agrícolas producen vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan de una forma difusa pero muy notable las fuentes de aguas.

## **Mecanismos de introducción de los agentes contaminantes al flujo**

Agentes contaminantes incluyen los iones presentes cuando se encuentran en elevadas concentraciones, los metales pesados, las bacterias, los virus, los gases disueltos, los compuestos orgánicos, entre otros. Para el caso de las aguas superficiales, estos agentes inician su trayectoria en la superficie de la tierra y en dependencia de las características del relieve se incorporan a la fuente de agua superficial directamente; para las aguas subterráneas, estos agentes se infiltran de antemano y durante este proceso se ven sometidos a fenómenos químicos físicos y biológicos (intercambio iónico, adsorción y otros) donde una buena parte de ellos pierde su superficialidad.

### **Directa:**

Efectos que producen los elementos perjudiciales sobre las distintas aplicaciones útiles del agua subterráneas. Los efectos más importantes son los que pueden ocurrir sobre la salud humana. Las enfermedades transmitidas por el agua son las transmitidas por el “agua sucia”, causadas por el agua que se ha contaminado con desechos humanos animales o químicos, donde los seres humanos pueden actuar de huéspedes de bacterias, virus y protozoos que causan afectaciones a la salud.

Entre las enfermedades transmitidas por el agua contaminada se tienen: el cólera, la poliomiелitis, hepatitis A y E, shigella, meningitis, la fiebre tifoidea.

Las sustancias tóxicas que llegan al agua producto de los desechos industriales son otra causa de enfermedades transmitida por el agua. Estos productos químicos, aún en bajas concentraciones, con el tiempo pueden acumularse y finalmente, causar enfermedades crónicas como el cáncer; la presencia de nitratos en concentraciones excesivas causa trastornos sanguíneos provocando la metahemoglobinemia (bloqueo de las moléculas de hemoglobina de los glóbulos rojos) también conocido como cianosis, pudiendo llegar a la asfixia del bebé.

## **Prevención y lucha contra la contaminación**

Toda acción para el estudio de calidad de las aguas, o para luchar contra la contaminación, requiere de un conocimiento previo del problema, basado en la

observación periódica de parámetros determinantes de la calidad y de las causas que lo modifican.

La vigilancia y el control de la calidad de las aguas puede definirse como un programa de observación continua científicamente diseñado incluyendo la toma de muestras y la calidad, inventario de las causas potenciales y reales que producen cambios en la calidad y predicción de la naturaleza de los futuros cambios.

Partiendo de la premisa de la inexistencia de una definición concreta al respecto de lo que es una **Medida Correctora**, podrían éstas englobarse bajo la siguiente acepción: "Una Medida Correctora puede o va a ser, como su nombre ya indica, cualquier tipo de acción, instrumento o técnica (igual Medida) que, como resultado de su aplicación produzca una atenuación, o una eliminación, o bien una compensación de un efecto ambiental negativo cualquiera derivado de una actividad cualquiera. Debe señalarse que el objeto básico y fundamental de la aplicación de una medida correctora es "corregir impactos negativos no deseados"; lo cual puede consistir bien en una, dos o el conjunto, de las siguientes cuestiones:

**Atenuar el Impacto:** Lo cual puede lograrse limitando la intensidad o agresividad de la acción que lo provoca. Un ejemplo de este carácter de "atenuación" sería la aplicación de técnicas de depuración de efluentes o, también la instalación de sistemas de control de determinadas emisiones atmosféricas.

**Cambiar la Condición del Impacto:** Entendiendo que la condición del impacto se refiere a aspectos relativos a su carácter, es decir, Negativo/Positivo, Temporal/Permanente, Alcance Medio/Puntual, etc. En estos casos, la modificación del carácter del impacto puede lograrse mediante actuaciones favorecedoras de los procesos de regeneración natural, los cuales favorecen la disminución de la duración de los efectos negativos. Un ejemplo claro de este tipo de actuaciones es la utilización de Técnicas de Recuperación de Espacios Alterados, también denominadas Técnicas de Restauración.

**Compensar el Impacto:** Lo que consiste en la aplicación de Medidas Correctoras

de efecto contrario al de la acción impactante; aunque también puede entenderse como la aplicación de medidas de restauración y/o mejora en ámbitos espaciales diferentes a los de la influencia del impacto.

**Eliminar el Impacto:** Por otro lado, a la hora de hablar de medidas correctoras requeridas por determinado proyecto, independientemente de la fase en que nos encontremos, es importante partir de la premisa de que "siempre es mejor no producir impactos que establecer su medida correctora"; puesto que estas suponen un coste adicional que, aunque en comparación con el coste global del proyecto suele ser bajo, puede evitarse sino se produce el impacto, a lo que hay que añadir que en la mayoría de los casos las medidas correctoras solamente eliminan una parte de la alteración, es decir, atenúan y, en muchos otros casos, ni siquiera eso.

### 1.3 Metodologías de estudios ambientales

Existen numerosos modelos y procedimientos para la evaluación de impactos sobre el medio ambiente o sobre algunos de sus factores, algunos generales, como pretenciones de universalidad, otros específicos para situaciones o aspectos concretos; algunos cualitativos, otros operando como amplia bases de datos e instrumentos de cálculo sofisticados, de carácter estático unos, dinámicos otros, etc.

**La clasificación de los métodos más usuales responden al siguiente esquema:**

Sistema de red y gráficos

- Matrices causa efecto
- CNYRPAB
- Guías metodológicas del MOPU
- Banco Mundial

Sistemas cartográficos

- Superposición de transparentes

- Mc Harg
- Tricart
- Falque

Análisis del sistema

Método basado en indicadores, índice e integración de la evaluación.

- Holmes
- Universidad de Georgia
- Hill Schechter
- Fisher Davies

Métodos cuantitativos

- Batelle Columbus

Vamos a realizar a continuación una somera descripción de estos procedimientos, que resultan ser los más significativos .

## **Sistemas de red y gráficos**

### ***Matrices causa efecto***

Son métodos cualitativos, preliminares y muy valiosos para valorar las diversas alternativas de un mismo proyecto, describiéndose a continuación el más conocido: el de la Matriz de Leopold (Figura 1.1). Fue el primer método que se estableció para la evaluación de impacto ambiental.

Este método consiste en un cuadrado de doble entrada matriz en el que se disponen como filas los factores ambientales que pueden ser afectados y como columnas las acciones que vayan a tener lugar y que serán causa de los posibles impactos.

Matriz clásica de Leopold																																		
INSTRUCCIONES		A. MODIFICACION DEL REGIMEN	B. TRANSFORMACION DEL TERRITORIO Y CONSTRUCCION	C. EXTRACCION DE RECURSOS																														
<p>1. Identificar las acciones (situadas en la parte superior de la matriz) que tienen lugar en el proyecto propuesto.</p> <p>2. Bajo cada una de las acciones propuestas, trazar una barra diagonal en la intersección con cada uno de los términos laterales de la matriz, en caso que haya un posible impacto.</p> <p>3. Una vez completa la matriz, en la esquina superior izquierda de cada cuadrante con barra, calificar de 1 a 10 la MAGNITUD del posible impacto. 10 representa la máxima magnitud y 1 la mínima (el cero no es válido). Delante de cada clasificación poner + si el impacto es beneficioso. En la esquina inferior derecha de cada cuadrante calificar de 1 a 10 la IMPORTANCIA del posible impacto (por ejemplo, si es regional o simplemente local); 10 representa la máxima importancia y la 1 la mínima, (el cero no es válido).</p> <p>4. El texto que acompañe la matriz consistirá en la discusión de los impactos más significativos, es decir aquellos cuyas filas y columnas estén señalados con las mayores calificaciones y aquellos cuadrantes aislados con números superiores.</p>																																		
<table border="1"> <tr> <td></td> <td>a</td> <td>b</td> <td>c</td> <td>d</td> <td>e</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td></td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td>6</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td></td> <td>8</td> <td>7</td> <td>3</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td>7</td> <td>1</td> <td>6</td> </tr> </table>			a	b	c	d	e	a		4			6			2			3	b		8	7	3	9			2	7	1	6	<p>a. Introducción de flora o fauna exótica</p> <p>b. Controles biológicos</p> <p>c. Modificación del hábitat</p> <p>d. Alteración de la cubierta terrestre</p> <p>e. Alteración de la hidrología</p> <p>f. Alteración del drenaje</p> <p>g. Control del río y modificación del flujo</p> <p>h. Canalización</p> <p>i. Riego</p> <p>j. Modificación del clima</p> <p>k. Incendios</p> <p>l. Superficie o pavimento</p> <p>m. Ruido y vibraciones</p>	<p>a. Urbanización</p> <p>b. Emplazamientos industriales y edificaciones</p> <p>c. Aeropuertos</p> <p>d. Autopistas y puentes</p> <p>e. Carreteras y caminos</p> <p>f. Vías férreas</p> <p>g. Cables y elevadores</p> <p>h. Líneas de transmisión, oleoductos y corredores</p> <p>i. Barreras, incluyendo vallados</p> <p>j. Dragados y refuerzo de canales</p> <p>k. Revestimiento de canales</p> <p>l. Cauales</p> <p>m. Puentes y embalses</p> <p>n. Escolleras, diques, puertos deportivos y terminales marítimas</p> <p>o. Estructuras en alta mar (offshore)</p> <p>p. Estructura de recreo</p>	<p>q. Voladuras y perforaciones</p> <p>r. Desmontes y rellenos</p> <p>s. Túneles y estructuras subterráneas</p> <p>a. Voladuras y perforaciones</p> <p>b. Excavaciones superficiales</p> <p>c. Excavaciones subterráneas</p> <p>d. Perforación de pozos y transporte de fluidos</p> <p>e. Dragados</p> <p>f. Explotación forestal</p> <p>g. Pesca comercial y caza</p> <p>a. Granjas</p> <p>b. Caudería y pastos</p> <p>c. Pisosos</p> <p>d. Industrias lácteas</p> <p>e. Generación energía eléctrica</p>
	a	b	c	d	e																													
a		4			6																													
		2			3																													
b		8	7	3	9																													
		2	7	1	6																													
ACCIONES PROPUESTAS																																		
1. TIERRA	a. Recursos minerales																																	
	b. Material de construcción																																	
	c. Suelos																																	
	d. Geomorfología																																	
	e. Campos magnéticos y radiactividad de fondo																																	
	f. Factores físicos singulares																																	
2. AGUA	a. Continentales																																	
	b. Marinas																																	
	c. Subterráneas																																	
	d. Calidad																																	
	e. Temperatura																																	
	f. Recarga																																	
	g. Nieve, hielo y heladas																																	
3. ATMOSFERA	a. Calidad (gases, partículas)																																	
	b. Clima (micro, macro)																																	
4. PROCESOS	c. Temperatura																																	
	a. Inundaciones																																	
	b. Erosión																																	
	c. Deposición (sedimentación y precipitación)																																	
	d. Solución																																	
	e. Solución (intercambio de iones, complejos)																																	
	f. Compactación y asentamientos																																	
	g. Estabilidad																																	
	h. Sismología (terremotos)																																	
i. Movimientos																																		

Figura 1.1. Matriz de Leopold

En este método se fijan como número de acciones posibles 100, y 88 el número de factores ambientales, con lo que el número de interacciones posibles será de 88 por 100 igual 8800, aunque conviene destacar que, de estas, son pocas las realmente importantes, pudiendo construir posteriormente una matriz reducida con las interacciones más relevantes, con lo cual será más cómodo operar ya que no suelen pasar de 50.

Cada cuadrícula de interacción se dividirá en diagonal, haciendo costar en la parte superior la magnitud, M (extensión de impacto) presidido del signo + o -, según el impacto sea positivo o negativo en una escala de 1 al 10 (asignando el valor 1 la alteración mínima y el 10 a la máxima).

En el triángulo inferior constara la importancia, (intensidad o grado de incidencia) también en escala del 1 al 10. Ambas estaciones serializan desde un punto de vista subjetivo al no existir criterios de evaluador es multidisciplinar, la manera de operar será bastante objetiva en el caso que los estudios que han servido como base presenten un buen nivel de detalle y se haya cuidado la independencia de los componentes de dicho equipo.

El sumatorio por filas nos indicara las incidencias del conjunto sobre cada factor ambiental y por tanto, su fragilidad ante el proyecto. La suma por columnas nos dará una valoración relativa del efecto que cada acción producirá en el medio y por tanto, su agresividad.

Así, la matriz se convierte en un resumen y en el eje del Estudio del Impacto Ambiental adjunto a la misma, que nos sirvió de base a la hora de evaluar la magnitud y la importancia.

Es importante destacar que se deben evitar duplicaciones en las interacciones obtenidas en la matriz, ya que se nos puede presentar la misma interacción con distintos nombres, camuflada como otra distinta haciendo que se estudie por duplicado a una misma interacción.

### ***Lista de chequeo***

Son un método de identificación muy simple, por lo que se usan para evaluaciones preliminares. Sirven primordialmente para llamar la atención sobre los impactos más importantes que puedan tener lugar como consecuencia de la realización del proyecto.

Sobre una lista de efectos y acciones específicas se marcan las interacciones más relevantes, bien por medio de una pequeña escala que puede ir de +2 a -2.

Esta lista irá acompañada de un informe detallado de los factores ambientales considerados, constituyendo en sí el estudio de evaluaciones más que las mencionadas listas.

Existen varios tipos de listas según el grado de detalle que se observe en el estudio de evaluación, según el proyecto de que se trate, según el baremo de evaluación, etc...

### ***Método del CNYRPAB (Departamento de Desarrollo y Planificación Regional de Estado de Nueva York)***

Es un método de identificación que ocasiona un proyecto, obra o actividad.

Se utilizan dos matrices, la primera de las cuales es semejante a la de Leopold, en la que se realizan las condiciones iniciales del ambiente y el estado de los recursos naturales con las posibles acciones sobre el medio.

Se marcan las cuadrículas a las que corresponde un impacto directo y se le califica con un número de orden.

Estos impactos calificados se interrelacionan entre ellos mediante el empleo de una segunda matriz con objetivo de identificarlos impactos indirectos.

Así pues, se destacan los impactos directos e indirectos que produce una determinada acción y también a la inversa, es decir, se pueden analizar las causas que dan lugar a un impacto dado.

Es estático, ya que no se incluye la variable tiempo.

### ***Método Bereano***

Se basa en una matriz para la evaluación de los impactos asociados a las estrategias tecnológicas alternativas. Se compran alterativas tomando como base ciertos parámetros, seleccionados de manera que los efectos diferenciales que las distintas alternativas producirán sobre el Medio Ambiente.

### ***Método de Sorensen***

En método, los usos alternativos del territorio se descomponen en cierto número de acciones, referidas a las condiciones iniciales del área objeto de estudio, determinando las condiciones finales una vez estudiado los efectos, utilizando para ellos varias tablas y gráficos, es decir:

- Una tabla cruzada: usos acciones
- Una tabla cruzada: usos condiciones iniciales
- Un gráfico

## **Sistemas cartográficos**

### ***Superposición de transparentes***

Se trata de la elaboración de mapas de impactos obtenidos matricialmente. Se realizan una superposición de los mismos en los que se señalan con gradaciones de color los impactos indeseables.

### ***Método Mc Hargs***

Es el precursor de la planificación ecológica, mediante el establecimiento de mapas de aptitud del territorio para los diversos usos.

Parte de una descripción ecológica del lugar, tratando de evaluar las posibilidades de ordenación o planificación y las consecuencias de estas sobre el medio

ambiente, preocupándose especialmente de que los procesos biológicos consten como criterios restrictivos y orientadores en la planificación territorial.

Este método consiste en hacer un inventario en relación con las actividades u objeto de localización y se traduce en mapas específicos para cada una de las actividades, que son fundamentalmente agricultura, recreo, silvicultura y uso urbano, atribuyendo valores a los procesos.

