

# Evaluación de las reservas de las aguas subterránea en el área Las Calabazas - Los Arroyos.

**Autor:**

**George Ernesto Aguilera Uveda**

**Tutores:**

**MsC. Reinier Hernández Guilarte**

**Ing. Marianela Crespo Lambert**

**MsC. Yoel Pérez Jara**

**Moa, de diciembre del 2020**

# Dedicatoria

*Este trabajo está dedicado primeramente a toda mi familia por siempre apoyarme y estar conmigo aconsejándome en todas las situaciones y momentos diferentes, mis padres, mis abuelos, mi hermana, mis tíos y mis primos.*

*También está dedicado a todas aquellas personas que de alguna manera u otra me han ayudado y ayudan a crecer cada día como profesional y como persona.*

# Agradecimientos

*Deseo agradecerles a mis padres, mis abuelos y mi hermana por siempre preocuparse y estar atentos a mí, por su apoyo incondicional y su ayuda para la realización de esta trabajo.*

*Debo agradecer a todos mis profesores por sus enseñanzas, por inculcar su conocimiento en mí, razón por la cual puedo graduarme como ingeniero geólogo con este trabajo de tesis. Agradecer en especial a mis tutores Reinier, Marianela y Yoel.*

*También debo agradecer a mis compañeros de aula con los cuales he compartido tantas anécdotas en estos cinco años en los cuales siempre hemos estado juntos y no olvidare.*

# Pensamiento

*El futuro pertenece a quienes creen en la belleza de sus sueños...*

*Roosevelt, Eleanor*

## RESUMEN

Como consecuencia del cambio, el crecimiento demográfico y el aumento de la agricultura, se ha incrementado la demanda del agua para abastecer a la población y a objetivos económicos, entre otros. Siendo de vital importancia el conocimiento y estudio de las reservas de este líquido. Esta investigación surge con el motivo de evaluar las reservas de aguas subterráneas en el área de Las Calabazas-Los Arroyos para el abastecimiento a la población y objetivos económicos, donde ello se realizó un análisis de la calidad de las aguas según la norma cubana NC 827: 2017 y se implementó el método hidrodinámico y de balance. Como resultado de la investigación se obtiene que la profundidad de yacencia de las aguas subterráneas se encuentra entre los 5 m y 20 m. La principal fuente de alimentación del acuífero está conformada por las precipitaciones atmosféricas, en el contacto del miembro Pedernales con la formación Camazán al norte del área, ocurriendo la acumulación de las aguas subterráneas en el contacto entre las formaciones Camazán y la formación Paso Real. Por su composición las aguas subterráneas según la clasificación de Aliokin son predominantemente Hidrocarbonatadas Sódicas de primer tipo. Las reservas de agua calculadas presentan un caudal de 161,50 l/s y sus reservas de explotación de 151,5 l/s por lo que el acuífero cumple con las condiciones para el abastecimiento de agua a la población y objetivos económicos.

## ABSTRACT

As a consequence of the change, population growth and the increase of agriculture, the request of the liquid to supply the population and to cost-reducing objectives, between other ones has increased. Being of vital importance knowledge and study of the water supplies. This investigation happens with the motive to evaluate the subterranean- water stock in the area of The Pumpkins The Brooks for the supply to the population and cost-reducing objectives, for it the Cuban accomplished an analysis of the quality of the waters according to the standard herself NC 827: 2017 and the hydrodynamic and balance method took effect . As a result of investigation obtains him that yacencia's depth of groundwaters finds between 5 m and 20 m. The principal power pack of the water-bearing is once the formation was squared with by the atmospheric precipitations, in the member Pedernales's contact Camazán north of the area, happening the accumulation of the groundwaters in the contact between the formations Camazán and the Dried Real formation. The groundwaters according to Aliokin's classification are Hidrocarbonatadas Sódicas predominantly for his composition of first type. The calculated water supplies present a torrent of 161.50 l/s and his 151.5 stock of exploitation l/s for that the water-bearing fulfills the conditions for the water supply to the population and cost-reducing objectives.

## **INDICE**

<b>RESUMEN .....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO - GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y PARTICULARES DEL ÁREA DE ESTUDIO. ....</b>	<b>19</b>
<b>1.1 Ubicación geográfica.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2 Clima. ....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 Poblaciones y redes de comunicaciones. ....</b>	<b>21</b>
<b>1.4 Desarrollo industrial y agrícola.....</b>	<b>21</b>
<b>1.5 Orografía y red hidrográfica.....</b>	<b>22</b>
<b>1.6 Geología del área de estudio. ....</b>	<b>22</b>
<b>1.7 Estratigrafía. ....</b>	<b>24</b>
<b>1.8 Tectónica. ....</b>	<b>34</b>
<b>1.9 Magmatismo. ....</b>	<b>37</b>
<b>1.10 Geomorfología.....</b>	<b>37</b>
<b>1.11 Sistemática hidrogeológicas.....</b>	<b>41</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....</b>	<b>42</b>
<b>2.1 Introducción. ....</b>	<b>42</b>
<b>2.2 Etapa I Revisión bibliográfica. ....</b>	<b>43</b>
<b>2.3 Etapa II Trabajo de campo.....</b>	<b>44</b>
2.3.1 Levantamiento hidrogeológico a escala 1:25 000.....	44
2.3.2 Muestreo hidroquímico. ....	44
2.3.3 Puntos de muestreo.....	45
2.3.4 Trabajos geofísicos.....	45
2.3.5 Trabajos de perforación. ....	45

2.3.6 Trabajos hidrogeológicos.....	46
2.3.7 Trabajos de laboratorio .....	47
2.3.8 Propiedades físicas, químicas y bacteriológicas determinadas. ....	47
2.3.9 Análisis y procesamiento de la información. ....	49
2.3.10 Metodología para la interpretación de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos.....	49
2.3.11 Metodología para la evaluación de las reservas de explotación de las aguas subterráneas por el método hidrodinámico. ....	51
2.3.12 Metodología para la evaluación de las reservas de explotación de las aguas subterráneas por el método de balance. ....	53
<b>CAPITULO III. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS TRABAJOS HIDROGEOLÓGICOS. ....</b>	<b>55</b>
<b>3.1 Introducción. ....</b>	<b>55</b>
<b>3.2 Descripción de las calas perforadas. ....</b>	<b>55</b>
<b>3.3 Profundidad de yacencia de las aguas subterráneas en la zona de estudio. ....</b>	<b>65</b>
<b>3.4 Fronteras hidrogeológicas.....</b>	<b>67</b>
<b>3.5 Fuente de alimentación y potencia acuífera.....</b>	<b>68</b>
<b>3.6 Dirección del flujo.....</b>	<b>69</b>
<b>3.7 Principales parámetros hidrogeológicos.....</b>	<b>69</b>
<b>3.8 Análisis de las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas subterráneas. ....</b>	<b>70</b>
3.8.1 Caracterización de las aguas subterráneas.....	70
3.8.2 pH. ....	72
3.8.3 Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) mg/l.....	72
3.8.4 Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) mg/l.....	73
3.8.5 Sales Solubles Totales (STD).....	74
3.8.6 Dureza total como carbonato de calcio (mg/l).....	75

3.8.7 Dureza total (mg.eq/l). .....	75
3.8.8 Mineralización (M) g/l.....	76
3.8.9 Conductividad eléctrica (CE) $\mu\text{S}/\text{cm}$ .....	76
3.8.10 Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) mg/l.....	77
3.8.11 Turbidez (NTU). .....	78
3.8.12 Carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) mg/l e Hidrocarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) mg/l. ....	79
3.8.13 Concentración de Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) mg/l y Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) mg/l. ....	79
3.8.14 Concentración de Sodio ( $\text{Na}^{2+}$ ) mg/l y Cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) mg/l.....	80
3.8.15 Sólidos totales (ST) mg/l.....	81
3.8.16 Sólidos totales disueltos (SDT) mg/l. ....	81
3.8.17 Sólidos totales en suspensión (SST) mg/l. ....	82
3.8.18 Coliformes totales (CT) NMP/100 $\text{cm}^3$ y coliformes fecales (CF) NMP/100 $\text{cm}^3$ . .....	83
3.8.19 Métodos para el tratamiento de las aguas. ....	84
<b>3.9 Fundamentación del cálculo de reservas. ....</b>	<b>85</b>
<b>3.10 Cálculo de reserva de las aguas subterráneas en Las Calabazas-Los Arroyos mediante el Método Hidrodinámico.....</b>	<b>86</b>
3.11.1 Reservas naturales ( $Q_n$ ). .....	88
3.11.2 Recursos naturales ( $Q_N$ ). .....	89
3.11.3 Cálculo de las reservas de explotación en Las Calabazas-Los Arroyos. ....	90
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>91</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>93</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>94</b>

## INTRODUCCIÓN

El agua es fundamental en el sustento de la vida y el equilibrio ecológico en todo el planeta, es indispensables en la producción de alimentos, abastecimiento de agua potable a la población y a las industrias. En la actualidad se vive un déficit de este preciado líquido debido al azotador cambio climático y la contaminación por la acción del hombre. Esto constituye una de las problemáticas más preocupantes en la sociedad a nivel mundial. Como consecuencia de esta escases del agua así como del crecimiento demográfico en estos años y el aumento de la agricultura, se ha incrementado la demanda del líquido para abastecer a la población y a objetivos económicos, entre otros. Siendo de vital importancia el conocimiento y estudio de las reservas de agua.

En nuestro país el potencial hídrico asciende a  $38,1 \text{ km}^3$ , de los cuales  $31,6 \text{ km}^3$  (83 %) corresponden a las aguas superficiales y  $6,5 \text{ km}^3$  (17 %) a las aguas subterráneas. De este potencial solo son aprovechables  $24 \text{ km}^3$  y de ellos están disponibles  $13,6 \text{ km}^3$ , con una mayor incidencia en las aguas superficiales (67 %), (García Hernández, 2007) citado por (Díaz Duque, 2018).

Son diversos los factores de carácter natural que inciden en la escasez de agua en el país, entre ellos se encuentran su carácter insular, la disposición y estructura del relieve, la extensión del carso, el predominio de ríos de pequeña longitud (menores de 40 km) y cuencas hidrográficas con menos de  $200 \text{ km}^2$  de superficie. Las principales reservas de aguas subterráneas de Cuba están asociadas a las rocas miocénicas, las que se caracterizan por su elevada capacidad acuífera. En gran medida estas rocas se corresponden con rocas carbonatadas, carsificadas y con un alto grado de acuosidad; en menor cuantía se encuentran representados los complejos de rocas vulcanógenas y ultrabásicas (Díaz Duque, 2018).

Como consecuencia del acelerado aumento demográfico y el desarrollo de las industrias, así como el impacto del cambio climático sobre las aguas superficiales y subterráneas, nuestro país implementa el Plan de Estado "Tarea Vida", para el enfrentamiento al cambio climático. Conformada por 5 acciones estratégicas y 11 tareas, de las cuales en la presente investigación responde a

la tarea 4, al asegurar la disponibilidad y uso eficiente del agua como parte del enfrentamiento a la sequía y la tarea 9: fortalecer los sistemas de monitoreo, vigilancia y alerta temprana para evaluar sistemáticamente el estado y calidad del agua.

Debido al actual déficit de agua que afronta nuestro país, se realizó la presente investigación titulada “Evaluación de las reservas de las aguas subterráneas en el área Las Calabazas-Los Arroyos”, donde tenemos, como problema: La necesidad de evaluar las aguas subterráneas en Las Calabazas-Los Arroyos para el abastecimiento de agua a la población y objetivos económicos.

**Objeto de estudio:** Las aguas subterráneas en el área de Las Calabazas-Los Arroyos.

**Campo de acción:** Las reservas de aguas subterráneas en el área de Las Calabazas-Los Arroyos.

**Objetivo general:** Evaluar las reservas de aguas subterráneas en el área de Las Calabazas-Los Arroyos para el abastecimiento a la población y objetivos económicos.

**Hipótesis:** Si se caracteriza el régimen y movimiento de las aguas subterráneas, se determina los principales parámetros hidrogeológicos que presentan las rocas del área se podrá evaluar las reservas de agua subterránea en el área de Las Calabazas-Los Arroyos y se conocerá si el acuífero posee las condiciones hidrogeológicas para abastecer de agua a la población y objetivos económicos.

**Objetivos específicos:**

- Caracterizar el régimen y movimiento de las aguas subterráneas.
- Determinar los principales parámetros hidrogeológicos que presentan las rocas del área.
- Evaluar las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas subterráneas.
- Evaluar las reservas de las aguas subterráneas por el método hidrodinámico y método de balance.

## MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

**Agua subterránea:** El agua subterránea es la que se encuentra bajo la superficie terrestre y ocupa los poros y las fisuras de las rocas más sólidas. Mantiene una temperatura muy similar al promedio anual en la zona, por ello, en las regiones árticas, puede helarse.

**Acuíferos:** Capaces de almacenar y transmitir el agua (gravas, arenas, calizas, etc.). Son formaciones con capacidad de drenaje alta, en las que se pueden perforar pozos y sondeos, con el fin de satisfacer las necesidades humanas de abastecimiento, agricultura, industria, ganadería, etc. (Rodríguez Elías, 2012).

**Circulación subterránea:** Es la circulación del agua por debajo de la superficie. Se produce a favor de la gravedad, como la escorrentía superficial, de la que se puede considerar una versión. Se presenta en dos modalidades:

- Primero, la que se da en la zona vadosa, especialmente en rocas carsificadas, como son a menudo las calizas, la cual es una circulación siempre cuesta abajo.
- Segundo, la que ocurre en los acuíferos en forma de agua intersticial que llena los poros de una roca permeable, de la cual puede incluso remontar por fenómenos en los que intervienen la presión y la capilaridad (Rodríguez Elías, 2012).

**Calidad del agua:** La calidad del recurso se define como la capacidad intrínseca del agua para responder a los usos que se podrían obtener de ella, incide de manera directa en la salud tanto de los ecosistemas que habitan en esta como en el bienestar del ser humano, de la calidad del recurso depende tanto la biodiversidad como la calidad de los alimentos, la salud humana y las actividades económicas (Sánchez, 2018).

**Agua potable:** El producto generado a partir del proceso de potabilización que se realiza al agua dulce y queda óptima para el consumo humano se conoce como agua potable, permite ser consumida sin condicionamientos de ningún tipo porque está garantizado que por su condición y tratamiento no presentará efectos negativos en el organismo humano (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018).