Comprobando los usos objetos de localización entre sí, se obtiene una matriz de incompatibilidades y se sintetizan estos datos en un mapa de capacidad o adecuación.

### ***Método Tricart***

El objetivo principal de este método es escoger una serie de datos y conocimientos científicos para comprender la dinámica del medio natural y destacar la zona y factores que pueden limitar determinados usos del territorio.

Se opera mediante la interacción dinámica entre procesos y sistemas previamente identificados, analizados, y localizados.

La base informativa de este método la constituye la cartografía de todos los elementos naturales (relieve, cubierta vegetal, hidrología, etc.), resultando bastante útil para la ordenación de los recursos hídricos.

### ***Planificación Ecológica de M. Falque***

Método similar al ideado por McHarg diferenciándose únicamente en la descomposición más amplia del análisis ecológico del territorio.

### **Análisis del sistema**

Estos tipos de métodos pretenden tener una representación del modo de funcionamiento global de sistema hombre-ambiente.

El análisis sistemático que conlleva, debe definir el objetivo a alcanzar para conseguir la resolución del problema, así como las resoluciones alternativas para alcanzar los objetivos.

Las soluciones alternativas se introducen en un cuadro formalizado que al final nos dará la solución óptima.

#### **1.4 Uso de los sistemas de información geográfica (SIG) en los estudios ambientales**

Al realizar la cartografía de una zona, se mezclan dos conceptos: la situación georeferenciada del dato y la información temática (atributo). Estas dos características, la componente espacial y la información temática asociada, configuran la base para entender los Sistemas de Información Geográfica (Pérez, 2006).

Se han realizado varias definiciones en torno a los SIG. De manera simple, un SIG se puede contemplar como un conjunto de mapas de la misma porción del territorio, donde un lugar concreto tiene la misma localización en todos los mapas incluidos en el sistema de información. Así es posible realizar análisis de sus características espaciales y temáticas para obtener un mejor conocimiento de esa zona. Un SIG se puede considerar esencialmente como una tecnología (un sistema de *hardware* y *software*) aplicada a la resolución de problemas territoriales; presenta capacidades específicas con las siguientes funciones: entrada de información, salida-representación gráfica y cartográfica de la información, gestión de la información espacial y funciones analíticas.

Un SIG puede contener varios modelos de datos de los objetos geográficos: el modelo raster y el modelo vectorial, todos ellos válidos para los mapas formados por puntos, líneas y polígonos, preparados para realizar determinadas funciones. También existen modelos de datos espaciales para realizar mapas tridimensionales o de volúmenes (modelo basado en una red de triángulos irregulares, TIN). De esta forma los SIG son una herramienta perfectamente aplicable para realizar el análisis y la posterior cartografía de los problemas

ambientales y geológicos. El desarrollo de los SIG ha incrementado enormemente la disponibilidad de las técnicas de evaluación ambiental.

Los SIG desde sus inicios se han aplicado en una diversidad de áreas. A continuación se refieren las principales aplicaciones:

Medio ambiente:

- Estudio y manejo de ecosistemas.
- Caracterización de localidades para elección, inspección, estudios de factibilidad y mitigación.
- Modelaje y estudio del efecto de contaminantes y otros estudios espaciales y temporales.
- Manejo y planeamiento ambiental.
- Manejo de Cuencas.
- Monitoreo de la geo-diversidad.
- Manejo de áreas costeras y otras áreas vulnerables.
- Monitoreo de la calidad del agua.

Geología:

- Estudios morfológicos.
- Análisis de estructuras geológicas.
- Análisis de suelos.
- Evaluación de riesgos geológicos.
- Establecimiento de potenciales y pronósticos.

Hidrología:

- Análisis de sistemas de drenaje.
- Monitoreo de los niveles del agua subterránea.
- Monitoreo de la recarga de acuíferos.

- Manejo de cuencas hidrológicas.
- Monitoreo de pozos.
- Modelaje de acuíferos y cuencas.

Planificación y uso del suelo:

- Desarrollo de planes maestros y de uso del suelo.
- Establecimiento de planes de revitalización y reconversión.
- Análisis de tendencias en el ambiente construido.
- Estudio del impacto visual producido por el desarrollo.

Manejo de riesgos:

- Estimación de susceptibilidad de inundaciones.
- Estimación de daños por desastres.
- Estimación de susceptibilidad de deslizamientos.
- Determinación de riesgos sísmicos.

### **1.5 Trabajos de estudios ambientales en Cuba**

Los estudios ambientales de las cuencas hidrográficas, en Cuba se comenzó un trabajo serio a finales de la década del setenta cuando se crea la Comisión Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales (COMARNA) comenzándose el trabajo de protección y conservación de los recursos naturales de estos ecosistemas.

En agosto del año 1997 se constituye en Holguín el Consejo Provincial de Cuencas Hidrográficas, presidido por el gobierno y la delegación del CITMA e integrado por diferentes organismos del territorio; a partir de este momento, se crean los consejos municipales y se inicia una evaluación integral de las cuencas de la provincia con la realización de los diagnósticos de las cuencas existentes, mediante la aplicación de la guía elaborada por el CITMA. Estos análisis

permitieron determinar las cuencas a priorizar de acuerdo a su uso, grado de antropización y la importancia social, económica y ecológica. Estas son: Cauto, Toa, Sagua y Mayarí. Esta última es donde se desarrolla la presente investigación.

El territorio mayaricero posee uno de los hábitats dulce acuícolas de más importancia regional. La cuenca del río Mayarí abarca un área de 1 231 Km<sup>2</sup>, una extensión aproximada de 113 km siendo alimentado por cerca de 120 tributarios entre los que se encuentran: Pontezuelo, Guayabo, Pino, Seco, Frío, Piloto, Naranjo, etc. Divide los macizos de la sierras de Nipe y Cristal formando un extenso plano aluvial comprendido entre la ciudad de Mayarí y su desembocadura en la Bahía de Nipe.

La temática ha sido abordada a nivel internacional por autores como: Emilio Yunin, Salgado Carpio; Juan Manuel Barragón; Vicente Coniza; A. Cedrero; M. Bolos; Pedro Carabias; Julia Carabias; Domingo Gómez Orea y a nivel nacional José Mateo, Eduardo Salinas, Sergio Sigarreta, Manuel Menéndez, José Walquer, Dalia Salabarría, abordando la Gestión Ambiental en variedad de ecosistemas cubanos. En el área se han desarrollado 3 proyectos, uno territorial que permitió diagnosticar las condiciones naturales, ambientales y socioeconómicas del área y otro con colaboración de la ONG Savethe Children que realizó acciones de repoblación en 25 ha de la franja hidrorreguladora del río Mayarí. Actualmente se desarrolla uno con financiamiento del Fondo Nacional del Medio Ambiente (FNMA, CITMA).

En el momento de la investigación, en la Cuenca Hidrográfica del río Mayarí se concluyó la presa Mayarí, con una capacidad de embalse de 600 000 000 de m<sup>3</sup> de agua, que suministrará a la provincia Holguín, Las Tunas y parte de Camagüey mediante el trasvase Este-Oeste. En esta cuenca se implementa una Estrategia Ambiental que responde a los problemas concretos que afectan a su medio ambiente.

## **CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PONTEZUELO**

### **Introducción**

En el presente capítulo se exponen las características generales del municipio Mayarí y en especial río Pontezuelo, teniendo en cuenta que para realizar el estudio geoambiental de la cuenca hidrográfica del río es necesario realizar una evaluación de las condiciones físico geográficas y geológicas del municipio que influyen directamente en las características de las aguas y el suelo lo cual permite determinar las zonas de mayor susceptibilidad y realizar la evaluación ambiental del río Pontezuelo.

### **2.1 Características físico geográficas del área**

#### **2.1.1 Ubicación geográfica**

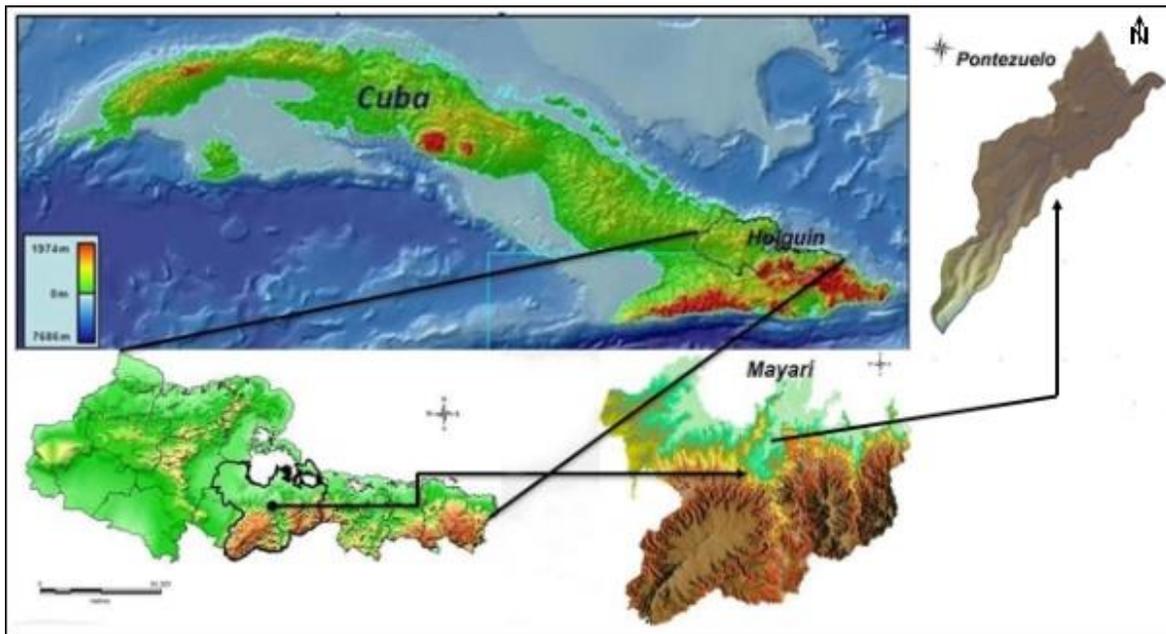
El municipio Mayarí, se localiza en la parte centro–este de la provincia Holguín. Al Norte limita con la Bahía de Nipe y el Océano Atlántico, además de los municipios Banes y Antilla, al Sur con la Provincia de Santiago de Cuba (municipios Julio Antonio Mella, San Luis y Segundo Frente), al Este el municipio Frank País y al Oeste los municipios Cueto y Báguano (Figura 2.1). Su extensión territorial es de 1,310.6 km<sup>2</sup>.

El río Mayarí, con una longitud de 106 km, ocupa el noveno lugar en el país y es el mayor de la provincia Holguín. Es navegable en sus últimos 20 km y su parte más ancha mide 100 m. En él vierten sus aguas 19 afluentes.

El sistema hídrico Pontezuelo se encuentra al noroeste del poblado de Mayarí; está formado por el río Pontezuelo el cual tiene un curso permanente, y dos afluentes de drenaje temporal. Su drenaje es en dirección noreste con una longitud de 6 km aproximadamente; el mismo se extiende en la cuenca de la parte inferior del río Mayarí.

El río Pontezuelo forma una subcuenca hidrográfica dentro de la cuenca hidrográfica del río Mayarí. Se enmarca desde el punto de vista cartográfico entre las siguientes coordenadas planas (Sistema Cuba Sur):

X: 613863; Y: 215601 – X: 621098; Y: 224172.



**Figura 2.1. Ubicación Geográfica esquemática del área de estudio**

Desde el punto de vista físico geográfico, la subcuenca del río Pontezuelo se enmarca dentro de la Montañas Nipe-Cristal y Llanura de Nipe. Desde el punto de vista político-administrativo, se ubica en el municipio Mayarí, provincia Holguín.

### 2.1.2 Clima

Según los datos del Atlas Nacional de Cuba el clima de la región es tropical húmedo, distinguiéndose de acuerdo a la distribución de las precipitaciones dos períodos: seco y húmedo; el primero se extiende de noviembre-abril y el segundo de mayo-octubre; sin embargo este comportamiento en los últimos 10 años (2002 a 2013) no se ha comportado así, encontrándose picos de precipitaciones por encima de la media en algunos años en noviembre, diciembre, enero e incluso en

abril, mientras que ha habido mínimas de precipitaciones por debajo de la media en los meses húmedos, todo esto como consecuencia del cambio climático que afecta a todo el planeta. La temperatura media anual para la zona de estudio es aproximadamente de 20 a 25 C° en la parte central y en la parte norte es de 26 C° y más.

La precipitación anual oscila entre valores de 1600 mm a 1900 mm en la porción centro y sur, en la norte de 1200 mm y 1400 mm. Estos valores medios tomados del atlas, por las causas anteriormente planteadas, se han comportado diferentes en los últimos 10 años, con valores medios para la parte centro-sur entre 39.04 mm y 166.66 mm, con picos que solo han alcanzado en el periodo evaluado 507.2 mm para una probabilidad del 70 % sin tener en cuenta los eventos extremos (ciclones) ocurridos en el período. De estos valores se observan que los máximos de precipitaciones se encuentran en el período seco (noviembre a abril con valores de 349.3 mm, 374.9 mm y 507.2 mm) por encima de los máximos del período húmedo (mayo a octubre con solamente 313.0 mm), mientras que los mínimos y promedios a pesar de encontrarse los mayores valores en el período húmedo no se diferencian mucho sus valores (0.00 mm - 7.20 mm y 79.97 mm - 108.42 mm respectivamente).

La evaporación media anual es de 400 mm a 1700 mm. El escurrimiento superficial en la parte central y sur es de 15 a 30 l/s/km y al norte de 5 a 20 l/s/Km.

### **2.1.3 Vegetación**

La vegetación presente en el área es variada. En la parte central hay predominio de bosques aciculifolios con vegetación arbórea, arbustiva renovada en los talados con pinos cubensis y bosques planifolios predominando con mayor frecuencia en los desfiladeros; mientras que en el sur hay bosques planifolios con vegetación arbórea y arbustiva renovada en los talados y ocasionalmente con cambios rápidos en los sectores con predominio de especies perennifolios en las montañas y montículos pedregosos.

En el norte hay algunos árboles maderables como caoba, cedro, júcaro entre otros, así como frutales como mango, la naranja, el anoncillo y otros. También se destacan los cultivos menores como plantaciones de frutales, viandas, hortalizas y pastos para la ganadería.

#### **2.1.4 Orografía**

Esta región representada por todo el municipio Mayarí, está caracterizada por su diversidad y complejidad, existiendo llanuras fluviales al norte, pero sobre todo con el predominio de un relieve montañoso constituido casi en su totalidad por el sistema orográfico o grupo montañoso Nipe-Cristal-Baracoa al sur.

También hay predominio de zonas llanas en los valles de los principales ríos, las que se solapan con la llanura litoral norte, siendo la llanura aluvial más extensa la de la cuenca del río Mayarí y en menor medida Pontezuelo. En ellas se presentan zonas de inundación actual y terrazas elevadas con meandros y cauces abandonados levantados lo que demuestra una dinámica neotectónica de levantamiento. Las cotas en estas llanuras aluviales oscilan entre 0.00 a 100 m, las pendientes entre 0° a 15°, la disección vertical de 0.00 a 90.00 m/ha, disección horizontal de 20.00 m/ha a más de 380.00 m/ha y la disección total de 0 m/ha a 150 m/ha.

Hacia la parte sur el relieve pasa de ondulado a montañoso, va desde una zona premontañosa (100.00 m a 254.00 m) hasta elevaciones con más de 254.00 m y hasta los 1238.20 m. Las pendientes en esta parte van desde 0° a 70°, la disección vertical 0.00 m a 200.00 m, disección horizontal de 0.00 m/ha a más de 120.00 m/ha y la disección total de 0.00 m/ha a 460.00 m/ha. Esta zona montañosa se caracteriza por tener forma de colinas medias a altas con cimas redondeadas en las elevaciones premontañosas, mesetas lateríticas altas (Pinares de Mayarí al oeste), así como cuchillas y algunos picos bajos.