**Reservas de aguas subterráneas:** Las reservas de aguas subterráneas, como su nombre indica, están bajo tierra y, concretamente, son las que incluyen a las masas de agua dulce que se encuentran en el espacio poroso de suelos y rocas. También incluyen el agua de los acuíferos bajo el nivel freático. En ocasiones, este tipo de aguas subterráneas, como el agua de los acuíferos, se llama agua fósil y hay que diferenciarla bien de las aguas hiporréicas, pues no son exactamente lo mismo (Sánchez J, 2018).

**Reservas naturales:** Es el volumen de agua gravitacional que se encuentra en los poros, grietas y cavidades cársticas de las rocas acuíferas en condiciones naturales. (De Miguel Fernández, 2012).

**Recursos naturales:** Es la suma de todos los elementos que forman la alimentación natural de un acuífero determinado (infiltración de las precipitaciones atmosféricas, infiltración de aguas superficiales de ríos y lagos, desbordamiento de horizontes acuíferos aledaños al de análisis). Estos recursos pueden ser determinados por la magnitud del caudal del flujo de las aguas subterráneas, o por la suma de los caudales de los distintos elementos (De Miguel Fernández, 2012).

**Zonas de descarga:** Una zona de descarga es la evidencia más viable de identificar el funcionamiento del agua subterránea, es el sitio donde el agua aflora (superficie) y representa la fase final de recorrido del flujo subterráneo; así, el agua ha adquirido propiedades particulares (salinidad, temperatura, pH, entre otros) tiene una continuidad específica de caudal en el tiempo. La descarga de agua subterránea ocurre a una elevación topográfica más baja que donde se origina la recarga (Peñuela Arévalo y Carrillo Rivera, 2013).

**Zona de recarga:** Para que exista una zona de recarga su primer indicador está asociado con la conductividad hidráulica de la roca, la cual puede permitir la infiltración del agua de lluvia; un segundo es que tal roca se localice en una elevación topográficamente alta. En la zona de recarga el nivel freático se encuentra profundo, el suelo es ácido y poco desarrollado con poca cantidad de materia orgánica, baja concentración de sodio y/o sales.

## **Trabajos realizados en el Mundo y Cuba sobre el cálculo de reservas de aguas subterráneas.**

(Rodolfo I., Ib, H. y Manrique O.B., 2011) en este trabajo presenta un análisis sobre la aplicación del cálculo de la recarga en un área de 105 km<sup>2</sup> con resultados satisfactorios, el mismo se desarrolla en Guatemala. Sobre la base de que el 15 % de la superficie está integrada por áreas de características semiáridas en las que el conocimiento cualitativo y cuantitativo del recurso hídrico subterráneo resulta de vital importancia. A pesar, de que la mayor parte de los procesos y mecanismos de la recarga en los acuíferos son relativamente bien conocidos y la obtención de una estimación fiable de la magnitud de la recarga natural presenta dificultades. Ellas están definidas en la variabilidad espacial de los factores que determinan las condiciones climáticas y especialmente la ocurrencia, magnitud y calidad de la recarga. Debido a ello, la mayoría de los métodos existentes para la estimación de la recarga generan resultados con un alto índice de incertidumbre.

(Del Toro Guerrero, Hinojosa Corona y Kretzschmar, 2014) el trabajo de investigación se efectuó en la subcuenca El Mogor en el Valle de Guadalupe (VG) en Baja California, México. En el mismo se realiza una caracterización integral, con el objetivo de cuantificar el aporte hidrogeológico de la subcuenca hacia el valle en el año hidrológico de 2010- 2011. Como parte de la caracterización, se estableció la conductividad hidráulica no saturada mediante la ecuación de Kozeny-Carman (KC). Se estimó un balance hídrico, con los que se obtuvo una infiltración potencial (I) en la subcuenca de 974 000 m<sup>3</sup> y un escurrimiento (Es) de 86 000 m<sup>3</sup>. Asimismo, se calculó de forma directa el escurrimiento superficial mediante el uso de un vertedor triangular de pared delgada con el que se estimó un volumen de 60 000 m<sup>3</sup>. Finalmente, mediante fórmulas empíricas, se calculó una recarga (vertical, de sistema montañoso, horizontal y por percolación por agua de riego) de 466 000 m<sup>3</sup>, que fue equivalente al 7 % de la precipitación infiltrable en el año hidrológico en estudio.

(D'Elia, Paris y Pérez, 2018) exponen el resultado del balance de agua que ingresa y egresa de los acuíferos en un área de llanura del centro de la

Provincia de Santa Fe (Argentina) y la identificación preliminar de algunos ecosistemas dependientes del agua subterránea. Para estimar la recarga local del acuífero libre se utilizaron diferentes metodologías, mientras que la descarga del acuífero se evaluó a partir de la continuidad entre dos secciones del río Salado. La demanda de agua subterránea para distintos usos fue estimada a partir de datos oficiales de los censos poblacionales, económicos y agropecuarios. La identificación de los ecosistemas dependientes del agua subterránea se realizó por medio de muestreos de agua y análisis en laboratorio y análisis de imágenes satelitales. Los resultados muestran que anualmente la recarga local del acuífero libre es del orden de  $21 \text{ Hm}^3$ , la recarga local del acuífero semiconfinado es del orden de los  $4 \text{ Hm}^3$  y la descarga al río Salado del orden de  $18 \text{ Hm}^3$ . La demanda de uso ganadero es del orden de  $2 \text{ Hm}^3$  y el consumo humano en áreas urbanas de  $14 \text{ Hm}^3$ . No se contó con datos oficiales de uso de agua para fines industrial e irrigación.

(Calvete Samper, 2018) realizó una evaluación de las extracciones de agua 9 subterránea mediante balances hídrico, la ecuación de balance resulta de imponer el principio de conservación de la masa, por el cual el balance neto de entradas y salidas de agua entre dos fechas determinadas debe coincidir con la variación de masa almacenada en el acuífero. Producto a que, la componente recarga presenta dificultades y presenta incertidumbres considerables entonces la estimación de las extracciones puede contener una elevada incertidumbre. Dicha incertidumbre, se puede reducir si se dispone de una adecuada caracterización hidrogeológica de la zona y de datos históricos sobre la evolución hidrodinámica e hidroquímica del sistema durante la fase de explotación de sus recursos subterráneos. Este método tiene mayor fiabilidad en acuíferos en los que el régimen de explotación provoca de forma simultánea una disminución de las descargas comparable a la disminución de las reservas.

En Cuba (Teruel García, 2005) plantea la necesidad de evaluar las reservas de aguas subterráneas del sector Managua – El Aserrío, para abastecer a la fábrica de Cerveza Bucanero S.A, debido a que las fuentes que la abastecen se encuentran en estado de sequía. Por lo cual se requiere la búsqueda de nuevos yacimientos de aguas subterráneas para la construcción de pozos de explotación alternativos que solucionen dicho problema. Se realiza una

evaluación de las condiciones hidrogeológicas del sector de estudio, así como la identificación de las posibles áreas perspectivas a través de la combinación de los métodos propios de la hidrogeología, apoyadas en técnicas geofísicas. Mediante la perforación de 11 calas de estudio se determinó el nivel freático, los valores de transmisividad, la composición química de las de aguas subterráneas, y se determina que es posible cubrir satisfactoriamente en calidad y cantidad la demanda de agua que necesita la industria (25 l/s).

(Fernández Miguel y Vázquez Taset, 2006) exponen los principales factores de origen antrópico, geológico y climático que pueden originar contaminación por nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) en las condiciones de Cuba. Se analiza la contaminación por estos compuestos nitrogenados en territorios del Sur del Valle del Cauto y la provincia Holguín. Se concluye que, en las condiciones de Cuba, la contaminación por nitratos y nitritos puede considerarse alarmante, atendiendo al 10 grado de desarrollo actual y a su posible incidencia sobre la salud de la población, evaluada de forma cualitativa. Finalmente se recomiendan una serie de medidas para detallar las causas principales de la contaminación y como erradicarlas.

(Del Toro Sánchez, 2009) realiza la evaluación cuantitativa de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca hidrográfica Sagua La Grande con el fin de lograr una satisfacción de las demandas de la producción y los servicios de manera sostenida, con el mínimo deterioro ambiental para el desarrollo agrícola, industrial y socio-económico del territorio, a partir de la información del Instituto Nacional De Recursos Hídricos (INRH) y otros organismos. Se describen las condiciones geológicas e hidrogeológicas del área y se realizó la regionalización hidrogeológica en la cuenca. Mediante el método de balance de las aguas subterráneas en sus tres principales variantes, se calculó los recursos naturales y explotables de las aguas subterráneas en cada tramo hidrogeológico.

(Hernández Valdés, 2011) alerta sobre la imprecisión de los métodos convencionales para evaluar recursos en acuíferos y por ende su inadecuado manejo. También se muestra el empleo de herramientas novedosas como la modelación matemática para realizar dicha evaluación y al mismo tiempo,

apoyada en ella, mejorar los planes de asignación de dichos recursos con diferentes horizontes de planeamiento y aplicar políticas de explotación óptima. Se ilustra un procedimiento para evaluar recursos con la utilización la tecnología AQÜIMPE, que se desarrolla en Cuba y se aplica en algunos acuíferos cubanos, no solo para el manejo de recursos, sino también para evaluar la respuesta del acuífero ante las distintas obras de ingeniería.

((RAUDAL), 2012) evalúa los recursos de aguas subterráneas existentes en los sectores Cuentas Claras y Cayo Redondo, con el propósito de abastecer a la ciudad de Manzanillo y sus alrededores. Se evalúan las condiciones hidrogeológicas imperantes en el sector de estudio y de esa forma dar una respuesta rápida y concisa a la demanda de agua que se necesita para abastecer a la ciudad de Manzanillo en el tiempo requerido. A través del uso de los 11 modelos matemáticos (programa AQÜIMPE) en combinación con los cálculos hidrogeológicos que se realizaron por los métodos hidrodinámico y de balance además de la complementación de las 32 calas perforadas concluyeron que si era posible abastecer a la ciudad de Manzanillo con el volumen y la calidad química y bacteriológica requerida, para el 2030.

((RAUDAL), 2014) evalúa la factibilidad de las aguas para consumo humano, a partir del análisis minucioso del muestreo hidroquímico en el sector de estudio. Tiene como finalidad determinar la calidad de las aguas. El acuífero se caracterizó por la presencia de manantiales con agua hidrocarbonatada-cálcica con mineralización de 1,5 g/l y caudal de 259,2 m<sup>3</sup>/día, las cuales se determinaron como aptas para el consumo humano.

(Suárez Pecosó, 2015) realiza un estudio de los elementos monitoreados durante el proceso de Balance de Agua que inciden directamente en los volúmenes de los Recursos Hídricos Disponibles en el sector hidrogeológico VC-I-1A , a partir de la información brindada por la Delegación y la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico del INRH en Villa Clara. Se realizó el análisis estadístico de las variables lluvia, nivel estático y entregas a los diferentes usuarios, lo que permitió obtener un algoritmo de trabajo que permite realizar la determinación del Recurso Hídrico Disponible en el sector de forma operativa y lo más cercano posible a los valores reales.

(Núñez Revé, 2019) realiza una evaluación de las reservas de las aguas subterráneas en el área La Ceiba-Certeneja de Güirabo, para abastecer a la Fábrica de Cerveza Bucanero S.A. Mediante la implementación de los métodos: hidrodinámico y de balance, además de analizarse la calidad de las aguas a través de la norma cubana NC 827: 2017. Las reservas de explotación calculadas obtuvieron un caudal de 20 l/s, la cual satisfacía la demanda requerida para abastecer a la Fábrica de Cerveza Bucaneros S.A.

# CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO - GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y PARTICULARES DEL ÁREA DE ESTUDIO.

## 1.1 Ubicación geográfica.

El área investigada Las Calabazas-Los Arroyos pertenece al municipio Calixto García (ver figura 1), el cual se encuentra en el extremo occidental de la provincia Holguín, limita al Norte con el municipio Jesús Menéndez de la provincia Las Tunas. Al sur con el municipio Cauto Cristo de la provincia de Granma. Al este con Majibacoa Las Tunas y al Oeste con el municipio Holguín. Los límites en coordenadas Lambert del área de estudio son los siguientes:

**Este:** X1=529 000, X2=534 980 y **Norte:** Y1=233 033 y Y2=246 028.

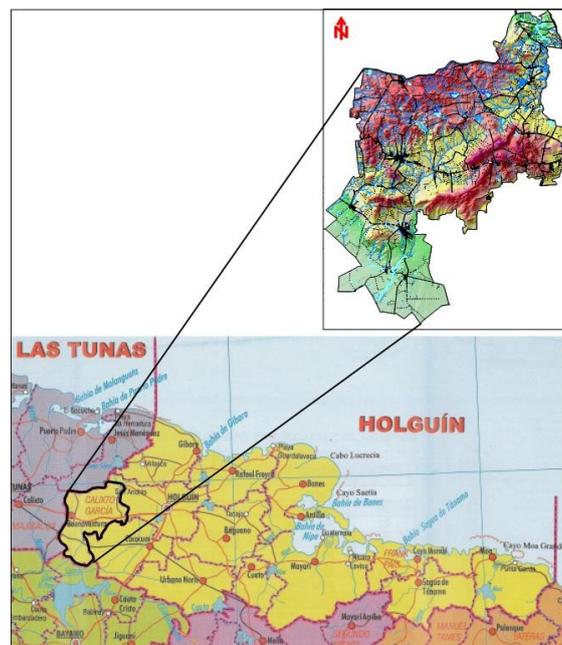


Figura 1. Ubicación geográfica del municipio Calixto García.

## 1.2 Clima.

El área de estudio, según la regionalización climática (ACC, 1989), está en la zona tropical, región Caribe, subregión Caribe sudoriental, caracterizada por vientos alisios con zonas relativamente lluviosas. El tipo de clima es tropical húmedo con lluvias todo el año. Según las condiciones climáticas, pertenece al subtipo llanuras y alturas con humedecimiento estacional relativamente estable, alta evaporación y altas temperaturas.

El cambio climático que afecta a toda Cuba y en especial a la región oriental del país, ha provocado la disminución de las precipitaciones (ver figura 2), influyendo en las corrientes superficiales y en la recarga de los acuíferos, por lo que se ha venido produciendo un abatimiento de los niveles al aumentar también la explotación.

Tabla 1. Principales indicadores del clima en el municipio Calixto García.