Los parte-aguas en la parte oeste representan en sí una serie de elevaciones que forman un cerro o grupo de colinas constituida por sedimentos arcillosos-

carbonatados del mioceno y por el este existe como parte-aguas un banco pre-montañoso fuertemente diferenciado, que lo forman rocas calcáreas del oligoceno y por las serpentinitas del cretáceo.

### **2.1.5 Red Hidrográfica**

Las características del relieve y el régimen de las precipitaciones han favorecido en la formación de una densa red hidrográfica que corre generalmente de sur a norte. Dentro de las principales corrientes fluviales se destacan los ríos Mayarí con sus afluentes Guayabo, Colorado, Seboruquito y Pontezuelo, los ríos Guaro, Nipe y Levisa con sus respectivos afluentes, así como río La Ceiba, Arroyo Blanco y Cajimaya

La red hidrográfica que predomina es dendrítica, el nivel de los ríos cambia en dependencia de las precipitaciones. Los niveles más bajos se observan en el período de seca, noviembre-abril y los más elevados en el período de lluvias, mayo-septiembre.

Las características generales del escurrimiento en la zona están basadas en crecidas extremadamente rápidas, con descensos más bien lentos, cuestión esta que se ha regulado con las presas construidas como parte del Tránsito este-Oeste como Mayarí, Seboruquito y Esperanza, que se unen a otras existentes como Nipe y Birán, las que desvían los excesos de agua por túneles, canales y puentes canales hacia el occidente del municipio para ser aprovechados en la agricultura.

El drenaje superficial de la zona tiene una dirección sureste-suroeste, noreste-noroeste, está representado principalmente por el río Mayarí (arteria principal), el cual presenta varios afluentes como, son el río La Ceiba, el río Guayabo y el río Pontezuelo, que tienen un curso permanente, así como otros afluentes de carácter temporal que se encuentran distribuidos en toda la parte sur de la región de estudio.

Se pueden distinguir cuatro sistemas hidrográficos, aunque como ya se expresó la principal arteria fluvial es el río Mayarí el cual drena en dirección meridional (sur a norte). Los principales sistemas son:

- Sistema hidrográfico del río Mayarí.
- Sistema hidrográfico del río La Ceiba.
- Sistema hidrográfico del río Guayabo.
- Sistema hidrográfico del río Pontezuelo. (Figura 2.2)

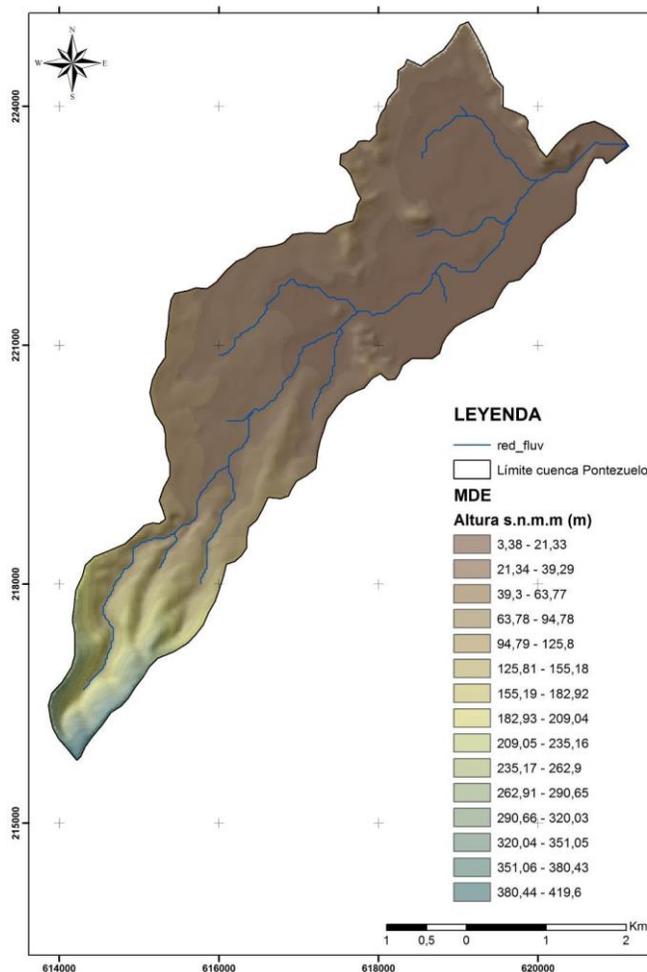


Figura 2.2. Mapa de red fluvial del río Pontezuelo

### **2.1.6 Desarrollo industrial y agrícola**

Dentro de las industrias que más se destacan en la zona se encuentran el aserrío de Mayarí que suministra madera a toda la provincia, y un centro de elaboración de alimentos.

En cuanto a la agricultura, se cultivan frutos menores, viandas, hortalizas y otros productos del agro, además en las zonas montañosas hay sembrados de café, frutos menores y árboles maderables. Se está fomentando la siembra dando así uso al agua del Trasvase Este-Oeste. En cuanto a la ganadería se destaca la cría de ganado vacuno y el equino, además de carneros, porcinos, aves, entre otros.

La minería dejó de ser un renglón importante dentro del municipio al salir de operaciones la planta de níquel "René Ramos Latour", sin embargo existen importantes reservas en Pinares de Mayarí que servirán para la reactivación de esa actividad en el futuro, incluyendo la cromita de esa misma zona con magníficas propiedades como cromita metalúrgica y cromitas refractarias.

## **2.2 Caracterización geológica de la cuenca**

### **2.2.1 Características geológicas**

Trabajos precedentes muestran la alta complejidad desde el punto de vista geológico que posee la región de estudio, en la misma afloran formaciones geológicas de las más diversas edades, composición litológica y génesis, constituyendo claras evidencias de un desarrollo geológico sumamente complejo, que se refleja en una elevada complejidad litológico-estratigráfica y tectónica.

Según Iturralde-Vinent en Cuba se pueden reconocer dos elementos estructurales principales: El cinturón plegado y El neoaútóctono.

El cinturón plegado está integrado por unidades continentales y oceánicas. Sólo la segunda de estas unidades aflora en la región de estudio hacia el sur ocupando un área significativa, en las premontañas y elevaciones de la sierra Nipe-Cristal-

Baracoa, la que se encuentra representada por los siguientes elementos estructurales:

- Ofiolitas septentrionales.
- Cuencas transportadas (piggy back) del Campaniense tardío - Daniense.
- Arco de isla volcánico del paleógeno o neocarco.
- Cuencas transportadas (piggy back) del Eoceno Medio - Oligoceno.

El Neoaútóctono, está representado en el área, compuesto por secuencias del Post- Eoceno.

### 2.2.2 Estratigrafía

En la zona afloran las siguientes formaciones geológicas y complejos litológicos. Las rocas de la asociación ofiolítica que ocupan el 47.9 % de la superficie de la región de estudio y que está representada en casi toda su totalidad por peridotitas serpentinizadas y algunos cuerpos de gabros y de gabro-diabasas asociados; afloran además al sur en los límites con la provincia Santiago de Cuba la formación Yateras, mientras por el norte a la Sierra de Nipe-Cristal las formaciones Jucaro, Bitirí y Camazán. Más al norte (noroeste y noreste) sobre esta secuencia yace la formación Dátil; mientras que en los valles de los principales ríos afloran depósitos. Sobre las peridotitas serpentinizadas en la meseta de Pinares de Mayarí y en la Sierra Cristal se desarrollan potentes espesores de depósitos eluviales y deluvio-eluviales lateríticos ferroniquelíferos.

- Asociación ofiolítica: ( $\pi\sigma$ - $\Gamma$ , J<sub>3</sub>-K?)

Representada por peridotitas serpentinizadas y serpentinitas, entre las que se encuentran imbuidos tectónicamente cuerpos de gabros pseudoestratificados del complejo cumulativo y gabro-diabasas. Estas secuencias están muy tectonizadas, observándose dentro de ellas varios sistemas de grietas, fallas imbricadas y escamas tectónicas con planos que pueden aparecer con yacencia baja a casi horizontal y entre estos planos puede aparecer milonitización y minerales del

grupo serpentínico (crisotilo-asbesto). Estas características influyen en los caudales muy bajos de aguas subterráneas, siendo solamente mayores en las zonas de fallas y en los gabros con caudales algo superiores a 1.0 L/s.

La edad de esta asociación es Jurásico superior? al Cretácico inferior.

- Formación Yateras: (yt, e<sub>8-n1</sub>)

Formada por una alternancia de calizas biodetríticas, detríticas, y calizas biógenas de grano fino a grueso, estratificación fina a gruesa o masivas, duras, de porosidad variable, a veces aporcelanadas que frecuentemente contienen grandes Lepidocyclinas. Coloración por lo general blanca, crema o rosácea, menos frecuentemente carmelitosa. Yace concordantemente sobre la formación Maquey y no se conocen en la región de estudio otras correlaciones. Los caudales de agua pueden ser muy altos por su extenso desarrollo cársico pudiendo superar los 50 L/s.

Su edad es Oligoceno Inferior - Mioceno Inferior parte baja y su potencia oscila entre 160 y 500 m.

- Formación Bitirí: (bt, e<sub>9-n1</sub>)

Aflora al noroeste de la zona y está formada por calizas de matriz fina, duras, compactas, carsificadas, que contienen ocasionalmente fragmentos de corales y grandes Lepidocyclinas. Colores amarillo-grisáceo a carmelitoso. Yace discordantemente sobre la formación Mucaral y las secuencias ofiolíticas. Está cubierta discordantemente por la formación Río Jagüeyes. Son depósitos biohéricos, con abundantes algas, y periarrecifal, que contiene asociaciones bentónicas. La influencia terrígena es muy subordinada, observándose en algunas muestras escaso material volcánico redepositado y cuarzo detrítico, en dependencia de las áreas de suministro. Los caudales de aguas en esta secuencia por su intenso desarrollo cársico pueden estar por encima de los 50 L/s.

La potencia aproximada de 40 m o más y la edad es Oligoceno Superior al Mioceno Inferior.

- Formación Dátil (dt, n<sub>9</sub>-Q<sub>1</sub>)

Aflora en forma de colinas al norte y noroeste de la ciudad de Mayarí, estando formada por depósitos proluvio-deluviales de fanglomerados polimícticos masivos, poco rodados y seleccionados, débilmente cementados y de color rojizo abigarrado. En la región yace discordantemente sobre la formación Río Jagüeyes, destacándose por colinas que le dan a la llanura norte un aspecto ondulado. Por encontrarse en forma de parches aislados no existe en ella desarrollo de aguas subterráneas.

Su potencia por datos de pozos es de 34 m y de acuerdo a su posición estratigráfica se le ha asignado una edad Plioceno Superior- Pleistoceno basal.

- Formación Júcaro (jcr. N1(3)-N2)

Bordes de la Bahía de Nipe. Calizas, por lo general arcillosas, que se desagregan en pseudoconglomerados, calcarenitas, margas, aleurolitas a veces con gravas polimícticas, arcillas yesíferas, localmente aparecen dolomitas. Contiene horizontes fosilíferos. Puede existir un conglomerado basal. Colores amarillo y crema que, por alteración pasan a rojo y violáceo. Yace concordantemente o con parcial discordancia sobre la formación Río Jagüeyes y discordantemente sobre las formaciones Camazán, Gibara y Sabaneta.

Su edad es Mioceno Superior- Plioceno Inferior.

- Formación Camazán (cz. P3-N1(1))

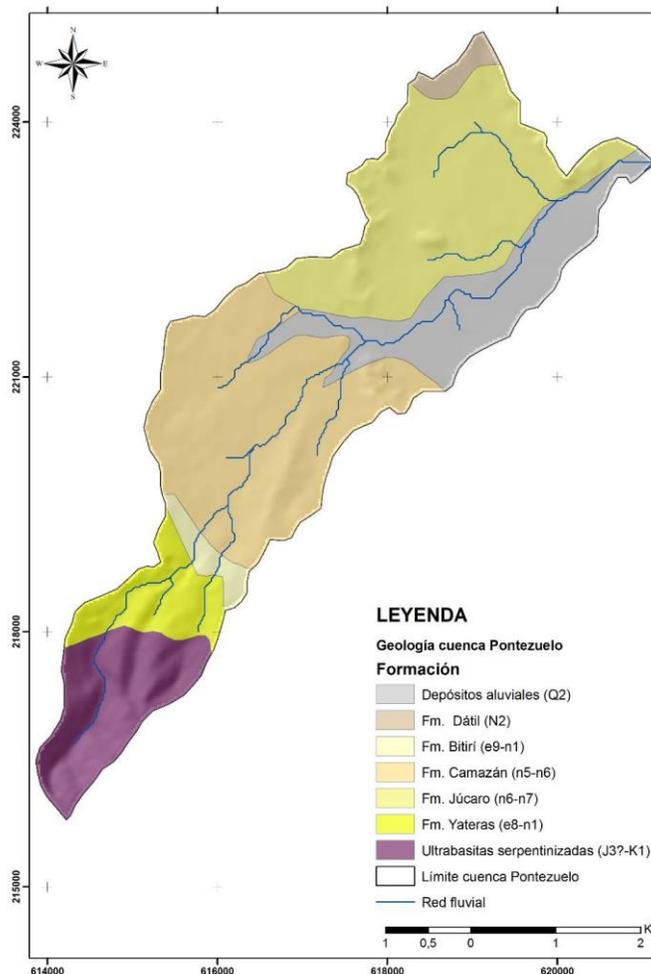
Calizas coralino-algáceas (biolititas), calizas biodetríticas a veces arcillosas, calcarenitas, calciruditas, aleurolitas calcáreas, con intercalaciones de margas y arcillas, ocasionalmente yesíferas. Coloración variable, amarillo, crema, carmelita y gris. Es correlacionable con las formaciones Báguanos, Bitirí, Maquey, Sevilla Arriba y Yateras de Cuba Oriental.

Su edad es Oligoceno Superior- Mioceno Inferior.

- Corteza de intemperismo ferro-niquelífera (al Q<sub>1-2</sub>)

Se desarrolla sobre las peridotitas serpentinizadas y serpentinitas cuando el relieve lo permite (ondulado a penillanuras a alturas superiores de 200 m). Son de color rojo ladrillo u ocre, está formada por 4 horizontes bien definidos, aunque en ocasiones pueden estar ausentes algunos de estos, destacándose en el corte de abajo hacia arriba: 1) Serpentinitas lixiviadas, 2) Nontronitas u ocre estructurales, 3) Ocre inestructurales y 4) Perdigonos.

La potencia puede ser desde algunos centímetros hasta más de 20 m y su edad puede ir desde el Pleistoceno al Holoceno.



**Figura 2.3. Mapa Geológico de la cuenca Pontezuelo**

### 2.2.3 Tectónica

Los grábenes de los ríos Mayarí y Pontezuelo, se caracterizan por presentar en las partes altas río arriba, un predominio de las peridotitas serpentínizadas con diferentes grados de serpentización y serpentinitas esquistosas fundamentalmente a ambos lados de los planos de las escamas tectónicas subhorizontales.

Hay presencia de fallas con direcciones noreste y noroeste, más antiguas originadas durante la orogenia alpina y otras más jóvenes neotectónicas de dirección norte-sur (meridionales) y este-oeste (latitudinales) (Figura 2.4).