Estaciones	Lluvia		Temperatura (°C)		Viento predominio		Humedad relativa media (%)	Nubosidad
	Total anual (mm)	Días unidad (>5 mm)	Máximo absoluto	Mínimo absoluto	Dirección	Rapidez (Km/h)		
La Jíquima	909,1	122,0	36,7	8,0	E	13,0	77,0	3,0

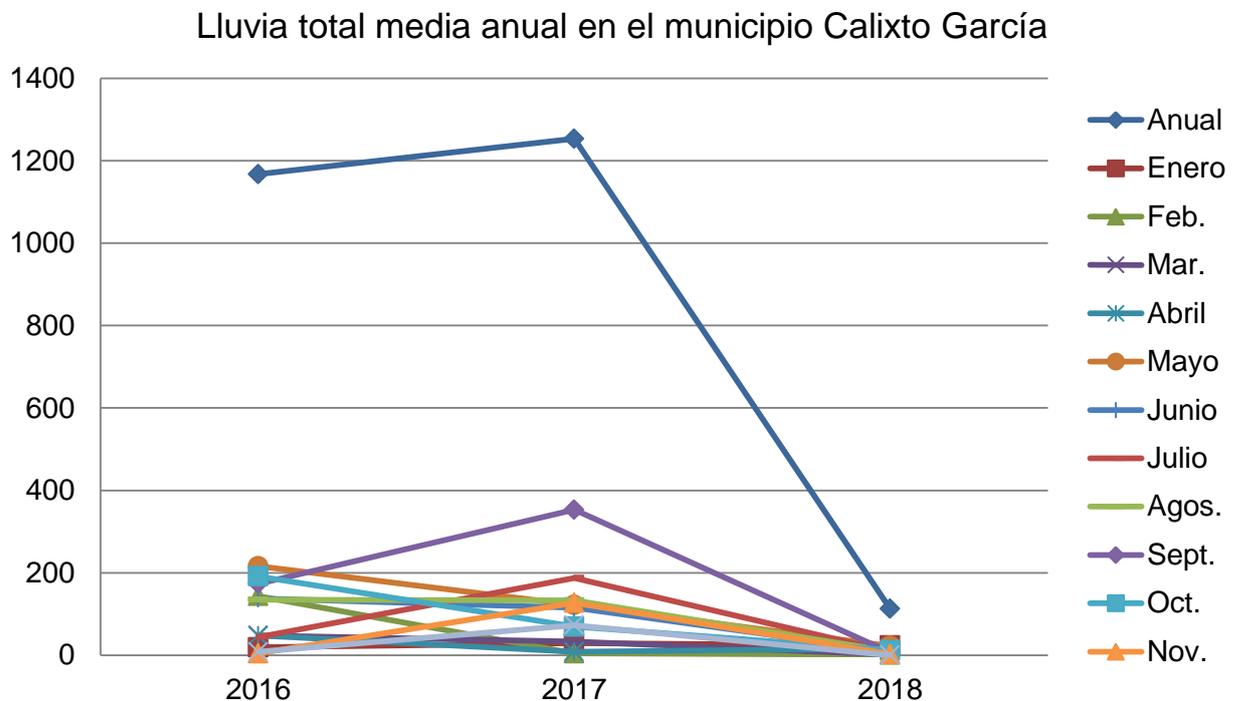


Figura 2. Lluvia total media anual en el municipio Calixto García.

### **1.3 Poblaciones y redes de comunicaciones.**

Los principales asentamientos poblacionales del municipio calixteño lo constituyen la ciudad de Buenaventura, cabecera municipal, Mir, San Agustín, Monte Alto, Dovalés, Las Calabazas, Jagüeyes, San Lorenzo, San Ramón, La Palma, Sabanazo, Los Dagamitos, Los Arroyos, La Jíquima, Guaramanao, Manantiales, Janata, La Torcaza, Santa Rita, Pozo Viejo, Las Cruces Dos, Punta Roja, Copán, La Piedra, entre otros asentamientos rurales.

Las principales vías de comunicación lo constituye la carretera central que parte al municipio casi a la mitad de este a oeste en buen estado, así como el ferrocarril central que pasa por el sur por las localidades de Mir y El Manguito, además de otros terraplenes y caminos que comunican a las localidades antes mencionadas que se encuentran en estado de conservación de regular a malo, pero accesibles con equipos de doble tracción, aún en época de lluvias.

Existe el servicio de correo postal, la telefonía llega hasta los lugares más apartados incluyendo la cobertura para celulares que existe en casi todo el municipio. En el municipio existe también una radio en la cabecera municipal de Buenaventura.

Tabla 2. Población y densidad del municipio Calixto García.

Concepto	Población residente	Densidad de población (Hab./km <sup>2</sup> )
Calixto García	54 725	92,5

### **1.4 Desarrollo industrial y agrícola.**

La principal fuente económica del municipio se encuentra en la agricultura, con el desarrollo de plantaciones de frutos menores, viandas, granos y vegetales, así como el desarrollo agropecuario representado por la ganadería, centros porcinos y avícolas estatales y privados. La apicultura tiene también un lugar destacado en el municipio con la producción de mieles y cera.

La industria está representada fundamentalmente por las canteras para materiales de construcción, fundamentalmente arenas y algunos áridos gruesos que se procesan en plantas preparadas para ese propósito. También

existen instalaciones de elaboración de alimentos, de objetos artesanales entre otras producciones.

### **1.5 Orografía y red hidrográfica.**

La zona de estudio se desarrolla en los límites del Grupo Orográfico Maniabón de oeste a este hasta el noreste, la cuenca del Cauto al sur y al norte-noroeste con la llanura costera carbonatada-terrígena.

En el primero se desarrollan elevaciones bajas en forma de cerros formados por rocas calizas cretácicas o cuerpos intrusivos magmáticos de alta dureza ante los procesos erosivo - denudativos, los que pueden elevarse entre la llanura alta ondulada, desarrollada sobre rocas efusivo-magmáticas y piroclásticas o rocas terrígenas de menor dureza. Entre estas elevaciones se encuentran Cerro Verde, Loma del Muerto, Jagüeyes, Cabezo, La Limita, Las Setenta, Sabana Adentro, y los Aromales.

En el segundo en el mismo borde del Grupo Orográfico Maniabón, se elevan colinas donde las rocas carbonatadas que la forman buzando hacia el sureste y sur, donde da paso a llanuras cársicas y terrígeno carbonatadas altas en la primera parte y que van bajando en cotas hacia esa dirección dando paso a la llanura fluvio-marina del Cauto. Las principales alturas son los Manantiales-Guaramanao, La Bartola, Flores, Aguada del Almiquí Picado, y Salsipuedes.

En la llanura carbonatada-terrígena se desarrolla en la zona de estudio las secuencias de la Fm. Vázquez.

La red hidrográfica es relativamente densa con dirección de las corrientes hacia el sureste y sur, y norte corriendo estos solamente en época de lluvias. Hacia el norte la corriente principal es el río Chaparra, con sus afluentes Janata, La Mula, Grande, Santa Rosa, La Cadena, Arroyón, Antolín, y Florida, entre otras cañadas y arroyos; mientras que al oeste y sur corren los ríos La Rioja, Cabezo, La Vigía, Salado, Las Minas, y Majibacoa. En los mismos pueden encontrarse drenajes convergentes lo que indica la presencia de carso.

### **1.6 Geología del área de estudio.**

El municipio Calixto García se caracteriza desde el punto de vista geológico por presentar dos grandes pisos estructurales: El basamento plegado pre-

oligoceno y la cobertura neoplatafórmica del Oligoceno al Mioceno Medio parte alta.

En la zona de estudio se encuentran las rocas de la llamada neoplataforma o cobertura, formadas por las rocas post-oligocenas desde el miembro Pedernales de la formación Camazán, las calizas de esta última formación, las rocas terrígenas carbonatadas de la Fm. Vázquez y las calizas, margas y arcillas de la formación Paso Real.

En el área de Las Calabazas – Los Arroyos se encuentran las secuencias de la cobertura neoplatafórmica, compuesta por la formación Paso Real en contacto tectónico con la formación Camazán, y el miembro de Pedernales (ver figura 3), a continuación se describen cada una de ellas:

**Formación Paso Real psr (e9-n4):** como se aprecia en la figura 3, se encuentra situada en la parte sur del área de estudio, en un contacto tectónico con la formación Camazán. Está compuesta por calizas margosas, arcillas y margas. Las margas, al igual que las calizas son fosilíferas. Aparecen intercalaciones de areniscas y aleurolitas calcáreas además de arcillas. Así como conglomerados polimícticos de matriz margosa. Colores crema, blancuzco y grisáceo en los horizontes carbonáticos y grisáceo y verdoso en los terrígenos.

**Formación Camazán cz (e9-n1). Unidad principal: Grupo Nipe:** como se aprecia en la figura 3, se encuentra situada en la parte norte del área de estudio, en un contacto tectónico con la formación Paso Real. Está representada por caliza dura, recristalizada, fosilífera coralina - algáceas (biolititas), calizas biodetríticas, presencia de numerosos corales y otros fósiles. Su coloración es amarillo, crema. En ellas son escasas las grietas y abundantes las oquedades cársicas.

**Miembro Pedernales (pd e9-n1) de la Formación Camazán:** como se aprecia en la figura 3 se encuentra situada principalmente en la parte noroeste del área de estudio. Existe como conglomerados polimícticos, débilmente cementado compuesto principalmente por clastos de diabasas, gabros y ultramafitas, redondeados. Con matriz masiva carbonatada que reacciona fuertemente con el ácido clorhídrico. La coloración de los clastos es oscura, abigarrada.

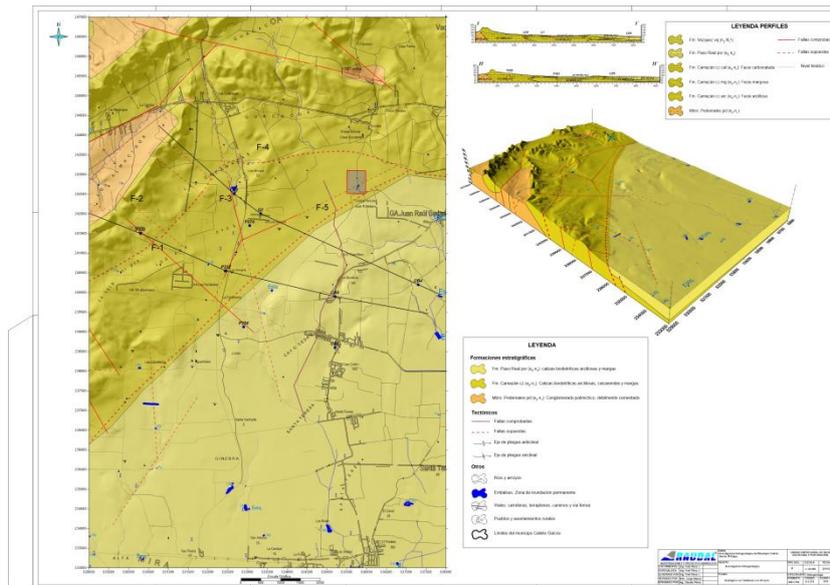


Figura 3. Mapa geológico de Las Calabazas - Los Arroyos, escala 1: 25 000.

### 1.7 Estratigrafía.

La estratigrafía de la zona de estudio se divide en dos grandes grupos de secuencias estratigráficas o litológicas, las secuencias del basamento plegado y las secuencias de la cobertura neoplatafórmica. La descripción de estas secuencias se hace desde las rocas más viejas pre-oligocenas hasta las más jóvenes del Mioceno Medio parte alta (n4) al Pleistoceno (Q1). A continuación se describen cada una de estas secuencias.

#### **Formaciones del basamento plegado pre-oligoceno**

- **Serpentinitas y melange serpentinitico (Formación Yaguajay). s (j7-b4)**

**Distribución geográfica:** Afloran al noreste de la zona de estudio en las localidades de Sabana Adentro, La Caridad, Cerro Verde, La Florida, La Pajilla, El Martillo, y El Llano.

**Litología:** Serpentinitas foliadas y brechosas con mezclas de un melange ofiolítico con rocas volcánicas del arco Cretácico.

**Relaciones estratigráficas:** Casi todos sus contactos son tectónicos con las rocas pre-oligocenas, pudiendo encontrarse discordante sobre estas las rocas del arco terciario representadas por la formación Vigía, mientras que las secuencias neoplatafórmicas pueden aparecer discordantes sobre estas,

aunque en la zona solamente se observan discordante los depósitos palustres del Holoceno.

**Correlaciones:** No se conocen.

**Edad:** Jurásico Superior (Tithoniano)-Cretácico Inferior (Barremiano).

**Espesor:** Más de 500 m.

- **Formación Iberia ib (b<sub>6</sub>-k<sub>1</sub>)**

**Distribución geográfica:** Se desarrolla al noreste de la zona de estudio, en los alrededores de los poblados La Florida, La Yuraguana, La Entrtada, San Agustín y San Valentín.

**Litología:** Lavas andesíticas, andesito-diabásicas y basálticas, diques diabásicos, tobas aglomerados básicas y medias, lava brechas andesito-basálticas, conglomerados, areniscas, calizas y margas.

**Relaciones estratigráficas:** Se desconocen.

**Edad:** Cretácico Inferior (Albiano)-Cretácico Superior (Cenomaniano).

**Ambiente de sedimentación:** Variable desde cuenca profunda, pelágica, hasta zona del talud inferior.

**Espesor:** Oscila entre 1000 y 1200 m.

- **Formación Guáimaro gr (b<sub>6</sub>-k<sub>3</sub>). Sinonimia Formación Buenaventura**

**Distribución geográfica:** Se desarrolla en la parte oeste del área en los poblados de Palmarito, La Chambelona, Cabecito, Cabezo, El Zorral, Jagüeyes Dos, Las Barias, La Cuchilla, Mijjal Canada, y Mala Noche.

**Litología:** Lavas, lavobrechas basálticas, traquiandesíticas, traquibasálticas, andesíticas, clastolavas basálticas. También aparecen rocas piroclásticas: tobas aglomeráticas, paquetes de rocas piroclásticas. Entre las sedimentarias predominan los conglomerados y las calizas. La alternancia de flujos y mantos de lavas, en algunos casos, se separan por cuerpos finos de rocas piroclásticas de poca potencia o por rocas sedimentarias más raramente.

**Relaciones estratigráficas:** Se desconoce su subyacente. Es cubierta discordantemente por las formaciones Martí y Vidot.

**Edad:** Cretácico Inferior (Albiano)-Cretácico Superior (Coniaciano).

**Ambiente de sedimentación:** Se depositó en un ambiente marino de aguas someras, en condiciones de mar abierto con relieve irregular del fondo.

**Espesor:** 7 000 m.

- **Formación Crucero Contramaestre cct (k<sub>2</sub>-k<sub>5</sub>). Sinonimia miembro Sirven de la antigua Formación Buenaventura**

**Distribución geográfica:** Se desarrolla en la parte más occidental de la zona investigada, ocupando parte de los poblados de Cañada Honda, Jagüeyes, y Loma La Bartola.

**Litología:** Areniscas, conglomerados, gravelitas, tobas, tufitas aleurolíticas, calizas silicificadas, silicitas gris carmelitosas, lavobrechas, andesitas, basalto-andesitas, basaltos. En el área se observan tobas, calizas silicificadas, y silicitas.

**Relaciones estratigráficas:** Su subyacente se desconoce. Es cubierta transgresivamente por las formaciones Arabos y Río Yáquimo en Camagüey, en la zona de investigación yace discordantemente sobre la formación Guáimaro y es sobreyacida discordantemente también sobre la formación Tinajita.

**Edad:** Cretácico Superior (Turoniano?-Campaniano Inferior).

**Ambiente de sedimentación:** Esta formación abarca un grupo variado de rocas a primera vista no paragenéticas: sedimentos profundos con foraminíferos planctónicos y radiolarios, en asociación con clastos groseros y fauna de mares someros y litoral.

**Espesor:** Oscila entre 8 000 y 13 500 m.

- **Formación Tinajita tn (k<sub>5</sub>-k<sub>6</sub>). Sinonimia miembro Las Parras.**

**Distribución geográfica:** Se desarrolla en forma de parches al oeste, suroeste, y noreste del área, cercano a los poblados de Cuatro Caminos, Cañada Honda, El Zorral, Loma La Bartola, Los Añiles, y Santa Rita.

**Litología:** Calizas órgano-detriticas, calizas oolíticas, calizas micríticas, calizas organógenas, calizas silicificadas que pueden llegar hasta silicitas y margas.

**Relaciones estratigráficas:** Yace tectónicamente sobre la formación Iberia. Su límite superior es erosivo.

**Edad:** Cretácico Superior (Campaniano-Maestrichtiano Inferior).

**Ambiente de sedimentación:** Se depositó en un ambiente nerítico, llegando a arrecifal.

**Espesor:** Oscila entre 30 y 50 m.

- **Formación La Jíquima Ij (k<sub>5</sub>-k<sub>6</sub>)**

**Distribución geográfica:** Se desarrolla en la parte noreste de la zona, abarcando los poblados de La jiquima (el que le da nombre a la Fm), Vista Hermosa, El Martillo, Janatica, La Lima, y Parte de San Andres.

**Litología:** Areniscas vulcanomícticas, bien estratificadas, de grano fino a medio con intercalaciones de aleurolitas vulcanomícticas y argilitas bien estratificadas, a veces carbonatadas. El espesor de las capas de areniscas es variable (1-2 cm hasta 30-40 cm) y en ellas muchas veces se observa una estratificación gradacional.

**Relaciones estratigráficas:** Yace discordantemente sobre la formación Iberia. Es cubierta discordantemente por las formaciones Camazán, Vigía y el olistostroma Haticos.

**Edad:** Cretácico Superior (Campaniano-Maestrichtiano).

**Ambiente de sedimentación:** Se depositó en aguas de mediana profundidad, en un medio reductor que posibilitó la conservación de restos de plantas carbonizadas.

**Espesor:** 300 m.

- **Formación Lindero Id (k<sub>5</sub>-k<sub>6</sub>)**

**Distribución geográfica:** Se desarrolla en un pequeño afloramiento al norte del área cercano al poblado de La Jíquima.

**Litología:** Calizas bien estratificadas, generalmente silicificadas, con colores grises, verdosos y rosáceos.

**Relaciones estratigráficas:** Yace discordantemente sobre la formación Iberia. Es cubierta discordantemente por la formación Vigía.

**Edad:** Cretácico Superior (Campaniano-Maestrichtiano).

**Ambiente de sedimentación:** Se depositó en una cuenca marina de aguas profundas.

**Espesor:** Menos de 100 m.

- **Olistostroma Haticos ht (e<sub>3</sub>) (unidad informal).**

**Distribución geográfica:** Su desarrollo se encuentra al norte noroeste de la zona de trabajo, abarcando los poblados de San Agustín, Las Delicias, Cabezo, La Virginia, La Bartola, El Rosario, Loma El Muerto, y Buenaventura.

**Litología:** Secuencia olistostrómica constituida por brechas y conglomerados polimícticos, la matriz está formada por areniscas y aleurolitas, con intercalaciones de areniscas y aleurolitas. El tamaño de los olistolitos es variable, van desde algunos metros hasta centenares de metros y los mismos son de ultramafitas serpentinizadas, gabros, gabro-diabasas, granodioritas, cuarcitas, calizas, areniscas, aleurolitas, basaltos, andesito-basaltos, tufitas y granodioritas. La parte superior de esta unidad está constituida por conglomerados y brechas tobáceas con intercalaciones de tobas riódacíticas o dacíticas, las cuales cuando transicionan a los conglomerados contienen fragmentos de estos y en más alta del corte se encuentran los olistolitos más grandes de granodioritas que pueden ser confundidos como cuerpos intrusivos, observado esto en La Loma del Muerto en la carretera que va de San Agustín a Buenaventura.

**Relaciones estratigráficas:** Yace discordantemente sobre las formaciones Iberia, Guáimaro, Crucero Contramaestre y La Jíquima. Es cubierta transgresivamente por la formación Vigía y con discordancia estructural por la Formación Camazán y su miembro Pedernales.

**Edad:** Paleoceno Superior.

**Ambiente de sedimentación:** Se depositó en una cuenca de poca profundidad.

**Espesor:** Oscila entre 200 y 800 m.

- **Formación Vigía vg (e<sub>3</sub>-e<sub>5</sub>)**

**Distribución geográfica:** Aflora en forma de franjas alargadas, al norte noreste de la zona de trabajo, en las localidades de Corral Falso, Janata, Loma Blanca, Santa Inés, Domínguez, La Torcaza, La Monja, Cruce de Guaramanao, José Merceron, y Río Colorado.

**Litología:** Areniscas polimícticas de granos grueso, medio a fino, aleurolitas con intercalaciones de tobas riolíticas, tufitas, margas y arcillas bentónicas.

Las areniscas están bien estratificadas, encontrándose en algunas capas foraminíferos grandes (*Discocyclina* sp., *Lepidocyclina* sp., *Nummulites* sp.).

Las tobas riolíticas son generalmente vitrocrystaloclasticas, a veces pumíticas, en ocasiones carbonatadas, porosas, de color blanco, blanco-grisáceo.

Las tufitas están frecuentemente silicificadas, carbonatadas o bentonizadas, bien estratificadas y en ocasiones plegadas y fracturadas.

Entre las tobas riolíticas, tufitas y areniscas se encuentran en ocasiones capas finas de diatomitas.

Relaciones estratigráficas: Yace transgresivamente sobre la formación La Jíquima y el olistostroma Haticos. Es cubierta discordantemente por las formaciones Camazán, Río Jagüeyes, Júcaro y Vázquez.

Correlaciones: Es correlacionable con la parte alta de la formación Sabaneta y con las formaciones El Embarcadero y El Recreo, todas de Cuba Oriental.

Edad: Paleoceno Superior-Eoceno Medio.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente nerítico, con un régimen dinámico de las aguas muy inestable. Las tobas tienen su origen en una actividad volcánica lejana.

**Espesor:** Oscila entre 200 y 300 m.

- **Formación Charco Redondo chr (e5)**

**Distribución geográfica:** Aflora en forma de una pequeña franja en el extremo oeste de la zona de estudio, ocupando parte de la Loma de Buenavista.

**Litología:** Calizas compactas organodetríticas, fosilíferas, de color variable. En la parte inferior del corte, son frecuentes las brechas. En esta parte predomina

la estratificación gruesa, mientras que en la superior predomina la estratificación fina.

**Relaciones estratigráficas:** Yace discordantemente sobre las granodioritas y es cubierta discordantemente sobre la formación Paso Real.

**Correlaciones:** Es correlacionable con la parte alta de la formación Sabaneta y con las formaciones El Embarcadero y El Recreo, todas de Cuba Oriental.

**Edad:** Eoceno Medio.

**Ambiente de sedimentación:** Se depositó en aguas poco profundas, en un ambiente litoral y sublitoral.

**Espesor:** Oscila entre 50 y 200 m.

### **Formaciones de la cobertura neoplatafórmica del Oligoceno al Mioceno Medio parte alta**

- **Formación Monte Alto mal (e7)**

**Distribución geográfica:** Aflora en forma de un pequeño parche en la localidad de Monte Alto.

**Litología:** Margas y arcillas muy carbonatadas con clastos de calizas.

**Edad:** Oligoceno.

- **Miembro Pedernales (pd e9-n1) de la Formación Camazán**

**Distribución geográfica:** Se desarrolla como una faja en la parte central del área y algunos parches al este y sur de la zona, ocupando los poblados de La Conchita, Manantiales, Boca Abajo, San Ramón, Irene, Cruce de Mir, Pozo Viejo, y La Piedra.

**Litología:** Conglomerado polimíctico, débilmente cementado, constituido principalmente por clastos de diabasas, gabros y ultramafitas, moderadamente redondeados y seleccionados, con un tamaño frecuente de 4-7 cm. Son masivos o con estratificación lenticular, ocasionalmente cruzada. La matriz contiene en algunos cortes grandes *Lepidocyclinas*. La coloración es oscura, abigarrada.

**Relaciones estratigráficas:** Yace discordantemente sobre las formaciones Crucero Contramaestre, Vigía y el olistostroma Haticos. Es cubierto concordantemente por la parte indiferenciada de la formación Camazán.

**Correlación:** Es correlacionable con la formación Cabacú y el miembro Cilindro (Formación Maquey) de Cuba Oriental.

**Edad:** Oligoceno Superior-Mioceno Inferior.

**Ambiente de sedimentación:** Sedimentos aluviales depositados en un fondo marino somero y parte de ellos en la desembocadura de ríos constituyendo depósitos estuarinos o deltaicos fluviomarinos.

**Espesor:** Aproximadamente 150 m.

- **Formación Camazán cz (e<sub>9</sub>-n<sub>1</sub>). Unidad principal: Grupo Nipe**

**Distribución geográfica:** Se desarrolla como una faja continua desde la parte centro-este del área de estudio hasta el suroeste de ésta, terminando antes de llegar al límite oeste, siguiendo casi todo el sistema de colinas bajas y parte de la penillanura cársica, aflorando en las localidades Cruce de San Andrés, La Aduana, Cabezuela, Cohatal, Dovalés, Guaramanao, Las Calabazas, Guacacoa, Los Arroyos, Blanquizal, La Rioja, Monte Alto, Mir y El Manguito.

**Litología:** Calizas biodetríticas, a veces arcillosas, calcarenitas, arcillas calcáreas, con intercalaciones de margas. Coloración variable, amarillo, crema, carmelita y gris.

**Relaciones estratigráficas:** Yace discordantemente en la zona de estudio sobre las formaciones Crucero Contramaestre, Vigía, el olistostroma Haticos y las rocas magmáticas. Es cubierta concordantemente por la formación Paso Real y discordantemente fuera de la zona al sur por las formaciones Bayamo y Cauto.

**Correlación:** Es correlacionable con las formaciones Báguanos, Bitirí, Maquey, Sevilla Arriba y Yateras de Cuba Oriental.

**Edad:** Oligoceno Superior-Mioceno Inferior.

**Ambiente de sedimentación:** Se depositó en parte en la zona sublitoral, con facies arrecifales y retroarrecifales, y en parte en un ambiente con circulación restringida.

**Espesor:** Oscila entre 440 y 800 m, según datos de pozos.

- **Formación Paso Real psr (e<sub>9</sub>-n<sub>4</sub>)**

**Distribución geográfica:** Se desarrolla como una faja continua en forma de U desde la parte centro-sur-este del área de estudio hasta el centro-suroeste de esta, siguiendo casi toda la penillanura cársica-arcillosa hasta la llanura del Cauto donde es cubierta por la formación homónima, aflorando en las localidades de Arroyo Blanco, San Rafael, La Victoria, Cayo Cedro, Maceo, Mulet, Trinidad, La Manchuria, Limpio del Toro, Limonar, El Salitre, Sabanazo y Las Coloradas.

**Litología:** Son característicos en ella los cambios litológicos abruptos tanto vertical como lateralmente. Predominan las alternancias de calizas y margas. Las calizas son arcillosas, biodetríticas arcillosas y más subordinadamente calizas biohémicas, calizas dolomitizadas, dolomitas y calcarenitas. Las calizas arcillosas por desagregación originan pseudoconglomerados calcáreos de matriz margoso-arenácea. En general son masivas. Las margas, al igual que las calizas son fosilíferas. Aparecen intercalaciones de areniscas y aleurolitas calcáreas y arcillas (principalmente esmectita) que contienen en algunos horizontes pirita, yeso, halita y lignito. Pueden aparecer conglomerados polimícticos de matriz margosa muy fosilíferos. La estratificación está enmarcada por los cambios litológicos y es frecuentemente lenticular. Colores crema, blancuzco y grisáceo en los horizontes carbonáticos y grisáceo y verdoso en los terrígenos. En los lugares donde predominan las calizas sobre las arcillas se observan algunas dolinas cársicas o depresiones de valles concéntricos.

**Relaciones estratigráficas:** En la zona de estudio en parte se correlaciona lateralmente con la Formación Camazán y en parte yace concordantemente de forma transicional sobre esta, a la vez se encuentra sobre ella fuera de la zona de estudio de forma discordante la formación Cauto. Debe destacarse que los límites de esta formación geológica con los de la formación Río Jagüeyes en la

Cuenca de la Bahía de Nipe son imprecisos porque tienden a confundirse, ya que en parte son correlacionables por lo menos durante el Mioceno, coincidiendo las litologías en la parte arcillosa-carbonatada.

**Edad:** Oligoceno Superior-Mioceno Medio parte alta.

**Ambiente de sedimentación:** Se depositó en un ambiente sublitoral limitado y en áreas lagunares de circulación restringida, señaladas éstas por la asociación Ammonia-Ostrácodos y la presencia de yeso, halita, piritita y lignito en sedimentos arcillosos.