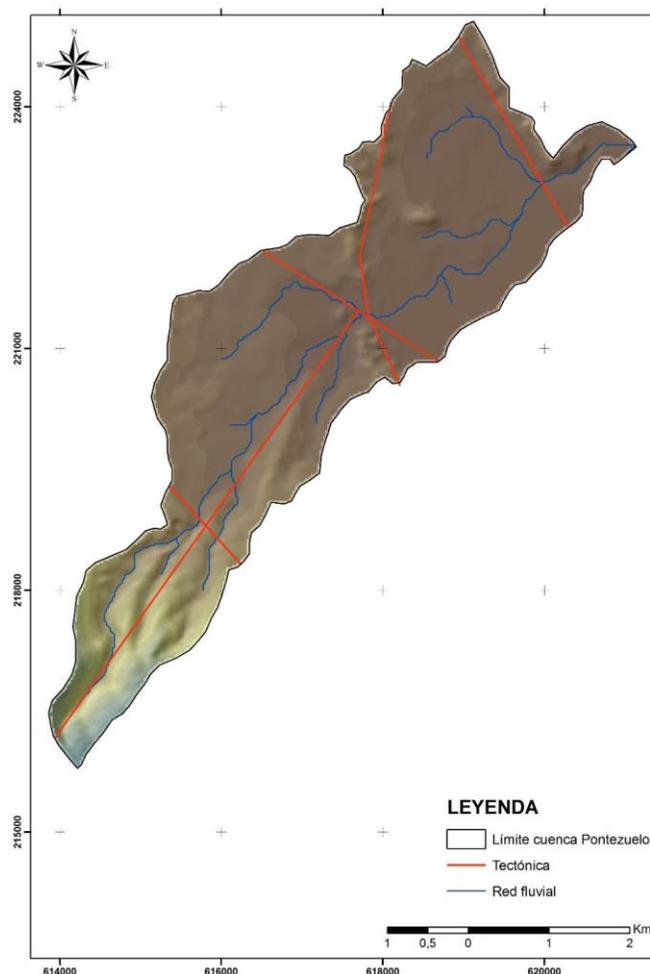


Figura 2.4. Mapa tectónico de la cuenca Pontezuelo

Pueden presentarse, como ya se mencionó, las escamas con diferentes patrones de agrietamiento, así como la inclusión de rocas metamórficas entre los planos de fallas (milonización y serpentización), que pueden alcanzar diferentes espesores.

#### **2.2.4 Características geomorfológicas**

La zona de estudio se encuentra en su totalidad dentro de una zona donde predominan los procesos denudativos y denudativos-acumulativos.

Existe una relación directa entre las litologías, estructuras geológicas y movimientos neotectónicos con la zonación geomorfológica (Anexos 4 y 5).

La zona más baja del área presenta una textura fina y coincide principalmente con los depósitos aluviales de los ríos, constituyen sedimentos de grandes espesores de variada composición, la red de drenaje es escasa y representa sólo una pequeña área al noroeste. La presencia de ríos encajonados con llanuras de inundación elevadas con cauces de meandros abandonados sobre esta demuestra una neotectónica activa de levantamiento para la zona, lo que provoca un rejuvenecimiento de los ríos y una reactivación de la erosión de fondo de estos.

Las peridotitas serpentizadas, coincide con la zona más elevada, predominan los procesos denudativos y denudativos-acumulativos; afloran las rocas de la asociación ofiolítica. Se caracteriza por constituir una zona elevada erosionada. La densidad del drenaje es alta, presentando altos valores de disección vertical, lo cual denota movimientos actuales de elevación de los bloques, acompañado por intensos procesos erosivos sobre todo en el curso del río.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE ESTUDIO GEOAMBIENTAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA PONTEZUELO**

### **Introducción**

En el presente capítulo se dan a conocer los trabajos realizados, que corresponden con las etapas de la investigación (búsqueda bibliográfica, análisis de la información, trabajos de campo y trabajos de gabinete). Se explica la metodología utilizada en la evaluación geoambiental, implementando un S.I.G. que permite la obtención e interpretación de los mapas de la calidad física y química de las aguas del río Pontezuelo.

### **3.1 Etapas de trabajo**

Para darle cumplimiento a los objetivos propuestos, la investigación se dividió en tres etapas fundamentales. Estas son:

- Etapa preliminar. Revisión y análisis de la información existente.
- Etapa de trabajos de campo.
- Etapa de digitalización y procesamiento de la información. Utilización de software especializado.

### **Revisión y análisis de la información existente**

La revisión bibliografía constituye la etapa previa de toda investigación, en la misma se recopila y revisa toda la información sobre el área de los trabajos. En la presente investigación se realizaron búsquedas en el centro de información del ISMM, se consultaron todos los informes existentes analizando las características geológicas, hidrogeológicas, y medioambientales de la región de estudio, teniendo en cuenta los productos cartográficos existentes.

En general se revisaron libros, revistas, trabajos de Diplomas, tesis de Maestría y Doctorales, además de búsquedas en Internet.

Se visitaron las Instituciones Gubernamentales del Municipio como Planificación Física, Poder Popular, Delegación de la Agricultura, Geocuba, Empresa Constructora de Obras Hidráulicas (ECO) y Recursos Hidráulicos; fuera del municipio también se visitaron instituciones como la dirección provincial del CITMA, y el Fondo Geológico del Departamento de Geología del ISMM en Moa. Como resultado se obtuvo la información necesaria para la investigación que incluye la caracterización físico-geográfica y geológica del área de estudio así como las bases cartográficas a escala 1:25 000, necesarias para el estudio geoambiental.

### **Trabajos de campo**

El objetivo fundamental de esta etapa es la localización y caracterización de los focos contaminantes. La investigación se realizó a través de tres itinerarios geológicos para valorar la zona de estudio. Durante el levantamiento a escala 1:25 000 se caracterizaron los principales focos y fuentes de contaminación que afectan la calidad físico-química y bacteriológica de las aguas subterráneas y superficiales en el área de estudio. Además de ello se detectaron algunos elementos ambientales que condicionan la situación ambiental del área, los cuales se exponen a continuación:

- El incremento de la población urbana, con una infraestructura insuficiente.
- La no realización de inversiones ambientales, fundamentalmente en la industria y los sistemas de tratamiento de residuales urbanos, los que determina el empleo de las corrientes superficiales como receptoras crudas o parcialmente tratados, lo que frecuentemente llega a las cuencas hidrográficas y zona costera.
- La utilización de tecnología obsoleta, la indisciplina tecnológica, así como la no introducción de práctica de producción más limpia en la mayoría de las instalaciones de la industria, salud y agroalimentarias.

- La práctica insuficiente al rehúso de los residuos de la actividad agroalimentaria, del turismo, de hospitales y domésticos.

### **Procesamiento de la información**

A partir de los resultados obtenidos se procesó la información mediante metodologías existentes al efecto que permitieron la clasificación de las aguas, así como el empleo de diferentes softwares que permitieron cumplir el objetivo propuesto.

Se utilizaron los software: Didger, surfer y ArcGIS, eficientes y potentes programas que proporcionan técnicas avanzadas de digitalización; se puede usar para convertir mapas, gráficos, fotos aéreas o cualquier otro tipo de información en un formato digital versátil que puede ser utilizado con otro software de Sistemas de Información Geográfica.

Toda la información se localiza en un proyecto, el cual está formado por diferentes documentos como vistas, tablas, diagramas o gráficos y presentaciones. La información integrada en el proyecto se almacena en archivos con diferentes extensiones que luego son exportados y cargados por los demás software donde termina el proceso de digitalización de la información.

La estructura final del proyecto SIG que permita el análisis de los factores que influyen en la contaminación del río Pontezuelo, está conformado por varios mapas temáticos de primer orden relacionados con contaminación del río como:

- Mapa de focos contaminantes.
- Mapa de red fluvial.
- Mapa geológico.
- Mapa de tectónico.
- Mapa de pendiente del terreno.

- Mapas de las propiedades físico-químicas de las aguas (sodio, magnesio, cloro libre, nitritos,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$ , sulfatos, potasio y solidos disueltos totales).

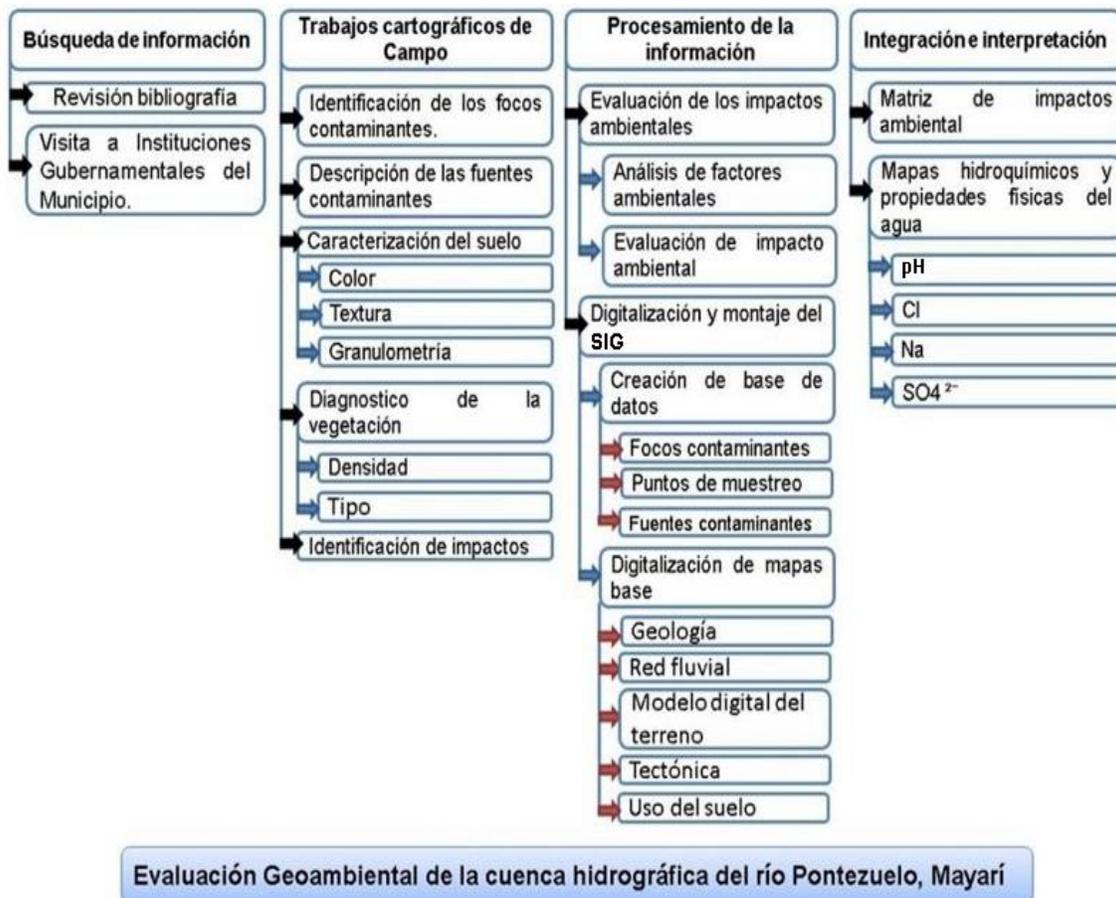


Figura 3.1. Flujograma de las etapas de la investigación

### 3.2 Evaluación de impactos ambientales

**Análisis de los impactos ambientales.** Para este análisis se realizaron las siguientes tareas con vista a obtener una mejor caracterización de los impactos (Pérez, 2006):

- Identificación y caracterización de los focos y fuentes de contaminación.
- Análisis de los factores ambientales afectados por la contaminación del río.
- Identificación de los principales impactos ambientales: Para la identificación de los impactos se realizaron visitas marcha de reconocimiento a lo largo del

cauce del río, anotando los más significativos desde el punto de vista de la calidad ambiental, haciendo uso además de las consultas de expertos, las encuestas y entrevistas, listas de revisión, escenarios comparados.

- Evaluación de los impactos ambientales: La identificación de los impactos ambientales que se producen vertimiento de residuales sólidos y líquidos, nos permitió la evaluación de cada uno, teniendo en cuenta los parámetros definidores de impactos propuestos por el CITMA (2008) y su ponderación (Tabla 3.1), se procede asignarle un valor a cada impacto, en dependencia de los valores asignados según la Fórmula (3.1)

$$I T = Mg + I + S + R + O + D + C$$

Dónde: Mg Magnitud, I Importancia, S Sinergismo, R Reversibilidad, O Ocurrencia, D Duración, C Certeza. Estos indicadores alcanzan un valor máximo de 10 puntos que luego se multiplicará por los siete indicadores para un total de 70 puntos total, que finalmente se promedia para ubicarlos en cada una de las categorías propuestas en términos de: compatibles, moderados, severos y críticos.

### **Parámetros definidores de impactos teniendo en cuenta la naturaleza de los impactos**

Es necesario al tratar sobre los impactos ambientales diferenciar desde el principio los efectos que ocasiona al factor ambiental, los que pueden ser impactos negativos y positivos.

- Impactos positivos: Representan una mejoría en la calidad intrínseca de los componentes del medio físico, contribuyendo a aumentar su complejidad orgánica – funcional y su estabilidad zonal.
- Impactos negativos: Suponen un empeoramiento de las condiciones naturales del medio ambiente, favoreciendo su desestabilización y conduciéndolo hacia una mayor simplicidad funcional concretada en su disminución de la riqueza biológica y de las relaciones ecológicas de autorregulación.

En cuanto a la **Magnitud de los impactos ambientales**. Se considera una medida de grado, extensión o escala de la alteración ambiental, es una cifra eminentemente objetivo y debe predecirse en función de las características y magnitud de la acción. Por su magnitud los impactos se catalogan en la siguiente escala:

- Leve: Los que tienen un efecto de consecuencias bajas sobre el medio ambiente sin originar cambios naturales ni funcionales.
- Moderado: Los que originan un cambio funcional o natural del ecosistema.
- Fuerte: Los que originan un cambio natural y funcional del medio ambiente de manera más fuerte.

Desde el punto de vista de su **Importancia o Extensión**. Los impactos presentan una diferente importancia en función de la combinación de las características que les afecten, eminentemente subjetivo, ligado a la percepción social del impacto. Relacionado con el ámbito espacial del impacto puede ser:

- Local: Cuando la extensión afectada es puntual y no rebasa los límites del Área de estudio establecida.
- Zonal: Cuando el impacto se difunde a un área mayor rebasando los límites del Área de estudio.
- Regional: Cuando el impacto tiene implicaciones regionales.

Para identificar su **Sinergismo**. La sinergia es un carácter que acompaña a un impacto cuya presencia refuerza o desencadena el efecto de otros. Por su sinergismo los impactos se dividen en:

- Con sinergias catastróficas: Su efecto es tan considerable que puede causar catástrofes.
- Con sinergias importantes: Causa un efecto considerable.
- Con sinergias poco importantes: Causa un efecto no muy considerable.

- Sin sinergias transparentes: Su efecto no es reconocible.

Hay que tener presente su **Reversibilidad**. Esta tiene en cuenta la capacidad de asimilación del medio ambiente y su auto recuperación.

- Del ecosistema como unidad integral.

En dependencia de su **Ocurrencia**. Por su ocurrencia los impactos pueden ser:

- Directos o primarios: En la alteración que sufre un atributo o elemento ambiental por la acción directa del hombre sobre dicho atributo. Generalmente son fáciles de identificar, describir y valorar puesto que son los efectos directos del proyecto o acción surgen casi siempre en un lapso a tiempo de corto plazo después de la acción.
- Indirectos o Secundarios: Se derivan de los anteriores y no son fáciles de identificar, ni de controlar, surgen con el discursar del tiempo o sea, a largo plazo, a veces tienen más entidad que los primarios, causando los verdaderos problemas.
- Acumulativos: Son aquellos que inicialmente no se detectan sus efectos, pero como su nombre indica, se van acumulando con el tiempo hasta alcanzar concentraciones tales que acusan serios problemas.

En cuanto a su **Duración**. Esta tiene en cuenta el tiempo que demora en desaparecer el efecto producido por la acción del hombre.

- Corto plazo: Cuando se produce de inmediato a la realización de la acción.
- Mediano plazo: Cuando aparece después de algún tiempo de realizada la acción (1 año).
- Largo plazo: Cuando el efecto aparece mucho tiempo después de realizado la acción del hombre (2 a 5 años).