**Espesor:** Oscila entre 30 y 1 365 m (este último en el pozo Candelaria 1).

- **Fm. Vazquez (vq n<sub>2</sub>-N<sub>1</sub><sup>2</sup>)**

**Distribución geográfica:** Aflora en los extremos centro-norte y centro-noroeste de la zona de estudio, casi toda dentro de la provincia de Las Tunas y solamente un 10 % dentro del municipio Calixto García en las localidades Los Coquitos, El Roble, El Torreón, Sao Malo, Aguarás y Las Setenta.

**Litología:** Formada por una alternancia de margas, aleurolitas calcáreas o arcillosas, argilitas y arcillas arenáceas, calizas organodetríticas y calcarenitas. Colores crema, amarillento, grisáceo, verdoso, rojizo y blancuzco, predominando el primero. Estratificación enmarcada, en general, por los cambios litológicos.

**Relaciones estratigráficas:** En la zona yace discordantemente sobre las formaciones Iberia, el Olistostroma Haticos y las ultramafitas. Es cubierta discordantemente por la Fm. Jaimanitas al norte fuera de la zona y la cobertura aluvial.

**Edad:** Mioceno Inferior parte alta- Mioceno Medio.

**Ambiente de sedimentación:** La presencia de arcilla con yeso, piritita, restos vegetales y lignito indican un ambiente de cuenca restringida, en un medio reductor, probablemente pantanos y lagunas costeras, al cual corresponde la asociación Ammonia- Ostrácodos, mientras las asociaciones bentónicas presentes en otros horizontes y localidades (Elphididae, Amphisteginidae, Soritidae) caracterizan un ambiente sublitoral de moderada energía.

**Espesor:** Oscila entre 52 y 200 m.

- **Formación Cauto (caQ<sub>1</sub>)**

**Distribución geográfica:** Aflora en los extremos sureste y suroeste de la zona de estudio, en las localidades de Pelayo, Santa Inés, La Florida, El Salvial, Cabe Tierra, La Purísima y San Francisco.

**Litología:** Arcillas, limos, arenas, gravas polimícticas y conglomerados polimícticos, con estratificación horizontal y cruzada. Coloración abigarrada.

**Relaciones estratigráficas:** En la zona no se observa el subyacente y fuera del área yace concordantemente sobre la formación Bayamo y en la zona discordantemente sobre la formación Paso Real. Fuera de la zona es cubierta concordantemente por los sedimentos aluviales del Holoceno.

**Edad:** Pleistoceno por su posición estratigráfica.

**Ambiente de sedimentación:** Se depositó en un medio aluvial, con alguna influencia marina cerca de la desembocadura del río Cauto, que debe haber sido mayor durante las transgresiones del Plioceno y el Cuaternario.

**Espesor:** Puede alcanzar los 25 m.

## **1.8 Tectónica.**

El área se caracteriza desde el punto de vista geológico por presentar dos grandes pisos estructurales: El basamento plegado pre-oligoceno y la cobertura neoplatafórmica del Oligoceno al Mioceno Medio parte alta.

El basamento se caracteriza por estar intensamente plegado y fracturado con fallas normales verticales y subverticales, aunque predominan las fallas inversas de bajo ángulo o corrimientos, formadas durante el emplazamiento tectónico de estas secuencias al colisionar con la plataforma norteamericana o de Bahamas más al norte y que forman casi todos los contactos entre las formaciones estratigráficas o asociaciones litológicas que afloran en el área. Este piso estructural se puede subdividir en dos subpisos: el del cretácico y el del paleógeno.

Discordante sobre estas secuencias plegadas, se encuentran las rocas de la llamada neoplataforma o cobertura, formadas por las rocas post-oligocenas desde el miembro Pedernales de la formación Camazán, las calizas de esta

última formación, las rocas terrígenas carbonatadas de la Fm. Vázquez y las calizas, margas y arcillas de la formación Paso Real.

La cobertura neoplatafórmica se caracteriza por tener una yacencia suave poco alterada tectónicamente con buzamientos suaves hacia el sureste y sur entre 5° a 8°, aunque localmente en zonas de fallas recientes la yacencia puede ser más abrupta y formarse braquipliegues anticlinales y sinclinales de dimensiones pequeñas, las que se representan en el plano.

- **Estructuras plicativas**

Dentro de las principales estructuras plicativas, en la zona se encuentran:

1. Anticlinorio central Cañada Honda-La Lima. Este constituye el eje del cinturón plegado, coincidiendo aproximadamente con el parte agua de las aguas superficiales y subterráneas.
2. Braquianticlinal sur Loma La Piedra. En este lugar, rodeado de rocas oligo-miocénicas, se levantan o afloran secuencias del basamento plegado.
3. Anticlinal Campo Libre-Los Almácigos. En esta estructura, localmente las calizas y margas de la Fm. Camazán rodean a los conglomerados de su miembro Pedernales.
4. Sinclinal Cañada Larga-Guacacoa. Inmediatamente a continuación del anticlinal anterior y separado por una falla intraformacional de unos 2.5 km de largo, se encuentran rocas de las calizas y margas de la Fm. Camazán rodeadas de los conglomerados de su miembro Pedernales.

Dentro de las principales estructuras disyuntivas, en la zona se encuentran:

1. Falla Naranjal-San Ramón. Es una falla de dirección noreste a suroeste que pone en contacto a las rocas de los arcos volcánicos cretácico (Fm. Guáimaro) y paleógeno (Fm. Vigía), afectando también las secuencias de la cobertura neoplatafórmica en su contacto (miembro Pedernales de la Fm. Camazán).
2. Sistema de fallas Manantiales-Dovales. Son dos fallas en forma de tijera de dirección noroeste-sureste y oeste-noroeste-este-sureste respectivamente que se cortan en un nudo tectónico hacia el Cruce de Dovales y que cortan las secuencias del miembro Pedernales y de la

- Fm. Camazán. Son fallas conductoras de aguas subterráneas hacia ese punto de intersección o nudo de fallas.
3. Falla Cañada Larga-Guacacoa. Es una falla de dirección noreste-suroeste que se encuentra entre el anticlinal y sinclinal anteriormente mencionado y que pone en contacto a las secuencias del miembro Pedernales y de la Fm. Camazán, intercepta a una de las fallas del sistema anterior, contribuyendo a la conducción en esa dirección de las aguas subterráneas.
  4. Falla La Cuchilla-El Manguito. Con dirección noroeste-sureste corta las secuencias de la Fm. Guaimaro y afecta además las secuencias de la Fm. Camazán.
  5. Falla Los Dagamitos-Mir. De dirección noroeste-sureste, afecta al cuerpo granodiorítico del basamento y a las secuencias de la Fm. Camazán.
  6. Fallas Las Mantecas-Blanquizal. De dirección noroeste-sureste, pone en contacto a las granodioritas, a los conglomerados del miembro Pedernales y a las calizas de la Fm. Camazán.
  7. Falla Salsipuedes-La Rosal. De dirección noroeste-sureste afecta a los conglomerados del miembro Pedernales y a las calizas de la Fm. Camazán.
  8. Sistema de fallas Pozo Viejo-Sao Piedra. De dirección noroeste-sureste, afectan a los conglomerados del miembro Pedernales y a las calizas de la Fm. Camazán.
  9. Falla La Veintidos-La Esperanza. De dirección noroeste-sureste, es una falla intraformacional que afecta solamente a las calizas y margas de la Fm. Camazán.
  10. Sistema de fallas Las Calabazas-Los Arroyos. Forma una Y, siendo detectada por investigaciones geofísicas realizadas por RAUDAL. Sistema conductor de aguas subterráneas, detectándose en la Cala LA2 niveles que no pudieron abatirse por cubeteo.

En la zona el sistema de fallas noroeste-sureste tiene un mayor desarrollo que las noreste-suroeste, por lo menos en las fallas consideradas comprobadas, al encontrarse en el Mapa Geológico a escala 1: 100 000 de Cuba y detectadas además por el filtrado direccional o de fracturación (ver figura 4).

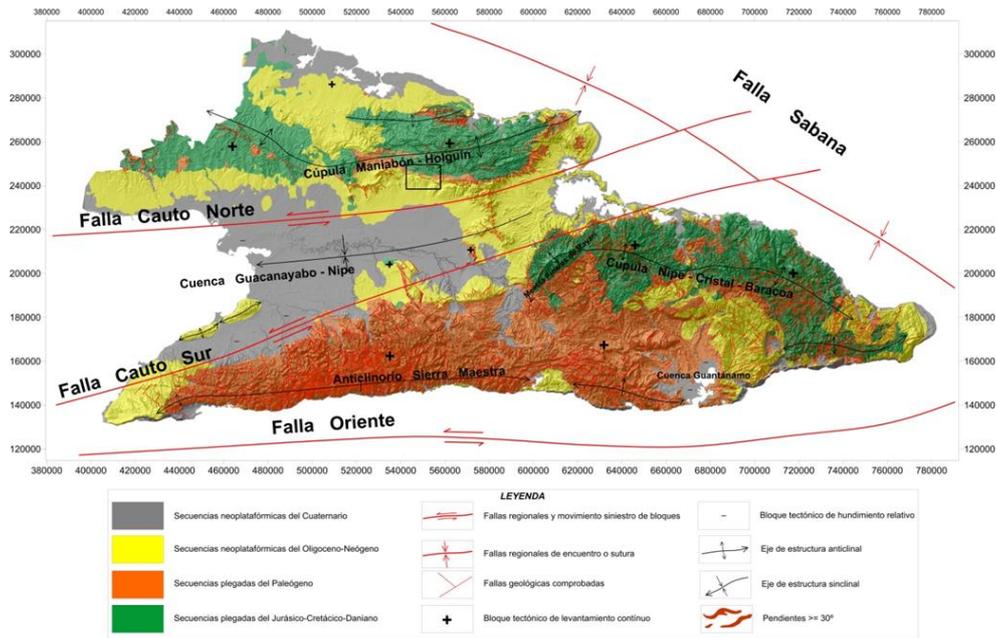


Figura 4. Mapa morfotectónico de Cuba Oriental. Tomado de (Blanco Blázquez, 2016), escala 1: 50 000.

### 1.9 Magmatismo.

El magmatismo se puede dividir en dos etapas o periodos, el magmatismo del arco Cretácico y el magmatismo del arco Paleógeno. En ambos periodos ocurrieron la formación de cuerpos intrusivos y secuencias efusivas de lavas y piroclásticas. En la zona los cuerpos intrusivos y rocas efusivas andesítico-basálticas y basálticas se desarrollaron más en el arco Cretácico, mientras que las de rocas piroclásticas y vulcanomícticas se desarrollaron más en el vulcanismo terciario.

Entre las rocas magmáticas presentes en la zona se pueden mencionar: andesitas(a), andesito-basaltos (ab), riodacitas (rd) y granodioritas (gd), las que se representan en el mapa geológico de la zona de estudio. A pesar de tener un origen magmático, algunos cuerpos de granodioritas son olistolitos dentro del Olistostroma Haticos como se mencionó con anterioridad.

### 1.10 Geomorfología.

La zona de estudio se encuentra ubicada su mayor parte en la cobertura neoplatofórmica del Oligoceno al Mioceno carbonatado-terrágeno que cubre por sus flancos al macizo plegado pre-oligoceno que aflora en la morfoestructura del anticlinorio que forma las alturas Holguín-Maniabón. Dentro de esta

cobertura neoplatafórmica, se encuentra en una parte en la vertiente sur que drena las aguas superficiales y subterráneas hacia la cuenca Cauto en la franja Maceo-San Germán y la otra parte hacia el norte-noroeste que drena sus aguas una parte también al sur donde forma un parte agua y la otra parte al norte-noroeste. En la zona de estudio convencionalmente se han dividido 3 zonas geomorfológicas y 4 subzonas (ver figura 5).

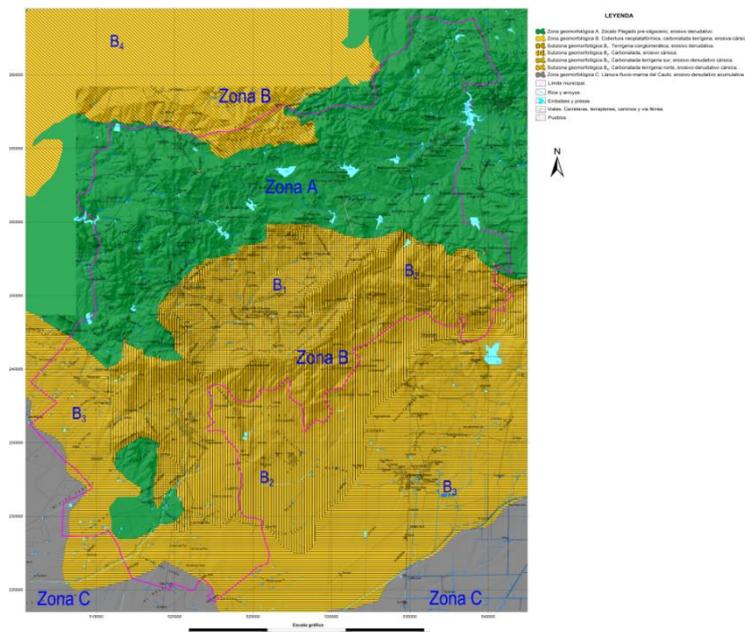


Figura 5. Mapa geomorfológico del área de estudio, escala 1: 50 000.

### I. Zona geomorfológica A

Zona geomorfológica A. Cinturón plegado pre-oligoceno, erosivo denudativa, relacionada con las rocas del zócalo plegado pre-oligoceno, que por la extensión de la zona de estudio, solamente aparece en dos afloramientos como se observa en el mapa de la figura 3 con una extensión entre ambos de 419.0Km<sup>2</sup>, representando el 32 % del área total. Las cotas en esta zona están entre 31.96 m a 231.11 m con promedio 100.51 m y las pendientes entre 0.0295° a 44.59° con promedio de 3.858°.

### II. Zona geomorfológica B

Representada por la cobertura neoplatafórmica erosivo denudativa y acumulativa en las partes bajas relacionada con las rocas terrígeno-carbonatadas de la formación Camazán, su miembro conglomerático basal Pedernales y las formaciones Paso Real al sur y Vázquez al norte, ocupando el

60.31 % de toda el área de estudio de 1312 km<sup>2</sup>. Las cotas en esta zona están entre 24.81 m a 240.33 m con promedio 84.50 m y las pendientes entre 0.014° a 59.63° con promedio de 2.42°.

Esta zona se puede subdividir según sus características morfométricas y morfoestructurales en 4 subzonas que son:

**a) Subzona B<sub>1</sub>**

Se caracteriza por ser llanuras entre colinas de la Formación Camazán con relieve invertido respecto a la estructura geológica, desarrollándose sobre el conglomerado de su miembro Pedernales, que al ser más blanda a los procesos erosivos da un relieve invertido con respecto a la estructura geológica. Esta subzona junto a la subzona A<sub>3</sub> es por donde se produce la alimentación principal del acuífero Los Arroyos. La erosión se produce en la actualidad con cierta intensidad y dirección del noreste al suroeste en la misma dirección del escurrimiento, según muestran las flechas en la figura. El área de esta subzona es de 88.4 km<sup>2</sup> representando aproximadamente el 6.74 % de esta. Las cotas en esta subzona está entre 40.53 m a 225.71 m con promedio 94.81 m y las pendientes entre 0.14° a 50.31° con promedio de 3.19°.

**b) Subzona B<sub>2</sub>**

Se caracteriza por un relieve de colinas bajas diseccionadas, erosivo-cársicas, desarrollada sobre la facies de calizas recristalizadas y margosas de la Formación Camazán y por un relieve de llanura alta erosivo-denudativa con textura rugosa relacionada con la facies margosa de la misma formación. Es frecuente encontrar carso superficial y pequeños embudos cársicos formados por la acción de las aguas de lluvias en las colinas. En la zona, las elevaciones forman colinas en forma de cuevas con una yacencia entre 5° a 8° hacia el sureste y forman estructuras ovaladas o braquianticlinales donde la parte posterior es ligeramente más abrupta dando paso a la zona geomorfológica B<sub>1</sub>, pudiendo encontrarse cortadas por fallas post-miocénicas. El escurrimiento se produce fundamentalmente hacia el sureste, noroeste, este-noreste y tienden a converger dentro de las propias calizas de esa franja según las flechas producto a un escurrimiento subterráneo por disolución. El área de esta subzona es de unos 244.0 km<sup>2</sup> representando aproximadamente el 18.6 % de

ésta. Las cotas en esta subzona están entre 34.75 m a 240.33 m con promedio 89.96 m y las pendientes entre  $0.031^{\circ}$  a  $59.63^{\circ}$  con promedio de  $3.49^{\circ}$ .

#### **c) Subzona B<sub>3</sub>**

Se caracteriza por llanuras altas cársicas carbonatada-terrágena sur, erosivo-denudativa cársicas, con dolinas de disolución relacionadas con las rocas carbonatadas-terrágenas de la formación Paso Real. Se observa en la zona en el MDT y observadas en el campo, varias dolinas cársicas mapeables a la escala de los trabajos y varias dolinas pequeñas formadas por la disolución de las calizas de esta formación geológica, producto a la acción de las aguas de lluvias aciduladas. La erosión y el escurrimiento se producen hacia el sur, hacia el este y sureste, mientras que en las dolinas tiende a converger. El área de esta subzona es de unos  $280 \text{ km}^2$  representando aproximadamente el 21.3 % de esta. Las cotas en esta subzona están entre 24.82 m a 105.12 m con promedio 51.00 m y las pendientes entre  $0.014^{\circ}$  a  $20.66^{\circ}$  con promedio de  $0.60^{\circ}$ .

#### **d) Subzona B<sub>4</sub>**

Se caracteriza por llanuras altas cársicas carbonatada-terrágena norte, erosivo-denudativa cársicas, relacionadas con las rocas carbonatadas-terrágenas de la Formación Vázquez. La erosión y el escurrimiento se producen hacia el norte, noroeste y noreste, aunque en el contacto con el zócalo plegado al tener elevaciones de rocas más duras (calizas), localmente el escurrimiento es hacia el sur. El área de esta subzona es de unos  $177.3 \text{ km}^2$  representando aproximadamente el 13.5 % de esta. Las cotas en esta subzona están entre 58.41 m a 186.59 m con promedio 124.36 m y las pendientes entre  $0.089^{\circ}$  a  $22.81^{\circ}$  con promedio de  $3.36^{\circ}$ .

### **III. Zona geomorfológica C**

Formada por la llanura fluvio-marina del Cauto, erosivo-denudativo y acumulativa. El escurrimiento es hacia el sur-suroeste y se encuentra al sur de la zona de estudio en los extremos sureste y suroeste. El área de esta zona es de unos  $101.6 \text{ km}^2$  representando aproximadamente el 7.7 % de esta. Las cotas en esta subzona están entre 21.44 m a 51.14 m con promedio 35.93 m y las pendientes entre  $0.017^{\circ}$  a  $6.57^{\circ}$  con promedio de  $0.23^{\circ}$ .

### 1.11 Sistemática hidrogeológicas.

La región de estudio se encuentra ubicada en la parte occidental de la provincia Holguín e hidrogeológicamente la parte norte encontrándose en la Región y Cuenca Maniabón (HGX), mientras que la parte central y sur se encuentra en la Región y Cuenca Cauto (HGII), dentro de esta el Tramo Maceo-Cacocum, siendo objeto de estudio dentro de esta todo el municipio Calixto García y áreas circundantes relacionadas con la alimentación o distribución de los acuíferos (ver figura 6).

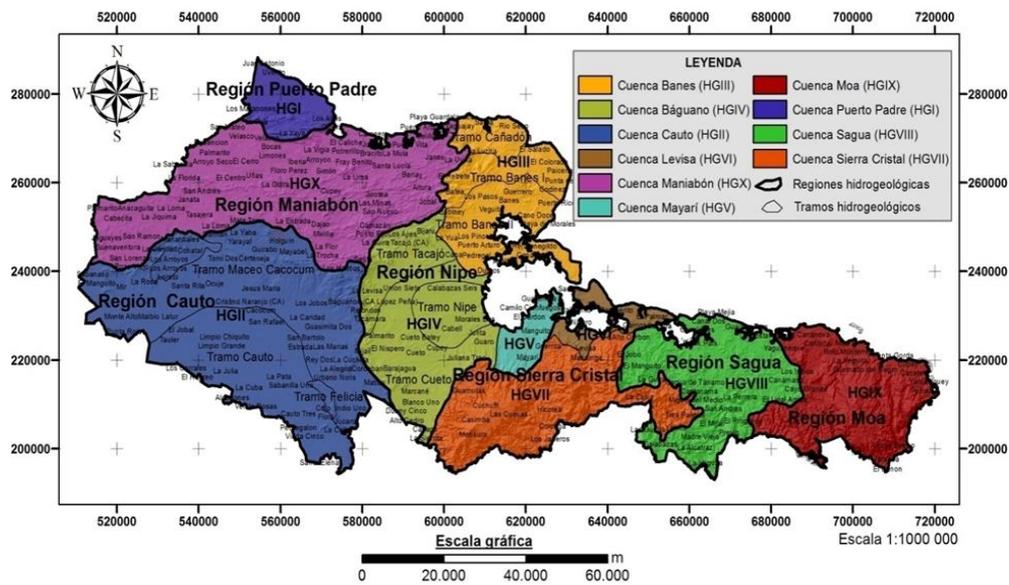


Figura 6. Mapa de la sistemática hidrogeológica de la provincia Holguín, escala 1: 1 000 000. Tomado de (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), 2009)

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

### 2.1 Introducción.

En el presente capítulo se expone la metodología empleada para la evaluación de las reservas de agua subterránea en el área de estudio, para propiciar el cumplimiento de los objetivos trazados. Se aplicaron un complejo de métodos de investigación que consistieron en levantamiento hidrogeológico, trabajos geofísicos y de perforación. A través de tres etapas fundamentales.

- Etapa I. Recopilación de la información y revisión bibliográfica.
- Etapa II. Trabajo de campo.
- Etapa III. Trabajo de gabinete.

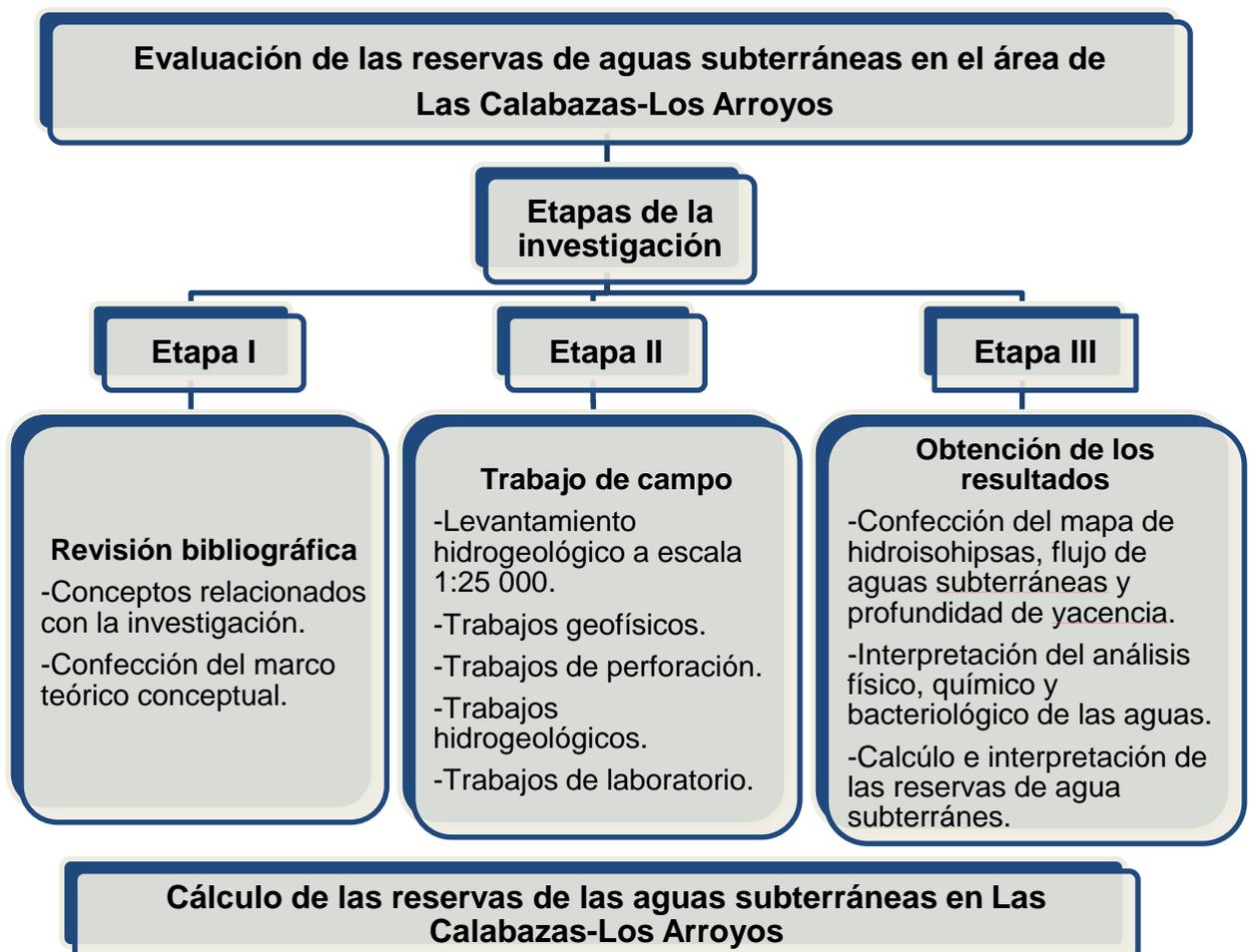


Figura 7. Flujograma de la investigación.

## **2.2 Etapa I Revisión bibliográfica.**

En esta etapa se hizo la búsqueda y procesamiento de la información más actualizada, incluyendo tanto las de carácter regional como detallado, creándose todos los modelos digitales correspondientes. Procesándose toda la información que por analogía tienen valor con el área de interés, lo que ha sido validado durante los trabajos de campo. Se trabajó con los siguientes materiales:

- Mapa e informe geológico realizado por el CAME (Polígono IV).
- Mapa geológico de Cuba a escala 1: 100 000 en Autodad y ArcGis.
- Léxico estratigráfico.
- Hojas cartográficas a escalas 1: 50 000 y 1: 25 000, todas en formato digital e impresas.
- Fotos satelitales pancromáticas a escala 1: 10 000.
- Modelos digitales a escala 1: 25 000 realizados por GEOCUBA.
- Programa de investigación y cronograma del mismo, documento que marca la planificación del producto y la hipótesis de trabajo.

Para la confección del mapa geológico a escala 1: 25 000 se ha usado fundamentalmente el Mapa geológico a escala 1: 100 000 publicado por el IGP en AutoCAD y se compatibilizó con el del CAME (Polígono IV) en todas las áreas cubiertas por este estudio. Este mapa resultante se representa para la edición a escala 1: 75 000 por la extensión territorial del municipio Calixto García, aunque la información se encuentra a la escala de trabajo.

Se procesó y analizó la información disponible creando nuevos productos a escala 1: 25 000, esto permitió organizar y planificar con mayor exactitud y con un mínimo de trabajo de campo que garantizó mayor economía en la presente investigación.

Por las técnicas de procesamiento se hizo un análisis de toda la información geomorfológica que aporta el relieve, para la evaluación de las formaciones y complejos litofaciales.

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

En esta etapa se realizó el correspondiente levantamiento hidrogeológico a escala 1:25 000 así como los estudios geofísicos, la perforación de calas y los trabajos hidrogeológicos.

### **2.3.1 Levantamiento hidrogeológico a escala 1:25 000.**

Se ejecutó el Levantamiento geólogo-hidrogeológico a escala 1:25 000 para la confección del mapa geólogo-tectónico (del cual se da una versión, que incluye el mapa geomorfológico), acompañado de los mapas de modelo digital del terreno (MDT), mapa de la red de drenaje y mapas temáticos (morfométricos y densidad de fracturas).

Se levantaron 241 puntos entre afloramientos y pozos, además se procesaron 231 puntos de levantamiento de RAUDAL con 846 descripciones de calas y pozos, 156 puntos de mediciones de niveles y descripciones litológicas de GEOCUBA para investigaciones de carreteras, para un total de 1 474 puntos, siendo la densidad en la investigación para todo el municipio de 2,4 puntos por km<sup>2</sup>.

### **2.3.2 Muestreo hidroquímico.**

El muestreo hidroquímico se realiza con el objetivo de determinar la composición química y el estado de calidad de las aguas a estudiar. En correspondencia con los resultados que se obtienen, se puede definir si estas aguas son o no potables y aptas para ser empleadas en la industria. Para la obtención de una muestra representativa, se hace indispensable la extracción de tres veces el volumen de agua que se encuentre en dicho pozo, además de la limpieza de los frascos en los cuales se conservarán con el propósito de no contaminarse por el medio.