Teniendo presente su **Certeza**. Está determinada por la probabilidad de ocurrencia de un impacto por lo que puede ser:

- Poco probable: Cuando hay pocas posibilidades de que el impacto ocurra por la actividad humana.
- Probable: Cuando hay seguridad de que el impacto ocurra por la actividad humana.
- Inevitable: Cuando el impacto está presente irremediablemente, es decir ocurre porque la acción del hombre lo activa o acelera.

**Tabla 3.1. Ponderación de los Impactos**

Naturaleza (Na)	Positivo (+) / Negativo (-)
Magnitud (Mg)	Leve: 1,2,3
	Moderado: 4,5,6
	Fuerte: 7, 8,9,10
Importancia (I)	Local : 1,2
	Zonal : 3,4,5
	Regional: 6,7,8
	Global: 9,10
Sinergismo (S)	Sin sinergias aparentes: 1
	Con sinergias poco importantes: 2,3,4
	Con sinergias importantes: 5,6,7
	Con sinergia catastrófica: 8,9,10
Reversibilidad (R)	Reversible : 1,2
	Reversible con medidas: 3,4,5,6,7
	Irreversible: 8,9,10
Ocurrencia (O)	Directos o primarios: 1,2,3
	Indirectos o secundarios: 4,5,6
	Acumulativos: 7,8,9,10
Duración (D)	Corto plazo: 1,2,3
	Mediano plazo: 4,5,6
	Largo plazo: 7,8,9,10
Certeza (C)	Poco probable: 1,2,3
	Probable: 4,5,6
	Inevitable: 7,8,9,10
Impacto Total (IT)	7 70

La evaluación del impacto total tiene como finalidad llegar a clasificar los impactos ambientales en términos de (Tabla 3.2):

**Tabla 3.2. Escala de clasificación de los impactos del CITMA (2008)**

<b>RANGO</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
IT Menor 18	IMPACTO COMPATIBLE
IT 18 – 29	IMPACTO MODERADO
IT 30 – 35	IMPACTO SEVERO/ MUY BENÉFICO
IT Mayor 35	IMPACTO CRÍTICO/EXTREMADAMENTE BENÉFICO

1. Impacto Compatible: Son los que tienen muy poca entidad, si su efecto es perjudicial al cesar las causas que lo producen, en poco tiempo se restablecen las condiciones medio ambientales, originales, con el concurso de los procesos regeneradores. Se clasifican en leve, local, directo, primario, reversible, sin sinergias, se recupera a corto plazo, poco probable y presenta un valor menor que 18 de impacto total.

2. Impacto moderado: Produce daños de poca magnitud, pero su importancia comienza a ser considerable. Tras el mismo las condiciones físicas originales se restablecen con el solo concurso de los mecanismos naturales del medio, aunque la recuperación es larga. Se clasifica en leve, regional en cierto grado, primario, reversible con dificultad, sin sinergias aparentes, se recupera a mediano plazo y es probable, alcanza un valor de 18-29 de impacto total.

3. Impacto severo: Se trata de impactos de magnitud notable y de gran importancia, cuando cesa la causa que lo origina, la recuperación de las condiciones iniciales del medio, se hace muy difícil y requiere a veces de la adopción y puesta en prácticas de medidas correctoras de sus efectos. Se clasifica con moderada intensidad, regional, indirecto o secundario, reversible con dificultad y medidas correctoras, con algunas sinergias, poco importantes, muy probable que se produzca, alcanza un valor de impacto total entre 30 y 35.

4. Impacto crítico: Es el impacto que por su enorme magnitud e importancia, supera el denominado Umbral del Impacto, que es el límite a partir del cual se considera que el deterioro es irreversible, la acción capaz de producirlo provoca la destrucción completa de elementos o recursos naturales que son piezas claves en el funcionamiento del paisaje, imponiendo en su lugar una dinámica regresiva continuamente adversa al establecimiento de las condiciones que posibilitarán su restitución. Se clasifica en fuerte, global o regional, acumulativo, irreversible, a largo plazo se mantiene, con sinergias importantes o catastróficas, inevitable y el impacto total alcanza un valor mayor que 35,5. Propuestas de un plan de medidas de mitigación para minimizar la contaminación del río Pontezuelo: Esta fase se considera la más importante, en ella se elabora un conjunto de medidas preventivas, correctoras y de mitigación que pueden generalizarse para atenuar los efectos negativos.

Estas medidas se relacionan con plazos establecidos en función del menor tiempo de permanencia de los efectos negativos sobre los factores del medio afectado y se agrupan en:

- Medidas a corto plazo: Se aplicarán inmediatamente después de presentarse el impacto.
- Medidas a mediano plazo: Serán aplicadas en el transcurso de la ejecución de la obra.
- Medidas a largo plazo: Se ejecutarán en un período mayor de tiempo y serán fundamentalmente de mantenimiento.

### **3.3 Cartografía digital aplicando un SIG**

Implementación del Sistema de Información Geográficas (SIG).

El Sistema de Información geográfico (SIG) particulariza un conjunto de procedimientos sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos del mundo real que tienen una representación gráfica y que son susceptibles de algún tipo de medición respecto a su tamaño y dimensión relativa a la superficie de la

tierra. A parte de la especificación no gráfica el SIG cuenta también con una base de datos gráfica con información georeferenciada o de tipo espacial y de alguna forma ligada a la base de datos descriptiva. La información es considerada geográfica si es medible y tiene localización.

En un SIG se usan herramientas de gran capacidad de procesamiento gráfico y alfanumérico, estas herramientas van dotadas de procedimientos y aplicaciones para captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información georeferenciada.

La mayor utilidad de un sistema de información geográfico está íntimamente relacionada con la capacidad que posee éste de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales, esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan aún más información para el análisis.

El SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, administración, manipulación, análisis, modelación y graficación de datos u objetos referenciados espacialmente, para resolver problemas complejos de planeación y administración. Una definición más sencilla es: Un sistema de computador capaz de mantener y usar datos con localizaciones exactas en una superficie terrestre (Galán, 2011). Un sistema de información geográfica, es una herramienta de análisis de información. La información debe tener una referencia espacial y debe conservar una inteligencia propia sobre la topología y representación.

A todo objeto se asocian unos atributos que pueden ser:

- Gráficos
- No gráficos o alfanuméricos.

### **Atributos gráficos**

Son las representaciones de los objetos geográficos asociados con ubicaciones específicas en el mundo real. La representación de los objetos se hace por medio de puntos, líneas o áreas.

Ejemplos del proyecto:

Punto: pozos

Línea: alineaciones, red fluvial

Área: litologías, complejos acuíferos.

### **Atributos no gráficos**

También llamados atributos alfanuméricos. Corresponden a las descripciones, cualificaciones o características que nombran y determinan los objetos o elementos geográficos. En el caso del proyecto se relacionan con la caracterización de los mapas temáticos, valores pluviométricos, datos de probabilidad, caracterización espacial de la cuenca.

El proyecto implementado permite varias habilidades útiles en el procesamiento, interpretación y actualización de las bases de datos:

- Georeferenciar y desplegar datos espaciales en las vistas
- Crear, editar, importar datos en las vistas
- Realizar consultas en las bases de datos
- Realizar funciones espaciales avanzadas entre capas (intersección, superposición, corte)
- Realizar operaciones entre capas temáticas
- Crear mapas para presentaciones

### **Estructura del proyecto**

El ArcGis es el sistema utilizado en la presente investigación y toda la actividad se localiza en un proyecto, el cual está formado por diferentes documentos como Vistas, Tablas, Diagramas o Gráficos, y Presentaciones. La información integrada en el proyecto se almacena en un archivo con extensión \*.apr.

**Vistas (VIEW).** En el View se integran los diferentes temas o mapas, y en esencia es una superposición de todos temas que conforman el proyecto, (Figura 3.2).

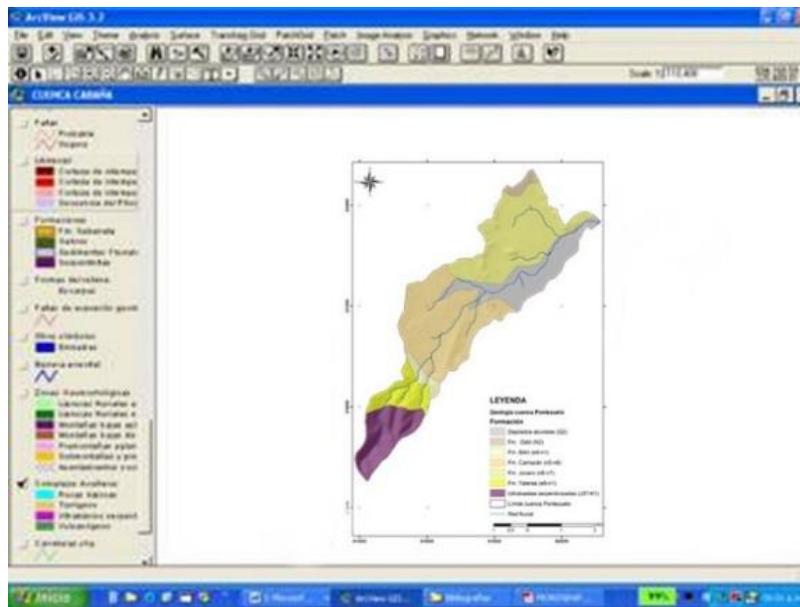


Figura 3.2. Visualización del VIEW de los mapas temáticos

**Tablas (TABLE).** Las tablas se encuentran asociadas a cada tema y contienen información descriptiva o atributos del mismo. Están formadas por columnas y filas o registros que representan características individuales de cada rasgo y por columnas o campos que definen las características de todos los elementos, (Figura 3.3).

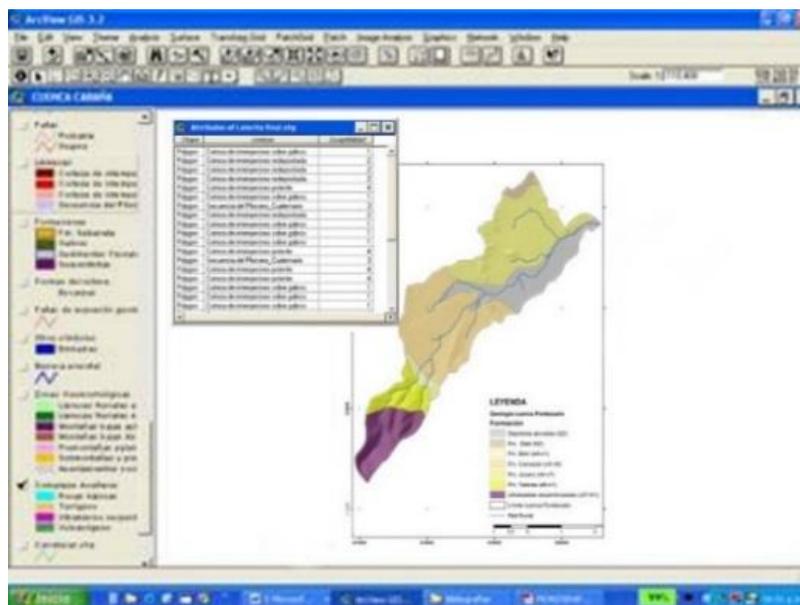


Figura 3.3. Visualización de las tablas de atributos de los mapas temáticos

## Diagramas y gráficos

Se han utilizado los Charts o diagramas para las representaciones gráficas de los datos tabulares y constituyen una forma de visualizar información de atributos, mediante la construcción de diagramas de barras para la caracterización de los temas o mapas temáticos.

### Layouts

Se utilizaron los layouts o mapas de representación para combinar los múltiples documentos o temas del proyecto para ilustrar los resultados finales de la investigación e implementación de la metodología de valoración de impacto. Esta opción del sistema nos permitió además, preparar las salidas gráficas de los mapas incluyendo la escala, leyenda, sistema de coordenadas y el formato de hoja, (Figura 3.4).

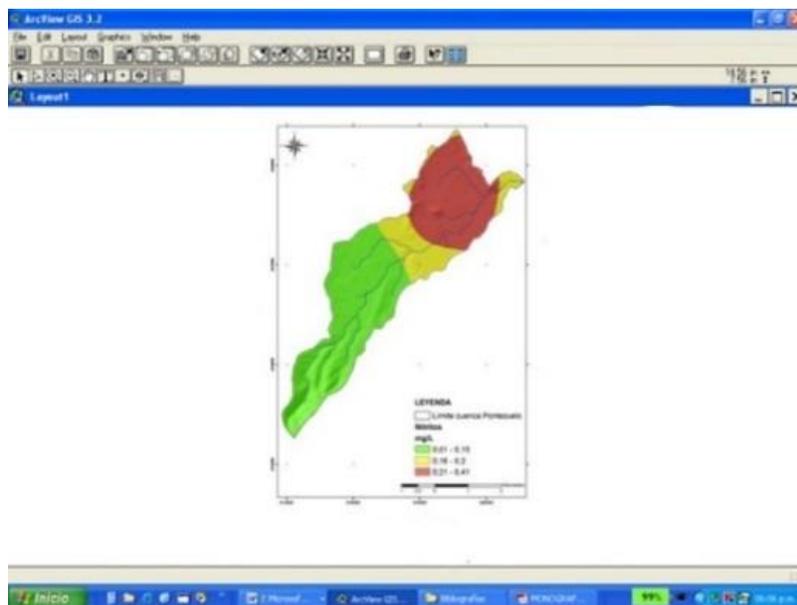


Figura 3.4. Visualización final de los mapas temáticos

## CAPITULO IV. RESULTADOS DEL ANÁLISIS GEOAMBIENTAL DEL RÍO PONTEZUELO

### Introducción

En el presente capítulo se presentan resultados obtenidos en la aplicación de la metodología propuesta en el capítulo anterior. Se brinda una caracterización de las fuentes contaminantes, evaluación de la calidad de las aguas del río Pontezuelo y valoración de los impactos ambientales que se manifiestan en la misma y la cartografía obtenida de la evaluación de las condiciones geoambientales, con la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Por último se propone un plan de medidas para la mitigación, que deben de implementarse para mejorar los planes de gestión ambiental.

### 4.1 Estudio de focos y fuentes contaminantes

Mediante los trabajos de campo se pudieron cartografiar y caracterizar los focos contaminantes en la cuenca (Figura 4.2). Como se observa en la tabla 4.1 y la figura 4.1, hay vertimiento de toda clase de contaminantes provenientes de los efluentes urbanos, industriales y de las instalaciones de salud pública. Existe un predominio de los residuales líquidos sobre los sólidos, representando el 76% del total de focos, aportados por la población y las industrias ubicadas dentro del área de la cuenca. En las figuras 4.3 y 4.4 se pueden observar evidencias del vertimiento de residuales dentro del área estudiada, lo cual evidencia la falta de control de las autoridades y de conciencia de la población.