Para ello se tomaron muestras de agua, con una densidad acorde a la escala de los trabajos (1: 25 000), en Estaciones de Bombeo del Acueducto, pozos criollos y calas perforadas por el área de perforación de la UEBGP. Las muestras de agua fueron procesadas por el Laboratorio de Calidad del Agua de la ENAST, en Holguín. En los trabajos de laboratorio se cumplimentó lo estipulado en las normas cubanas vigentes.

### **2.3.3 Puntos de muestreo.**

Para la evaluación de las aguas en Las Calabazas-Los Arroyos, se visitaron 45 fuentes que abastecen a la población y a otras entidades, como las granjas avícolas, que actualmente están en funcionamiento. Asimismo, se efectuó el muestreo hidroquímico, en los lugares determinados previamente, para un total de 24 muestras recogidas.

### **2.3.4 Trabajos geofísicos.**

Los trabajos fueron ejecutados por la brigada de geofísica de la UEBGP. Se aplicó lo establecido en los procedimientos P (11)-2.08-01 Trabajos de campo de investigación geofísica y P (11)-2.08-02 Procedimiento para la confección del informe final de la investigación geofísica. Se realizó el método geofísico de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) para determinar las características geoelectricas del suelo y rocas. Se hicieron 127 SEV con el equipo Syscal Junior Switch 24, con voltaje de salida de 400 V, 2.5 A de corriente máxima y potencia total de 100 w.

Los objetivos fundamentales de la investigación geofísica fueron:

- Detección de fallas y otros fenómenos tectónicos.
- Definición de estructuras geológicas definiendo los contactos litológicos.
- Estimación de la profundidad del nivel del manto freático.

### **2.3.5 Trabajos de perforación.**

Los trabajos de perforación se ejecutaron por el Área de Perforación de la UEBGP. Se tuvo en cuenta lo establecido en el P (11)-2.05-01 Procedimiento para la actividad de perforación rotaria, P (11)-2.05-02 Procedimiento para la confección y aprobación de las tareas técnicas de perforación y P (11)-2.05-03 Muestreo en calas, así como en la norma cubana vigente NC 327:2004 Geotecnia. Perforación de calas ingeniero-geológicas.

Se realizaron calas con diferentes profundidades que variaron entre 30 m y 150 m. Las calas se realizaron con la perforadora MC80c (Sterling). Se utilizó diámetro PQ (110 mm), con el sistema "wire line". Se obtuvo como mínimo 90 % de recuperación del testigo. Los testigos se colocaron correctamente ordenados en cajas. Estas fueron debidamente identificadas y preservadas.

Los sondeos fueron separados por tacos con la debida identificación. Se realizó un total de 310 m quedando sin hacer 27 m por afectaciones de ciclón e intensas lluvias, los volúmenes hechos dan respuesta a la tarea técnica (ver tabla 3).

Tabla 3. Profundidad y coordenadas de las calas perforadas.

<b>Cala</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>CG-1</b>	30.00	521 900.51	262 112.16
<b>CG-2</b>	70.00	531 934.40	244 809.50
<b>CG-3</b>	60.00	536 317.50	245 307.08
<b>CG-4</b>	150.00	532 422.59	240 531.41
<b>Total</b>	310		

### **2.3.6 Trabajos hidrogeológicos.**

Se estudiaron las principales características hidrogeológicas del área, composición química de las aguas y volúmenes estimados de fuentes potenciales. Se visitaron 45 fuentes que abastecen a la población y a otras entidades, como las granjas avícolas, que actualmente están en funcionamiento. Asimismo, se efectuó el muestreo hidroquímico, en los lugares determinados previamente.

Se tomaron las profundidades del nivel del manto freático y su variación, para ello se realizó observaciones del régimen de sequía y lluvia durante el proceso de investigación, preparando a este fin las calas.

Se tomaron los niveles en los pozos criollos o tubulares que se encontraron dentro de las áreas de estudio y se observó en detalle el cumplimiento de las zonas de protección sanitaria establecidas por el INRH.

Además se utilizó el Geodato, diseñado por la Empresa Geominera Oriente (Santiago de Cuba) con el fin de llevar a formato digital la información de

investigaciones anteriores que recoge columnas litológicas y mediciones de niveles, con el mismo se logró una mejor organización en el trabajo.

No se pudo realizar cubeteo en las calas perforadas, en una el nivel ascendió hasta el nivel 0 m, debido a que hay agua confinada y en las otras 3 las paredes son inestables y hubo que encamisarlas, lo que dificultó realizar los cubeteos, por lo que el coeficiente de filtración se obtuvo del aforo al pozo de Guacacoa y de las Investigaciones Hidrogeológicas anteriores, fundamentalmente Investigación Hidrogeológica de la nueva zona Managua-El Aserrío para el abasto a la Fábrica de Cerveza Bucanero SA. Archivo Técnico RAUDAL e investigación Hidrogeológica de la Zona Los Arroyos de la Cuenca Cacocum - Urbano Noris.

### 2.3.7 Trabajos de laboratorio

El procesamiento y análisis de las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de las muestras tomadas en los diferentes puntos de muestreo se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad del Agua de la ENAST, en Holguín.

### 2.3.8 Propiedades físicas, químicas y bacteriológicas determinadas.

Se determinaron las siguientes propiedades: Potencial de Hidrógeno(pH), Conductividad eléctrica (CE), sólidos solubles totales (SST), sólidos totales (ST), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), hidrogeno carbonato ( $\text{HCO}_3^{1-}$ ), cloruro ( $\text{Cl}^{1-}$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^{1-}$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^{1-}$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^{1+}$ ), potasio ( $\text{K}^{1+}$ ), dureza total, turbidez (Tu), color, sólidos disueltos totales (SDT), coliformes totales (CT) y fecales (CF), y de esta forma, verificar la calidad de las aguas subterráneas en el área con respecto a estas propiedades. En la siguiente tabla se aprecian las propiedades determinadas según sus métodos.

Tabla 4. Propiedades químicas y métodos analíticos empleados para la determinación de las propiedades químicas, físicas y bacteriológicas.

Propiedades determinadas	Método	Equipo utilizado
Conductividad eléctrica (CE)	Electrométrico	Conductímetro 3151 WTW

Potencial de Hidrógeno (pH)	Electrométrico	pH metro 7310
Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro HACH
Nitrato ( $\text{NO}_3^{1-}$ )		Espectrofotómetro HACH
Carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ )	Valoración	
Hidrogeno carbonato ( $\text{HCO}_3^{1-}$ )	Valoración	
Nitrito ( $\text{NO}_2^{1-}$ )	Colorimétrico	Espectrofotómetro HACH
Cloruro ( $\text{Cl}^{1-}$ )	Argento métrico	
Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )	Titriméto con EDTA	
Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ )	Cálculo	Cálculo(DT-Ca)
Sodio ( $\text{Na}^{1+}$ )	Fotométrico por emisión con llama	Photometer
Potasio ( $\text{K}^{1+}$ )	Fotométrico por emisión con llama	Photometer
Dureza Total (DT)	SMWW2340B C. M. por cálculo y M. valoración	
Turbidez (Tu)	Turbidimétrico	Turbidímetro HACH
Sólidos disueltos totales (SDT)	M. de los SDT secados a $103^\circ$ - $105^\circ\text{C}$	Estufa ECCOCELL
Coliformes totales y coliformes fecales (CT y CF)	Técnicas de los tubos múltiples de fermentación para miembros del grupo coliformes	Tubos múltiples de fermentación
Color	Comparación visual	

### **2.3.9 Análisis y procesamiento de la información.**

A partir de los datos obtenidos tanto en los trabajos de campo como en el laboratorio se procesó la información mediante los software y las metodologías seleccionadas.

Se empleó el Surfer 12 para la confección del mapa de ubicación geográfica del área estudiada, el mapa geológico, el esquema de cálculo de las reservas, el mapa de profundidad de yacencia de las aguas subterráneas, el mapa de ubicación de los puntos y el mapa de la dirección del flujo.

Con la ayuda de Microsoft Excel se elaboraron las tablas que describen la cantidad de calas perforadas con sus profundidades de perforación, y los métodos analíticos que se emplearon en los trabajos de laboratorio, así como las fórmulas que se utilizaron para el cálculo de reservas.

### **2.3.10 Metodología para la interpretación de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos.**

Para la realización de una buena interpretación de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos de las aguas subterráneas, es necesario regirse por las normas cubanas que establecen los requisitos sanitarios determinantes en la evaluación de la calidad de las aguas (potables o no potables). Norma Cubana NC 827: 2017: Agua potable - Requisitos sanitarios. También se realiza una clasificación de las aguas según Aliokin y E. B. Pasovox, en correspondencia con los contenidos de pH, dureza total y por su mineralización.

- Clasificación de las aguas por su composición química.

Para esta clasificación se utilizó la clasificación de Aliokin, la cual está basada en el principio de división por los iones predominantes y relación entre ellos. Se basa en el contenido en las aguas de sus iones principales representados en miligramos equivalentes (mg.eq/l).

Todas las aguas se dividen por el anión predominante en tres grandes clases: bicarbonatadas y carbonatadas ( $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ ), sulfatadas ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y cloruradas ( $\text{Cl}^-$ ). Cada grupo a su vez se divide en tres tipos por la relación entre los miligramos equivalentes (mg.eq/l) de los iones; en total se determinan cuatro tipos de agua: el primer tipo: se caracteriza por la relación  $\text{HCO}_3^-$  } ( $\text{Ca}^{2+}$

+  $Mg^{2+}$ ). Las aguas de este tipo son débilmente mineralizadas, el segundo tipo: se caracteriza por la relación  $HCO_3^- \langle (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \langle (HCO_3^- + SO_4^{2-})$ . El tercer tipo: se caracteriza por la relación  $(HCO_3^- + SO_4^{2-}) \langle (Ca^{2+} + Mg^{2+})$  y el cuarto tipo: se caracteriza por la ausencia de iones  $HCO_3^-$ .

- Clasificación de las aguas por su pH según E. B. Pasójoy.

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

La clasificación más usada comúnmente es la propuesta por Pasójoy, la cual se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 5. Clasificación de las aguas por su pH según E. B. Pasójoy (Tomado de Miguel Fernández, 2012).

Valor del pH	Denominación de las aguas
<3	Aguas muy ácidas
3 – 5	Aguas ácidas
5 – 6,5	Aguas débilmente ácidas
6,5 – 7,5	Aguas neutras
7,5 – 8,5	Aguas débilmente básicas
8,5 – 9,5	Aguas básicas
>9,5	Aguas muy básicas

- Clasificación de las aguas por su mineralización.

Esta clasificación establece la caracterización de las aguas por su mineralización; y a su vez es aplicable a estudios hidroquímicos o en evaluaciones regionales de reservas de las aguas subterráneas al no necesitarse detallar ampliamente la mineralización. Para determinar la clasificación de las aguas según su mineralización se realizó según la clasificación de Aliokin (ver tabla 6), a través la fórmula  $M = \frac{\sum A+C}{1000} (g/l)$  que relaciona mediante una fracción la sumatoria de los aniones y los cationes, expresado en gramos por litros (g/L).

Tabla 6. Clasificación de las aguas por su mineralización según Aliokin (Tomado de Miguel Fernández, 2012).

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

- Clasificación de las aguas por la dureza total según O. A. Aliokin.

Está representada por el contenido total de sales de calcio y magnesio presentes en las aguas subterráneas, y se expresan en miligramos equivalentes (mg.eq/l). A través de la fórmula:  $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ , tal y como se muestra (ver tabla 7).

Tabla 7. Clasificación de las aguas por su dureza según Aliokin (Tomado de Miguel Fernández, 2012).

Dureza (mg.eq/l)	Denominación de las aguas
<1.5	Muy blandas
1.5 – 3.0	Blandas
3.0 – 6.0	Algo duras
6.0 – 9.0	Duras
>9.0	Muy duras

### 2.3.11 Metodología para la evaluación de las reservas de explotación de las aguas subterráneas por el método hidrodinámico.

La evaluación de reservas de explotación de aguas subterráneas por el método hidrodinámico no es más que el pase de las condiciones hidrogeológicas naturales a un modelo matemático. Es natural que en un modelo matemático no se puedan considerar todos los factores reales y elementos existentes en la naturaleza, ni el carácter de la interrelación de los mismos. La confección de modelos matemáticos de objetivos hidrogeológicos naturales representa ser una tarea sumamente compleja, la solución de la cual requiere de una

fundamentación para la selección de los factores principales y poder definir aquellos que se pueden despreciar. Es necesario recalcar que durante la esquematización de las condiciones naturales tiene gran importancia la relación inversa, es decir, la influencia del tipo y régimen de trabajo de las tomas de agua que se programen sobre los principios de esquematización y métodos de confección de los modelos matemáticos. El paso de las condiciones hidrogeológicas a su modelación matemática (esquemas de cálculo).

El cálculo se fundamenta a través del principio del gran pozo el cual refiere que las tomas de aguas subterráneas se forman por una cantidad relativamente grande de pozos que tienen influencia entre sí.

El área que ocupa tal tipo de tomas de agua, como regla debe ser mucho menor que el área de los horizontes acuíferos que se explotaran o se explotan. Esto permite analizar los pozos interrelacionados como un grupo de pozos compacto, que se analizan como un gran pozo.

La evaluación de las reservas de explotación de las aguas subterráneas en sistemas de grandes pozos la representa el cálculo de la magnitud del abatimiento en el pozo de mayor carga hidrodinámica, el esquema que se seleccionó corresponde a un acuífero limitado en lenta (o banda) donde existe un límite impermeable y uno de alimentación, que por su ubicación en planta pueden ser considerados paralelos se implementó la fórmula 1.

Para la evaluación de las reservas de explotación de las aguas subterráneas del sector de estudio por el método hidrodinámico, debemos delimitar las fronteras hidrogeológicas así, como las principales fuentes de alimentación y potencia acuífera del mismo. También se deben establecer los diferentes parámetros hidrogeológicos inmersos en la ecuación matemática que se empleó como la conductividad de nivel ( $a$ ), el coeficiente de filtración ( $K$ ) y el abatimiento de explotación.

Para la evaluación de las reservas de agua subterránea por este método se aplicaron las siguientes fórmulas:

$$1. S - H = - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{1,27 L_0 \operatorname{ctg} \frac{\pi L_1}{2L_0}}{r}}$$

Donde:

S: Descenso admisible de explotación.

H: Potencia Acuífera.