**Tabla 4.1. Clasificación de los focos contaminantes**

Tipo de contaminantes	No. de focos	%	Fuente contaminante
Sólidos	7	8,00%	Población e industrias
Líquidos	63	76,00%	Población e industrias
Biológicos	2	2,40%	Hospitales y policlínicos
Mixtos	11	13,20%	Población e industrias

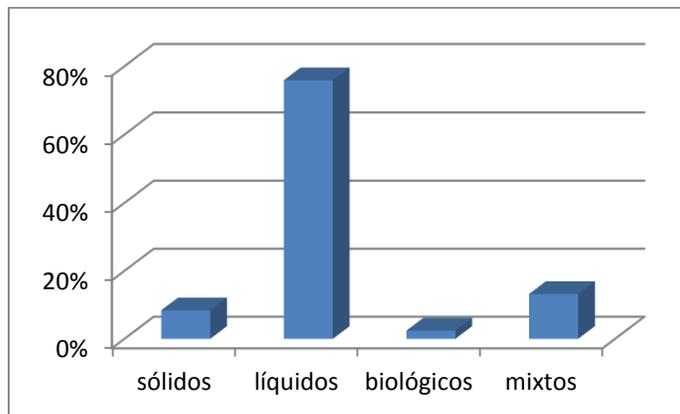


Figura 4.1. Predominio de contaminantes en el área de estudio

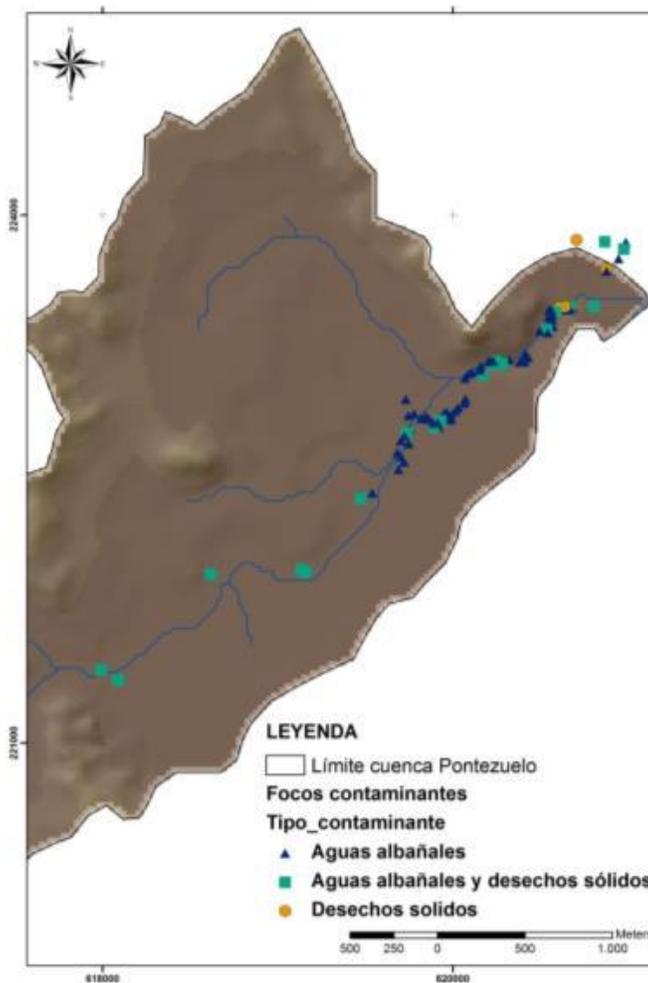


Figura 4.2. Mapa de focos contaminantes en la cuenca de río Ponzuelo



**Figura 4.3. Vertimiento de aguas albañales al río Pontezuelo (Foco contaminante no. 33)**



**Figura 4.4. Vertedero de residuales sólidos urbanos en la cuenca del río Pontezuelo (Foco contaminante no. 13)**

### **Caracterización de los agentes contaminantes**

Los agentes contaminantes detectados en el área son del tipo biológico, químico y físico:

#### **1- Características de los contaminantes biológicos:**

- Corresponden a desechos orgánicos, tales como la materia fecal y restos de alimentos.
- Llegan al río a través del sistema de alcantarillado de la ciudad.

- Tienen la propiedad de fermentar, es decir, se descomponen utilizando el oxígeno disuelto del agua.
- Los desechos orgánicos de tipo biológico son de tipo biodegradables.

Efectos de la contaminación biológica: Si el ser humano se alimenta de cultivos regados con aguas que están contaminadas, puede contraer enfermedades de tipo gastrointestinales (Fernández, 2003).

## **2- Características de los contaminantes químicos:**

- Son compuestos químicos, orgánicos e inorgánicos, que llegan al agua proveniente de las actividades domésticas, industriales y agropecuarias.
- Están formados por hidrocarburos derivados del petróleo, plaguicidas, aceites, detergentes, etc.
- No suelen ser biodegradables por lo que permanecen en el agua mucho tiempo después de su vertido.

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

## **3- Contaminantes físicos:**

- Están formados por vertidos de líquidos calientes y sustancias radioactivas provenientes de los hospitales y laboratorios.
- Pueden ser partículas de suelo o sólidos de basura que se vierten en las márgenes de cauce o dentro de las corrientes de agua.

Efectos de la contaminación física: Además hay otras partículas que quedan en suspensión aumentando la turbidez del agua, y obstaculizando la penetración de la luz, y por tanto la fotosíntesis llevada a cabo por algas y otras plantas; al no producirse la fotosíntesis, disminuye la población de algas, plantas y otros organismos. Si los sedimentos acarrean sustancias tóxicas, pueden producir, a través de las cadenas alimentarias, la muerte de organismos acuáticos.

## **4.2 Factores que influyen en la contaminación del río Pontezuelo**

### **Causas de la contaminación**

El municipio de Mayarí tiene una situación bastante adversa referente el manejo de lo residuales líquidos domésticos, destacándose como caso más crítico el núcleo urbano Mayarí. La ciudad tiene una cobertura de alcantarillado del 11.3%, mientras que el 88.7% utiliza letrinas y fosas, existen 2109 letrinas que contaminan directamente las aguas subterráneas y una gran parte de las fosas contaminan el manto freático directamente por su mala construcción, las redes construidas vierten a los tramos de colectores ejecutados y estos a los ríos Mayarí y Pontezuelo (Anuario Nacional de Estadísticas, 2010).

El residual líquido de la ciudad de Mayarí no cuenta con un sistema de tratamiento construido y la mayoría de las industrias vierten sus desechos a los ríos cargándolos de contaminantes y sustancias tóxicas, sólidos en suspensión, ácidos metálicos pesados y compuestos orgánicos pesados constituidos por una alta Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Además a esto se suman los residuales líquidos de 3 hospitales, 5 policlínicos y un banco de sangre con su respectivo laboratorio. Las estadísticas prueban que Mayarí se encuentra afectada por epidemia de Hepatitis, entre otras enfermedades de riesgo, por contaminación hídrica en aumento cada año y se calcula que unos 0.7 millones de metros cúbicos de residuales se incorporan anualmente a los ríos.

### **Fuentes contaminantes Cuenca del río Pontezuelo**

Algunas consideraciones sobre el proceso de reducción de carga contaminante orgánica 2011.

- Carga contaminante reducida por concepto de acciones de reducción Mayarí: 29 t de DBO (6,6%).

Fuentes contaminantes de la cuenca Mayarí en la provincia de Holguín según el inventario nacional.

El municipio posee 6 fuentes contaminantes de la cuenca del río Mayarí incluidas en el inventario nacional de fuentes contaminantes y dos pertenecen al río Pontezuelo, las cuales son las únicas que carecen de sistemas de tratamiento: Hospital Mártires de Mayarí y el Núcleo poblacional Mayarí.

**Tabla 4.2. Reporte de la reducción de carga contaminante en la ciudad de Mayarí**

Instalación	Carga generada		Nivel Base de carga contaminante dispuesta		Nivel actual de carga contaminante dispuesta		Fundamentación empleada	Beneficios Ambientales
	Kg/d	Ton/a	Kg/d	Ton/a	Kg/d	Ton/a		
Asentamiento Mayarí	589	215	589	215	510	186	Se rehabilitó la laguna de oxidación Rpto. 26 de julio, se reconstruyó emisario de residuales y entró en funcionamiento el sistema. Eficiencia del 91%. Declarada eficiente.	Disminuye la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca Mayarí. Mejora el entorno del asentamiento.

**Tabla 4.3. Fuentes contaminantes de la cuenca Pontezuelo**

Fuentes contaminantes	Sistema de tratamiento	Organismo que pertenecen	DBO ton/a		Estado del sistema de tratamiento	Posible Solución
			Generada	Dispuesta		
Hospital Mártires de Mayarí	No	MINSAP	15	15	No	Tanque séptico
Núcleo poblacional Mayarí	No	INRH	215	215	No	Lagunas de Estabilización

**Tabla 4.4. características de la fuente contaminante correspondiente al Hospital Mártires de Mayarí**

Cuenca	Municipio	Organismo	Niveles de carga anteriores		Niveles de carga actuales	
			Carga generada DBO T/a	Carga dispuesta DBO T/a	Carga generada DBO T/a	Carga dispuesta DBO T/a
Mayarí	Mayarí	MINSAP	15	15	15	15

Nombre de la Fuente	Organismo	X	Y	Tipo de residual	Sistema de Tratamiento	Tipo de Sistema	Entorno del Sistema
Hospital Mártires de Mayarí	MINSAP	620600	223500	Domestico	No	Laguna de estab. Anaerobia	Buenas

### 4.3 Evaluación de los impactos ambientales (EIA)

#### Caracterización del estado de la calidad de los diferentes factores ambientales en el río Pontezuelo

Se realiza una caracterización de los diferentes factores ambientales partiendo del análisis de su estado actual en el presente estudio. Solo lo que consideramos que son los más afectados.

**Atmósfera:** El aire de la región no posee buenos índices de calidad, existen fuentes contaminantes propias de las industrias niquelíferas, por emisiones de gases y polvo. En las zonas cercanas se puede sentir fetidez producto a los contaminantes en descomposición trayendo consigo un aumento en la disminución de la calidad atmosférica.

**Suelo:** Los suelos son poco productivos, están empobrecidos por la falta de nutrientes y son muy susceptibles a la erosión. Actualmente no poseen interés desde el punto de vista agrícola y forestal, por encontrarse en la zona de desarrollo urbano. Aunque las obras no ocupan gran porción de terrenos, no deja

de ser significativo, debido a la importancia que tiene este recurso, los posibles daños que pueden ocasionarles durante el proceso de construcción de las viviendas que trae consigo el vertimiento de los residuales en las orillas del río.

**Flora y Fauna:** La vegetación de estas áreas presenta un alto grado de antropización. Se observan los tres tipos de estratos vegetales, aunque con poca abundancia. El más representativo es el herbáceo que se encuentra ampliamente distribuido. En él abundan, fundamentalmente, las especies invasoras como hierba fina, romerillo, bledo, platanillo y escoba amarga, entre otras. Dentro de las formaciones arbóreas se destacan algunos ejemplares de abundante follaje como el aguacate, mango, almendra, los cuales se encuentran en buen estado de conservación, además se aprecian algunos arbustos como al ateje y el marabú. En cuanto a las especies faunísticas existe en este entorno poca variedad, en las que las aves sobresalen por el número de especies, aunque habitan además algunos tipos de reptiles, anfibios e insectos. Dentro de las clases de aves se han podido observar fundamentalmente, aquellos géneros adaptados a ecosistemas antropizados como es el judío, el sabanero, el sinsonte, y el aura tiñosa, entre otros ejemplares. Formando parte de la trama ecológica se hallan los reptiles, representados principalmente por ejemplares del suborden Ophidia, entre los que se encuentran culebras y jubos, asimismo, aparecen anfibios como la rana y el sapo común. Dentro de los insectos se destacan por su abundancia las mariposas y las moscas. Muchos de estos animales han visto afectada su habitad por la conminación.

**Erosión:** Es un fenómeno muy difundido en el sector de estudio. Es un proceso, que aunque se produce de forma natural, se ha visto incrementado por la actividad antrópica. La erosión, que se desarrolla sobre la superficie de las cortezas, arrastra las partículas fundamentalmente hacia las zonas donde el relieve es menos elevado.

**Aguas:** Las aguas se ven afectadas por el vertimiento de contaminantes producto de las casas, industrias y hospitales aledaños.

## **Acciones impactantes sobre la cuenca del río Pontezuelo**

Los resultados del análisis de la consulta de expertos, las listas de revisión, tormentas de ideas, la observación directa, utilización de escenarios comparados.

- El incremento de la población, con una infraestructura necesariamente superior pero insuficiente.
- La no realización de inversiones ambientales fundamentalmente en la industria y los sistemas de tratamiento de residuales urbanos, los que determina el empleo de las corrientes superficiales como receptoras crudos o parcialmente tratados, lo que frecuentemente llega a las zonas costeras o cuencas hidrográficas.
- La utilización de tecnología obsoleta, la indisciplina tecnológica, así como la no introducción de práctica de producción más limpia en la mayoría de las instalaciones de la industria, salud y agroalimentarias.
- La práctica insuficiente al rehúso de los residuos de la actividad agroalimentaria, del turismo, de hospitales y domésticos.
- Construcción de viales mal ubicados y en algunos casos sobredimensionados, sin sistemas de drenajes y de protección adecuado.
- Disminución de la cobertura vegetal.
- Aumento de los procesos erosivos.
- Contaminación de las aguas del río.
- Pérdida de la diversidad biológica.

## **Factores ambientales impactados**

Los factores ambientales identificados son los siguientes:

### **Medio físico**

- Suelo
- Agua
- Atmósfera

### **Medio biótico**

- Flora

- Fauna

### **Medio sociocultural**

- Población
- Economía

### **Medio perceptual**

- Paisaje

## **Impacto ambiental del río**

A través de los reconocimientos de campo, consultas y entrevistas a vecinos y expertos del tema, se identificaron los siguientes impactos producidos sobre los factores ambientales que a continuación se relacionan.

### **I. Suelo**

1. Pérdida y alteración de la capa fértil del suelo.
2. Cambios de las propiedades físico-químicas de los suelos. Disminución de la productividad biológica del suelo.

### **II. Agua**

3. Cambios de las propiedades químicas.
4. Contaminación del acuífero.
5. Cambio del régimen del agua superficial y subterránea.

Por el derrame de combustibles, lubricantes, desechos biológicos y desechos sólidos, y la filtración en el manto freático de las aguas procedentes de las fosas y letrinas.

### **III. A la Atmósfera**

6. Disminución de la calidad atmosférica por emisiones de gases y polvo.

La alteración de la calidad del aire ocurre por la descomposición de los desechos. El humo de los vehículos contiene sustancias contaminantes generadas por la

combustión interna del motor, los cuales son perjudiciales sobre la vegetación, ya que en su deposición ocluye los estomas de las dificultando su respiración y penetración de la luz.

#### **IV. Vegetación**

##### **7. Pérdida de la vegetación.**

Es ocasionada como consecuencia del desbroce de la capa vegetal y por la construcción de caminos de acceso hasta los vertederos en la orilla del río, además de la influencia de los contaminantes sobre la fertilidad de los suelos.

#### **V. Flora**

##### **8. Pérdida de especie de plantas exóticas.**

Debido a la erosión y contaminación se reduce la productividad vegetal en las márgenes, lo cual supone un efecto negativo también sobre la fauna.

#### **VI. Fauna**

##### **9. Alteración del hábitat de especies de reptiles e insectos.**

Debido a la perturbación y fragmentación del hábitat, se produce afectándose la fauna y sobre todo aquella de lento desplazamiento situada a nivel de terreno. Las especies de peces, anfibios y otras especies que viven en este hábitat son afectadas al cambiar la composición del agua.

#### **VII. Población y economía**

##### **10. Proliferación de vectores.**

##### **11. Propagación de enfermedades y epidemias.**

Las aguas con finos en suspensión o con sustancias contaminantes disueltas puede traer consigo la proliferación de vectores.

## IX. Paisaje

12. Modificación de las características visuales del paisaje. 13. Disminución del atractivo paisajístico.

Los desechos existentes hacen cambiar el color de las aguas y los desechos en las orillas del río hacen perder al paisaje su tonalidad y hermosura.

Después de la determinación de los impactos producidos sobre los factores ambientales se realiza la valoración de cada impacto teniendo en cuenta los indicadores propuestos por el CITMA 2008.

**Tabla 4.5. Matriz de valoración de los impactos ambientales (según metodología del CITMA, 2008)**

Impactos	Indicadores								Ponderación de los impactos	IT
	Na	Mg	I	S	R	O	D	C		
1	-	4	4	1	4	7	1	4	-25	IM
2	-	3	3	2	5	6	7	4	-30	IS
3	-	10	3	2	6	10	1	7	-39	EB
4	-	10	3	2	4	10	1	8	-38	EB
5	-	10	3	1	6	10	1	7	-38	EB
6	-	3	2	3	4	7	4	4	-25	IM
7	-	2	2	2	6	7	7	4	-30	IS
8	-	2	2	1	4	6	7	4	-26	IM
9	-	6	3	2	6	7	8	5	-37	EB
10	-	8	4	3	7	10	2	9	-41	EB
11	-	5	6	2	5	7	1	4	-30	IS
12	-	8	3	1	2	10	4	7	-35	IS
13	-	10	3	1	1	10	7	7	-39	EB

## **Interpretación de la matriz de valoración**

En el análisis de la matriz todos están siendo afectados de manera negativa, y los más representativos son los cambios de las propiedades químicas del agua, la contaminación del acuífero, cambio del régimen del agua superficial y subterránea, la alteración del hábitat de especies de reptiles e insectos, la proliferación de vectores y la disminución del atractivo paisajístico los que están sufriendo un impacto crítico. Seguidos de manera severa por los cambios de las propiedades físico-químicas de los suelos, la pérdida de la vegetación, la modificación de las características visuales del paisaje y la propagación de enfermedades y epidemias.

El resto de los impactos se consideran moderados, se producen daños de moderada intensidad, son regionales, indirectos, pero su importancia es considerable y debe tenerse en cuenta en los tres tipos de casos, la implementación de medidas preventivas, correctoras y de mitigación.

## **Medidas generales de mitigación**

- Divulgar el plan de medidas de prevención, corrección y de mitigación de impactos negativos, a través de murales, carteles, conferencias, seminarios, plegables.
- Realizar talleres con los ejecutores para analizar los resultados de la aplicación de las medidas de mitigación registradas en el proyecto.
- Establecer una estrategia con la participación de todos los actores identificados, encaminada a lograr la aceptación de la población del uso indiscriminado de las aguas como vertedero con acciones educativas preventivas.
- Implementar murales, carteles, conferencias, seminarios, plegables, para sensibilizar a los vecinos y la población en general sobre la importancia de las aguas.

- Divulgar los beneficios de la protección del medio ambiente a través de charlas, intercambios, plegables entre otros.
- Alertar, para convencer a la población, sobre los daños que pueden ocasionar la contaminación de las aguas.
- Diseñar y coordinar materiales que apoyen la divulgación de conocimientos que promuevan las conductas para la protección de los recursos naturales (carteles, folletos, críticos, guías prácticas, materiales audiovisuales).
- Incorporar materias con perspectivas de protección civil en todos los niveles educacionales.
- Suprimir los criaderos de animales en zonas aledañas para evitar la incorporación de los residuos a la zona.
- Establecer los perímetros de protección sanitaria según las normas establecidas para estos fines.
- Monitorear sistemáticamente la composición física-química y bacteriológicamente de las aguas.

#### **4.4 Análisis físico-químico de las aguas del río Pontezuelo**

La composición química y propiedades de las aguas dependen de su origen, fuentes de alimentación, propiedades físicas y químicas de las rocas con las que estas contactan y por factores artificiales provocados principalmente por el hombre. Esto les confiere una gran variedad de propiedades físicas y químicas. A continuación se describen el comportamiento de algunas de estas propiedades determinadas a las aguas del río Pontezuelo.

##### **Propiedades físico-químicas**

**pH.** Es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. El pH indica la concentración de iones hidronio  $[H_3O^+]$  presentes en determinadas sustancias, en este caso el agua. Su concentración se debe básicamente a la composición de las rocas y suelos sobre las cuales escurren las aguas, de tal forma los valores alcalinos del pH, para las aguas del río Pontezuelo, indican que hay un predominio de rocas carbonatadas en el área de la cuenca. Esto se corrobora con la

información geológica del área donde aflora las formaciones Yateras, Júcaro Bitirí y Camazán. Las aguas se clasifican en neutras ubicadas espacialmente en la zona de la ciudad, y débilmente básicas en el resto de la cuenca (Figura 4.5).

**Sólidos disueltos totales.** Se considera que la fuente de estos proviene del aporte de residuales que se vierte al río por parte de la población y las empresas y organismos. No se descarta el aporte de las rocas sobre las cuales corren las aguas, pero en menor cuantía. En la figura 4.6, se muestra el comportamiento del SDT en la cuenca; se observan dos zonas de valores máximos, la ubicada el noreste de la cuenca se relaciona espacialmente con la ciudad del Mayarí, la cual realiza vertimientos considerables en la cuenca. La ubicada en la región central se relaciona con actividad agrícola que se desarrolla en la región.

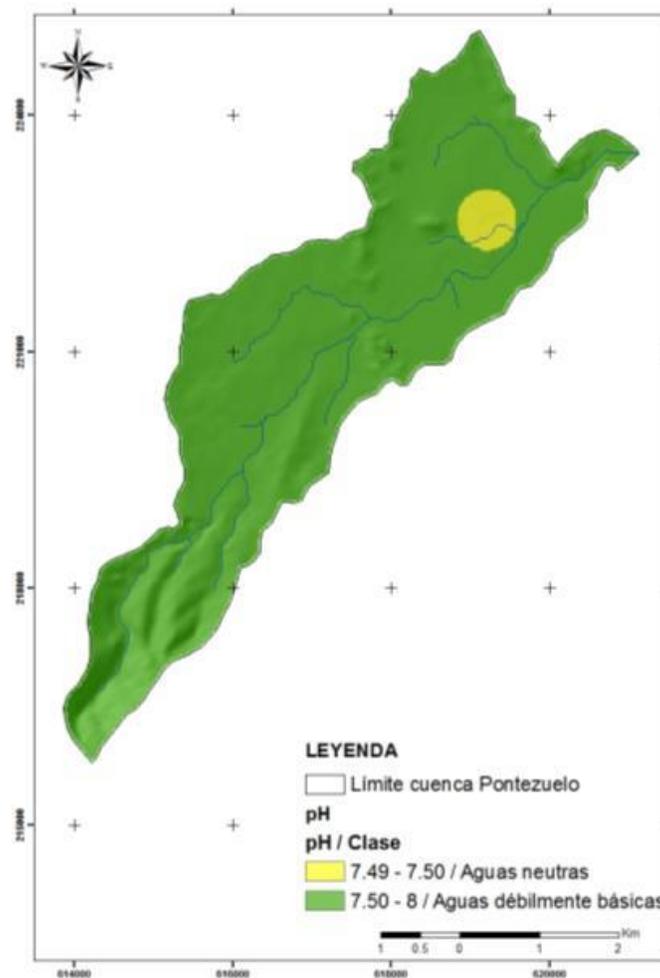


Figura 4.5. Mapa del comportamiento del pH

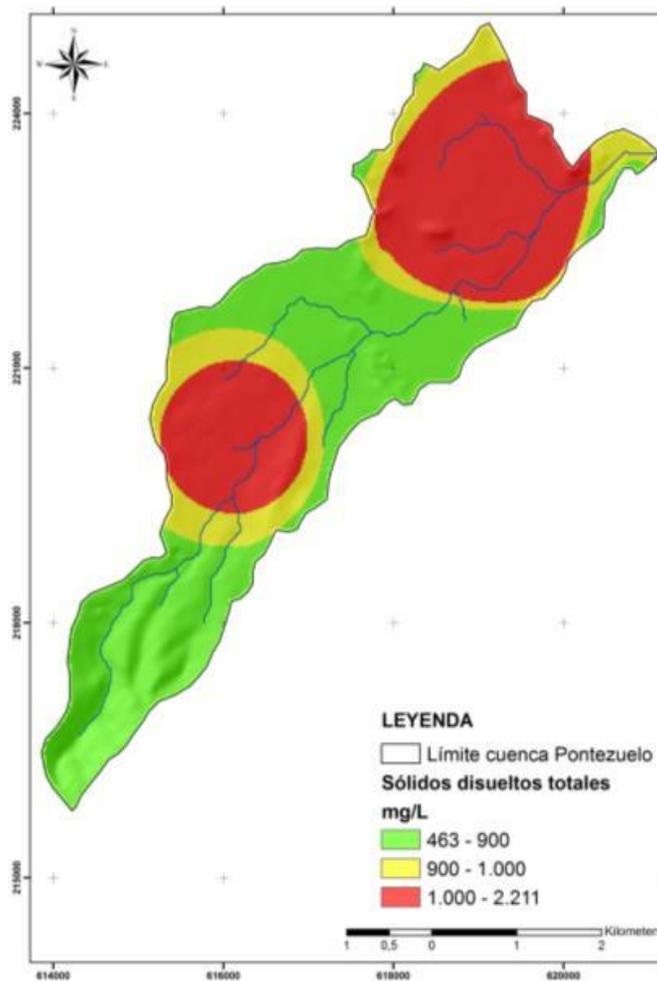


Figura 4.6. Mapa del comportamiento de los sólidos disueltos totales (SDT)



Figura 4.7. Aguas del río Pontezuelo con mucha turbidez y abundantes sólidos disueltos totales (Foco contaminante no. 41)

**Nitratos ( $\text{NO}_3$ ).** Los contenidos de nitratos pueden estar presentes en las aguas como resultado de la disolución de rocas, pero esto ocurre raramente, lo más usual es por la oxidación bacteriana de materia orgánica. Esta es la interpretación que se da para el caso de la cuenca del Pontezuelo, al ubicarse los valores más elevados en el área ocupada por la ciudad de Mayarí. Por lo cual se considera un indicador de contaminación antrópica para la investigación, dado los vertimientos por parte de las fuentes contaminantes descritas anteriormente (Figura 4.8).

**Sodio (Na).** Los valores de sodio comprenden desde 1.71 a 20.3 mg/L, encontrándose por debajo de 200 mg/L (Límite máximo admisible). Los niveles máximos de sodio se encuentran en la parte inferior de la cuenca, perteneciente al núcleo poblacional Mayarí (Anexo 1).

**Potasio (K).** Los niveles de potasio se encuentran entre 0.03 a 0.07mg/L estando dentro del límite máximo admisible. La mayor concentración se encuentra en parte inferior de la cuenca. (Anexo 2).

**Magnesio (Mg).** Las concentraciones de magnesio varían de 2.89 a 12.14 mg/L, encontrándose por debajo del límite máximo admisible (12.5 mg/L o 150 mg/L) los valores máximos se encuentran en la parte baja de la cuenca cercamos al núcleo poblacional Mayarí (Anexo 3).

**Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).** El ión sulfato se forma principalmente mediante la oxidación del sulfuro de hidrógeno en condiciones aeróbicas. Es uno de los iones que contribuyen a la salinidad de las aguas y se encuentra presente en la mayoría de las aguas naturales. El ión sulfato tiende a formar sales con los metales pesados disueltos en el agua, y debido a que el producto de solubilidad de dichas sales es muy bajo, contribuye muy eficazmente a su toxicidad. Un incremento de sulfatos presentes en el medio hídrico es indicador de un vertido próximo (de Miguel, 2012). En el área se localizan los valores más elevados hacia el noreste de la cuenca, coincidiendo con la ubicación de la población de Mayarí (Figura 4.9).

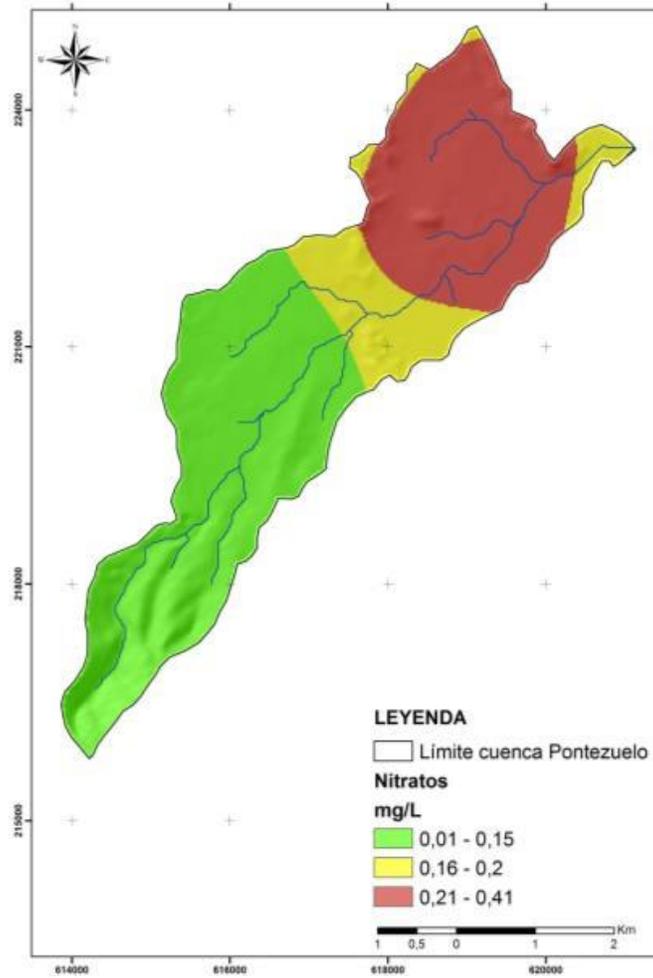


Figura 4.8. Mapa de concentración del ion nitrato

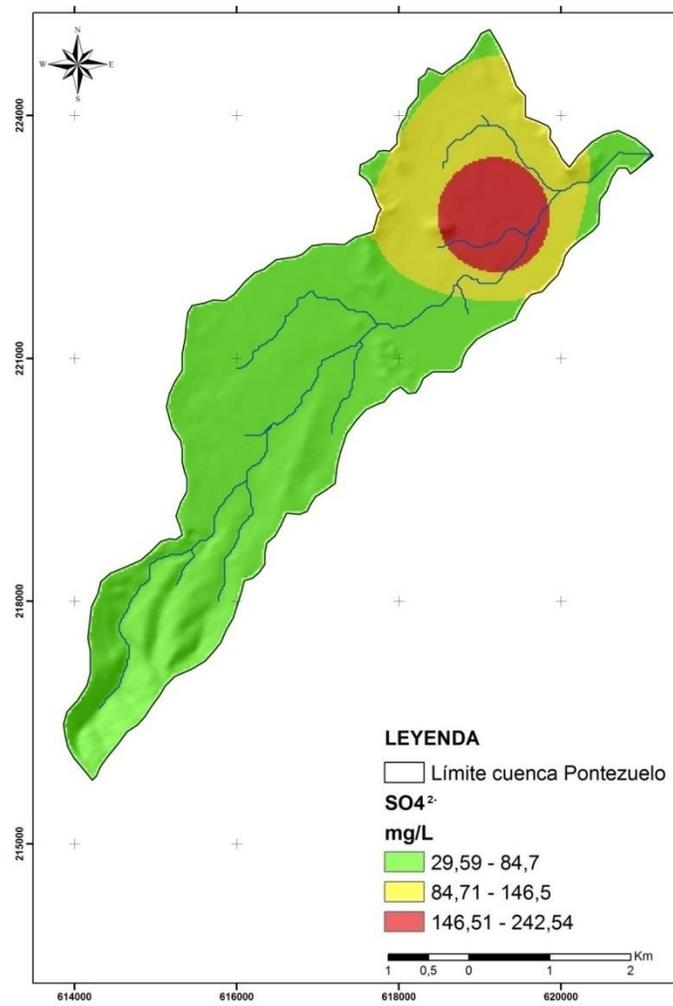


Figura 4.9 Mapa de concentración del ion sulfato

## CONCLUSIONES

1. En el área hay predominio del vertimiento de contaminantes líquidos. Las fuentes contaminantes que los aportan provienen de las redes de drenaje urbano y de la actividad industrial presente en la ciudad de Mayarí.
2. En la cuenca estudiada están impactados desde el punto de vista negativo todos los factores ambientales. Los impactos críticos son los cambios de las propiedades químicas del agua, la contaminación del acuífero, cambio del régimen del agua superficial y subterránea, la alteración del hábitat de especies de reptiles e insectos, la proliferación de vectores y la disminución del atractivo paisajístico.
3. El estudio físico-químico de las aguas revelan pH alcalinos, reflejando el predominio de rocas carbonatadas en la cuenca; además demuestran el aumento de vertidos hacia el norte de la cuenca y alta contaminación de las aguas del río, esto se asocia a los procesos de oxidación bacteriana de la materia orgánica y la cercanía a fuentes de contaminación.
4. La aplicación del SIG permitió integrar toda la información ambiental obtenida. Su implementación constituye una herramienta básica para el perfeccionamiento de la gestión ambiental de la cuenca, permitiendo el análisis espacial integrado de los factores ambientales, las condiciones geológicas y el estudio hidroquímicos de las aguas del río Pontezuelo.

## RECOMENDACIONES

Al Sistema Nacional de Recursos Hidráulicos, Ministerio de Salud Pública y al Gobierno Municipal

- Mantener el control sistemático y estricto de las características físicas químicas que definen la calidad de las aguas y continuar realizando muestreos de las aguas superficiales y subterráneas.
- Realizar inspecciones higiénicas sanitarias a las áreas aledañas al río con el fin de tomar las medidas necesarias y profundizar sobre las causas que provocan el deterioro de la calidad de las aguas con énfasis en el tratamiento de las aguas y la cantidad representativos.
- Profundizar en la toma de medidas de rehabilitación y reforestación en las zonas erosionadas que afectan las cuencas hidrográficas del área, estableciendo las franjas de protección sanitaria.
- Hacer extensivo los resultados de este estudio a los demás ríos del municipio.
- Garantizar un programa de educación ambiental.
- Tomar las medidas necesarias con respecto a las fuentes contaminantes de las aguas del río Pontezuelo con un plan de desarrollo a corto plazo para reducir el impacto negativo sobre la salud de los pobladores y la calidad ambiental de la ciudad.

## BIBLIOGRAFÍA

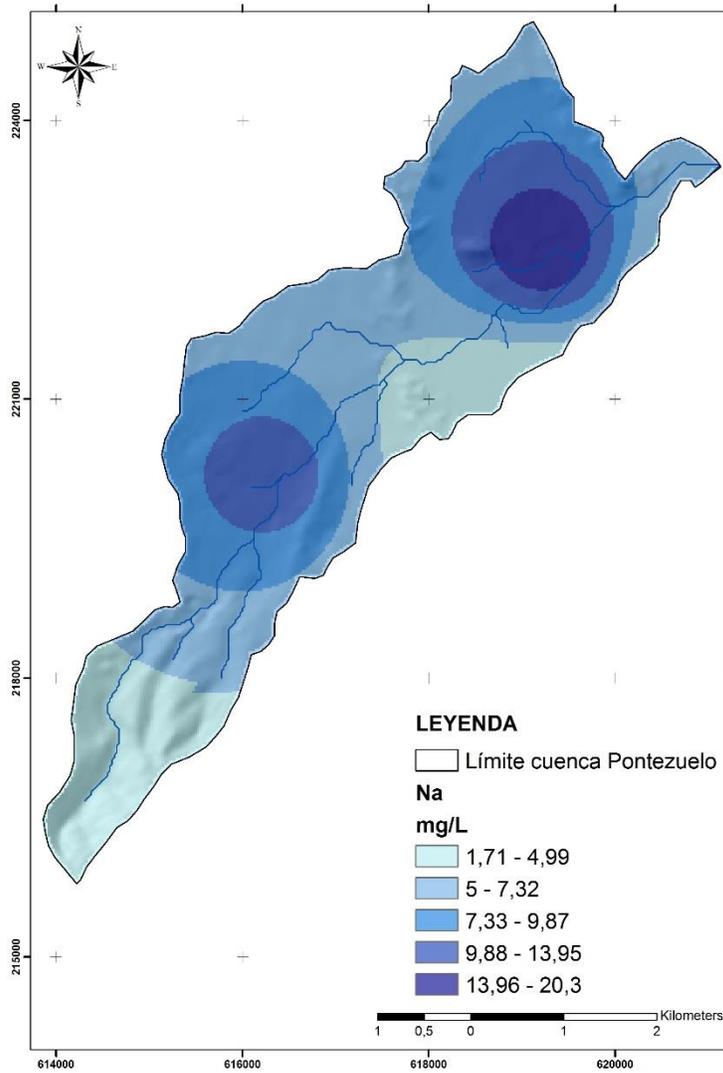
- ABREU, X. Planificación, conservación y saneamiento en cuencas hidrográficas. Memorias del Taller "Manejo de cuencas hidrográficas para la prevención de riesgos y desastres ambientales". Ponencia. Venezuela, 2000. 27 p.
- ALFONSO, L. D. Evaluación de riesgo por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí. Trabajo de diploma, Departamento de Geología ISMM, 2013. 27 p.
- ASAMBLEA NACIONAL DEL PODER POPULAR. Ley No 81 del medio Ambiente. Gaseta Oficial de la Republica de Cuba, 1997.
- ATLAS DE LA COLECCIÓN GRIJALBO. 1995.
- ATLAS NACIONAL DE CUBA. (s.f.).
- CASTRO, F. Conferencia de las Naciones Unidas de Medio ambiente y desarrollo. Río de Janeiro Brazil, 1992.
- CEBRIÁN, J. A. Sistema de Información Geográficas. Funciones y estructuras de datos. Estudios Geográficos, 1986. 277-299 pp.
- COLECTIVO DE AUTORES. Tabloide de Universidad para todos Areas Protegidas de Cuba, 2002.
- COLECTIVO DE AUTORES. Tabloide de Universidad para todos Introducción al Conocimiento del Medio Ambiente, 2002.
- COLECTIVO DE AUTORES. Tabloide de Universidad para todos Geografía de Cuba, sus regiones y paisajes, 2006.
- COMARNA. Programa Nacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Adecuación cubana al documento "Agenda 21" acordada en la CNUMAD. La Habana, 1993. 161 p.

- CONESA, V. Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental. Ediciones Mundi-Prensa. España, 1996. 401 p.
- CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA. Artículo 27 sobre protección del Medio Ambiente y el uso racional de los recursos naturales. Gaseta Oficial de la Republica de Cuba, 1976.
- DE MIGUEL, C. Hidrogeología Aplicada con aspectos ambientales. Editorial Digital Universitaria de Moa, 2012. 59 p.
- FERNÁNDEZ, M. Evaluación de la calidad de las aguas de consumo humano en la zona urbana de la ciudad de Moa. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2013. 124 p.
- FUNDACIÓN MAPFRE. Manual de contaminación ambiental. Editorial MAPFRE S. A. España, 1994. 569 p.
- GARCÍA, S. Influencia sobre el medio ambiente de la construcción de túneles en los consejos populares Miraflores y coloradas, municipio Moa. Tesis de Maestría. Departamento de geología. ISMMM, 2010. 95 p.
- GALÁN, D. Cartografía de susceptibilidad por deslizamientos en el sector Cayo Guam. Moa: Trabajo de diploma. Departamento de geología. ISMMM, 2011. 75 p.
- GONZÁLEZ, J. I. Guía Metodológica para el Estudio de Cuencas Hidrológicas Superficiales con Proyección de Manejo. Universidad de la Habana, Cuba, 2000. 67 p.
- GONZÁLEZ, J. I. El Manejo de Cuencas en Cuba. Universidad de la Habana, Cuba, 2001.
- I.G.P. Mapa Geológico de las Provincias Orientales. Escala 1:100000. Edición digital por el grupo CASIG-IGP, Cuba, 2001.

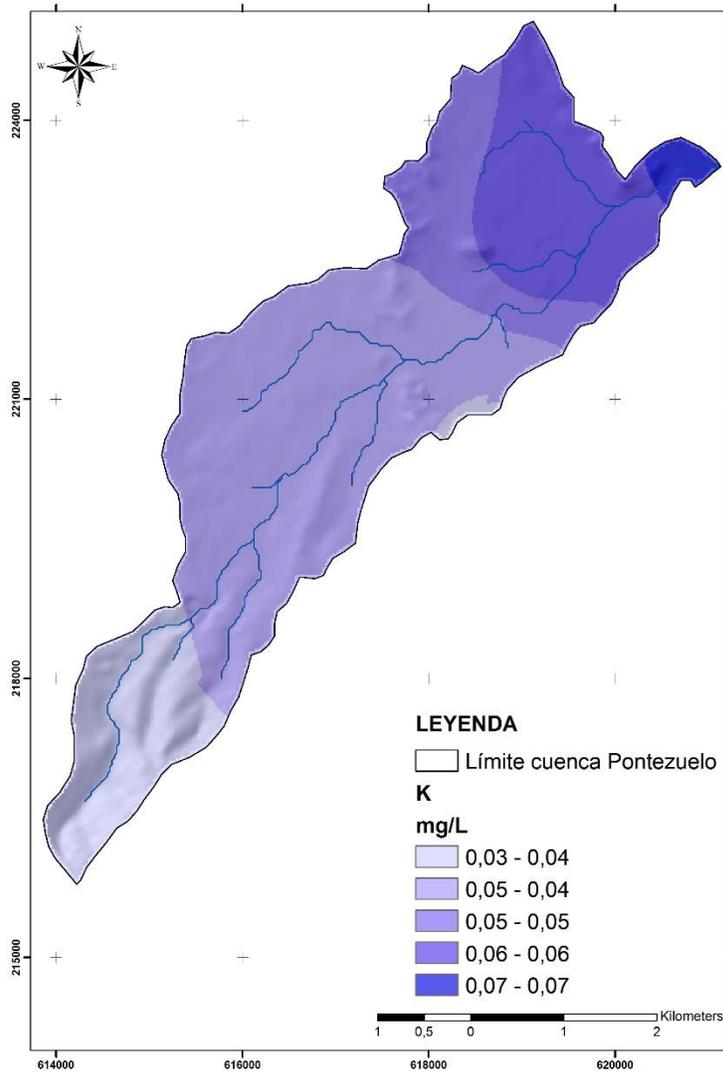
- ITURRALDE M. Origen y evolución del Caribe y sus biota marinas y terrestres. [CR ROM]. La Habana: Centro Nacional de Información Geológica. ISBN 959-7117-14-2, 2004.
- LORA, B. Estudio de indicadores en la cuenca hidrográfica Guantánamo-Guaso. Provincias Santiago de Cuba-Guantánamo. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Cuba, 2008. 12 p.
- MINISTERIO DE CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE. Guías para la realización de las Solicitudes de Licencia Ambiental y los Estudios de Impacto Ambiental. Centro de Inspección y Control Ambiental. Cuba, 2008.
- OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN. Anuario Nacional de Estadísticas, 2010. [en línea]. Consultado: 10 nov 2012. Disponible en:<http://www.one.cu/aec2010.htm>. (s.f.).
- PÉREZ, R. Estrategia de gestión ambiental para la cuenca hidrográfica. Tesis de maestría. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias aplicadas, 2006. 63 p.

## ANEXOS

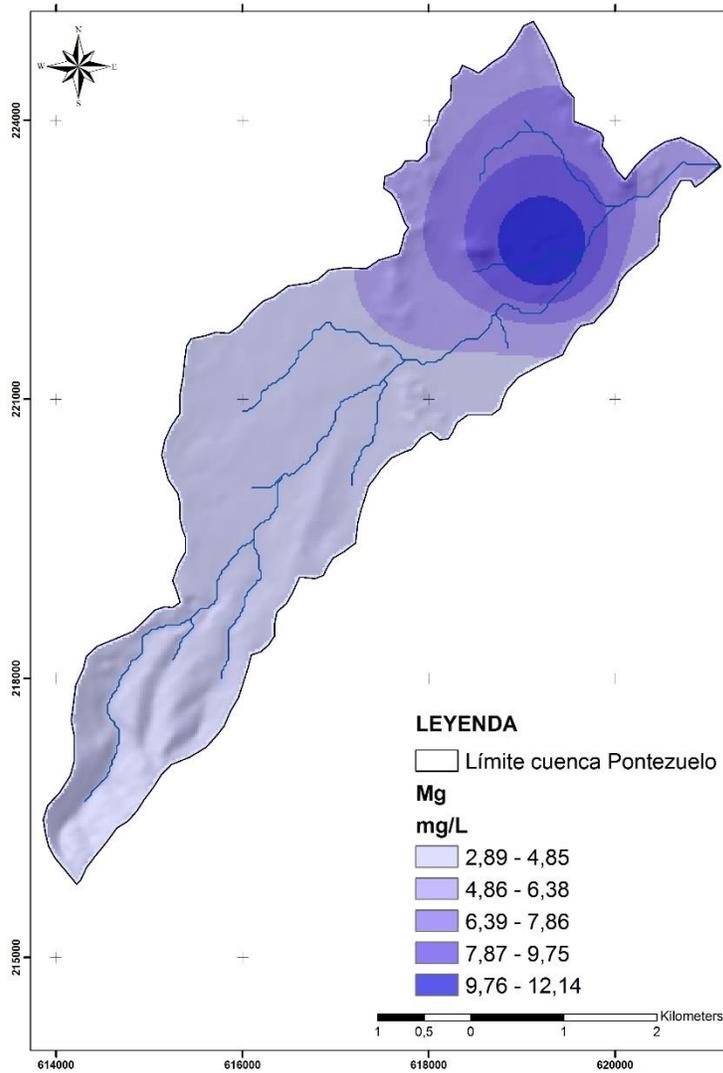
### Anexo 1. Mapa de concentración de Sodio



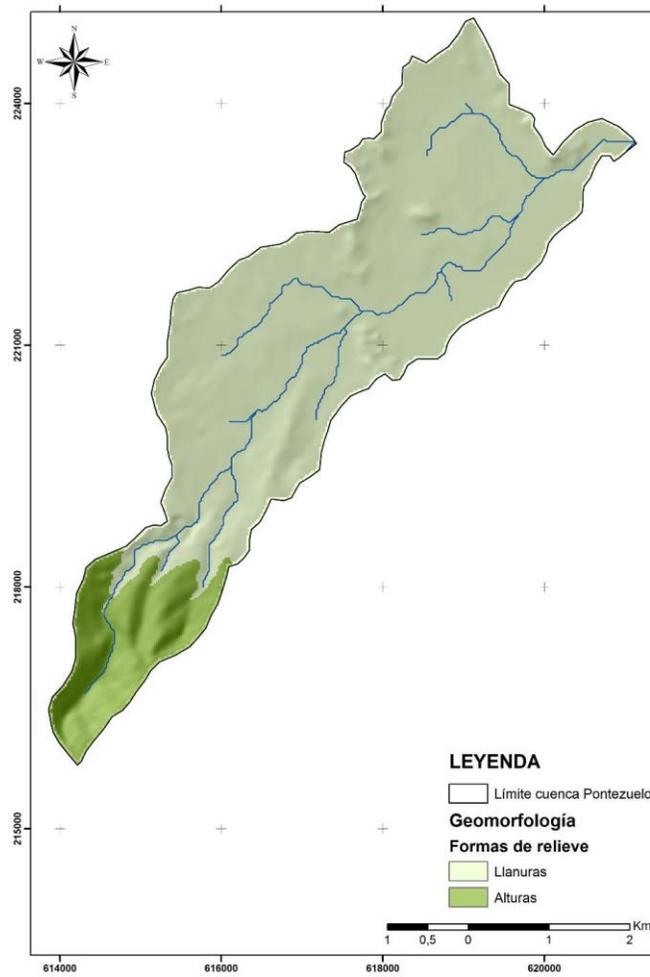
## Anexo 2. Mapa de la concentración de Potasio



### Anexo 3. Mapa de la concentración de Magnesio



### Anexo 4. Mapa Geomorfológico de la cuenca Pontezuelo



### Anexo 5. Mapa de Pendientes del Terrenos de la cuenca Pontezuelo