Q: Caudal de explotación.

K: Coeficiente de filtración.

r: Radio del pozo.

L<sub>1</sub>: Distancia desde el centro del pozo o gran pozo hasta el límite de alimentación.

L<sub>0</sub>: Ancho de la lente o banda acuífera en el trazado por el centro del pozo o gran pozo.

La fórmula 1 fue la empleada en este caso, sin embargo con el objetivo de calcular el caudal tuvimos que despejar a este, obteniéndose la fórmula 2.

$$2. Q = \frac{(2HS - S^2) \pi K}{\ln \frac{1,27 L_0 \operatorname{ctg} \frac{\pi L_1}{2L_0}}{r}}$$

### **2.3.12 Metodología para la evaluación de las reservas de explotación de las aguas subterráneas por el método de balance.**

La evaluación de las reservas de explotación por el método de balance lo representa la determinación del caudal de las aguas subterráneas, que se obtiene por tomas de agua en los límites de un territorio que se seleccionó en el transcurso de un período de tiempo dado de explotación o, debido a la captación de volúmenes de las distintas fuentes de formación de las reservas de explotación, las cuales están incluidas en la ecuación.

En esta evaluación cada uno de las posibles fuentes de formación de las reservas de explotación se evalúa de forma independiente, y posteriormente se ejecuta la suma de los resultados. Durante la evaluación por el método de balance, el balance de un tramo se analiza en su conjunto, se considera la entrada y caudal de las aguas. En relación con esto, el método de balance permite determinar solamente el abatimiento medio del nivel del horizonte

acuífero que se explotará, y no el abatimiento del nivel en las obras de tomas (pozos). Todo eso predetermina la necesidad de emplear el método de balance como un método adicional en combinación con los métodos hidrodinámico e hidráulico.

El método de balance determina el papel de las distintas fuentes de formación de las reservas de explotación de las aguas subterráneas y evaluar la garantía de estas reservas, calculadas por otro método. Por ello la utilización del método de balance en conjunto con otro método de evaluación de reservas de explotación es sumamente racional e importante en la mayoría de los casos.

Para la evaluación de las reservas de agua subterránea por este método se aplicaron las siguientes formulas:

$$1. Q_e = \alpha_1 Q_n + \alpha_2 Q_N + \alpha_3 Q_a + \alpha_4 Q_A + Q_{at}$$

Donde:

$Q_e$ : Reservas de explotación

$Q_N$ : Recursos naturales

$Q_n$ : Reservas naturales

$Q_a$ : Reservas artificiales.

$Q_A$ : Recursos artificiales

$Q_{at}$ : Recursos atraíbles

Mediante la fórmula 1 se calculó las reservas de explotación pero antes debíamos de conocer los recursos naturales y las reservas naturales para lo cual se utilizaron las formulas 2 y 3 respectivamente:

$$2. Q_N = K * H * I * B$$

$$3. Q_n = \frac{V}{t} = \alpha_1 \frac{\mu * H * F}{t}$$

Las reservas artificiales, los recursos artificiales y los recursos atraíbles son obviados debido que para este caso son nulos o insignificantes.

# CAPITULO III. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS TRABAJOS HIDROGEOLÓGICOS.

## 3.1 Introducción.

En el presente capítulo se exponen los resultados que se obtuvieron durante la investigación, los cuales corresponden a la obtención del mapa representativo de los diferentes puntos muestreados además del mapa de la dirección del flujo de las aguas subterráneas a través de la representación del mapa de hidroisohipsas. Para finalmente realizar el cálculo de las reservas de agua subterránea en el área perspectiva y la interpretación del resultado de los análisis de las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas subterráneas con la finalidad de conocer si el acuífero es apropiado para el abasto de agua a la población o a objetivos económicos.

## 3.2 Descripción de las calas perforadas.

Durante la investigación en el sector Las Calabazas – Los Arroyos fueron perforadas 4 calas, abarcando un total de 310 m de profundidad. A continuación describe cada una de ellas.

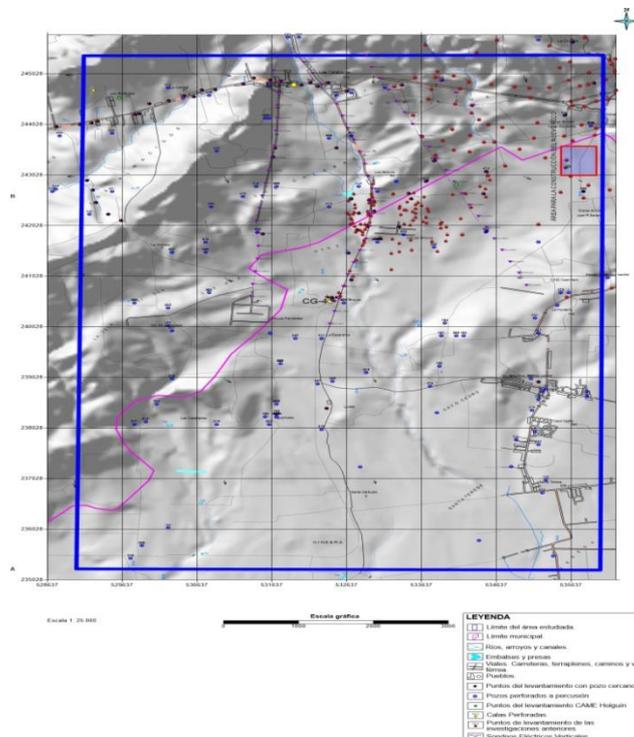


Figura 8. Mapa de datos reales, escala 1: 25 000

## CG-1

La cala se perforo en las coordenadas: X: 521 900,51; Y: 262 112,16; Z: 82,00; hasta una profundidad de 30 m y un diámetro de 110 mm, encontrándose seco el acuífero hasta esta profundidad.

Tramos perforados(m)	Observaciones
0 – 0,30	Capa vegetal de color pardo con materia orgánica, es algo arcillosa y se observan fragmentos de rocas.
0,30 – 2,30	Arcillas limosas de color blanco amarillento que al final se vuelve más plástico.
2,30 – 3,50	Intercalaciones de acillas y calizas de color crema con tonalidades amarillentas, se aprecian abundantes fósiles y oquedades de hasta 2 cm de diámetro, al realizarse la prueba del ácido esta reaccionó fuertemente.
3,50 – 4,50	Arcillas limosas (margas) de color amarillento con algunos fragmentos de roca, presenta nódulos de $\text{CaCO}_3$ y reacciona fuertemente a la prueba del ácido.
4,50 – 6,50	Arcillas plásticas de color amarillento con tonalidades gris en forma de escama cuando se seca, se observan algunos fragmentos de rocas de hasta 2 cm de diámetro y nódulos de $\text{CaCO}_3$ .
6,50 – 6,70	Calizas arcillosas de coloración amarillenta, se puede rallar con la uña, deleznable, de fractura terrosa.
6,70 – 7,90	Arcillas plásticas de color amarillo mostaza con tonalidades gris azulado, presenta algunos fragmentos de roca de hasta 3 cm de diámetro.
7,90 – 8,10	Calizas de color amarillento parduzco con oquedades cársticas comunicadas entre sí, se pueden encontrar fósiles.
8,10 – 8,20	Arcillas plásticas de color amarillo mostaza.

8,20 – 9,50	Calizas arcillosas o margosas de color blanco, se puede rallar con la uña y al golpe de la piqueta parte con fractura terrosa, es liviana, presenta pequeños poros.
9,50 – 11,50	Caliza fosilífera de color amarillento, se recupera en cilindros de hasta 40 cm no se deja rallar por el bronce pero si por el acero, es pesada y porosa.
11,50 – 12,50	Arcillas plásticas de color amarillo mostaza.
12,50 – 30	Lutitas de color gris, cuando esta húmeda y cuando se seca gris verdosa, presenta fósiles (conchas), a partir de los 24 m aumentan la cantidad de nódulos de CaCO <sub>3</sub> .

## CG-2

La cala se perforo en las coordenadas: X: 531 934,40; Y: 244 809,50; Z: 92,00; hasta una profundidad de 70 m y con un diámetro de 110 mm, encontrándose el nivel freático a los 3,37 m.

Tramos perforados(m)	Observaciones
0,00 – 0,50	Capa vegetal limosa de color pardo con fragmentos de calizas aislados.
0,50 – 3,50	Arcillas carbonatadas de color crema amarillento, presenta una plasticidad media y al final se observan algunos fragmentos de calizas.
3,50 – 24,50	Se alternan capas de acillas arenosas de color amarillo y calizas recristalizadas de color crema, al final del intervalo se vuelven más gruesos sus granos y se hace más consistente, se encuentran oquedades cárnicas de hasta 3 cm de diámetro.
24,50 – 33,50	Arcillas orgánicas de color gris oscuro, consolidadas, monolíticas, se pueden encontrar fósiles (conchas y bivalvos).
33,50 – 70	Intercalaciones de arcillas de color gris claro y

	arcillas de color gris como la ceniza, consolidada, monolítica, con presencia de fósiles, en el intervalo de 40,00 – 40,50 se encuentra un bloque de caliza recristalizada de color blanco grisáceo con granos finos de dureza media y presencia de carso.
--	--

### CG-3

La cala se perforo en las coordenadas: X: 536 317,50; Y: 245 307,08; Z: 139,40; hasta una profundidad de 60 m y con un diámetro de 110 mm, encontrándose el nivel freático a los 12,49 m.

Tramos perforados(m)	Observaciones
0,00 – 0,40	Capa vegetal de color pardo oscuro.
0,40- 1,30	Eluvio de caliza algo arcillosa que al hacerle la prueba del ácido reacciona.
1,30 – 2,60	Calizas organógenas de color amarillo quemado, tiene propiedades dactiloscópicas por lo que contiene arcilla, presenta oquedades cársticas de hasta 2 cm, tiene dureza baja a media.
2,60 – 3,10	Margas arenosas de color amarillento oscuro a pardo, que rompe en forma de disco de 2 cm hasta 10 cm y al hacerle la prueba del ácido reacciona.
3,10 – 3,45	Calizas organógenas de color amarillento con pequeños poros, se pueden observar fósiles de 3,45 – 3,75 m se encuentran arcillas plásticas con contenido de arena de color amarillo quemado.
3,75 – 4,60	Calizas organógenas algo arcillosas de color amarillento con contenidos de fósiles y poros, es resistente al golpe de la piqueta y se ralla con el acero.
4,60 – 11,7	Conglomerados con una matriz arenosa carbonatada de color amarillo, presenta oquedades cársticas en las que cabe el dedo de la mano y

	también se pueden observar fósiles.
11,70 – 19,50	Calcarenitas de color amarillo mostaza con pequeños fragmentos de rocas ígneas, es resistente al golpe de la piqueta presentando dureza media, no presenta grietas ni oquedades.
19,50 – 23,50	Lutitas de color gris oscuro pero al final del tramo se torna verdosa, presenta espejo de fricción y grietas subhorizontales, se pueden observar fósiles y pequeñas capas de caliza de color gris y blanco, tiene oquedades cársticas de hasta 1 cm de abertura y 10 cm de largo.
23,50 – 60,00	Calizas organógenas de color blanco amarillento, es porosa y presenta oquedades cársticas en donde caben los dedos de las manos, presenta abundante fósiles, tiene dureza media siendo resistente al golpe de la caliza.

#### CG-4

La cala se perforo en las coordenadas: X: 532 422,59; Y: 240 531,41; Z: 89,70; hasta una profundidad de 150 m y con un diámetro de 110 mm, encontrándose el nivel freático a los 17 m.

Tramos perforados(m)	Observaciones
0,00 – 0,80	Capa vegetal plástica de color pardo rojizo con fragmentos de calizas aislados
0,80 – 3,50	Acilla carbonatada de color crema amarillento con una plasticidad media que al final se torna mas consistente
3,50 – 4,50	Margas de dureza media, intercaladas con calizas más dura que presenta abundante fósiles.
4,50 – 6,50	Caliza margosa de dureza media a alta intercalada con caliza fosilífera más dura, presenta oquedades.
6,50 – 7,50	Presenta caliza organógena color blando crema de

	dureza alta presentando oquedades.
7,50 – 8,50	Margas color crema de consistencia baja a media, con grietas verticales y subhorizontales en un plano ondulado rugoso.
8,50 – 9,50	Margas de dureza media con color blanco crema intercalado con calizas organógenas arcillas – arenosas de dureza media a baja.
9,50 – 10,50	Margas areno – gravosas con coloración amarillenta intercalada con caliza arcillosa de dureza baja a media y se pueden encontrar fósiles.
10,50 – 12,50	Caliza organógena de color blanco crema con dureza media, presenta grietas subhorizontales con pequeñas cavernas.
12,50 – 15,50	Caliza organógena de color blanco crema con dureza alta presentando algunas partes recristalizadas.
15,50 – 18,50	Caliza organógena con oquedades y grietas, intercalada con caliza brechosa y arcilla arenosa color gris.
18,50 – 19,50	Calizas micrítica con dureza alta donde se pueden encontrar fósiles, presenta grietas subverticales con un plano rugoso y dendritas de manganeso.
19,50 – 30,50	Calizas microcristalina de color blanco crema con tonalidades de amarillo, presenta abundantes oquedades y grietas.
30,50 – 35,00	Calizas microcristalina, menos dura que el anterior, de 30,50 – 31,00 m se encuentran arcillas plásticas de color amarillento.
35,00 - 42,50	Aleurolita de color gris oscuro alternando con calizas de color gris que presenta oquedades.
42,50 – 45,70	Arcilla orgánica de color negro y gris oscuro, se encuentra consolidada y en algunas partes alternas tiene un aspecto arenoso, presenta abundantes

	fósiles.
45,70 – 48,50	Calizas de color crema poco cristalizadas, tiene granos gruesos hasta fino y dureza de media a alta, se encuentra parcialmente afectado por el carso, tiene oquedades de hasta 8 cm de diámetro algunas rellenas de calcita, tiene algunas grietas oblicuas y otras subhorizontales.
48,50 – 54,50	Calizas color crema poco cristalizadas de grano fino hasta grueso y con dureza de media a alta, se observa afectada por el proceso del carso, tiene oquedades de hasta 5 cm de diámetro las cuales se encuentran generalmente vacías pero algunas se encuentran rellenas de calcita, tiene algunas grietas oblicuas y subhorizontales, en los 51,50 a 52,20 m y 53,60 a 54,50 m se observan calizas arcillosas de color gris oscuro a color gris claro con grano fino a medio, de dureza media, presenta fósiles, tiene algunas oquedades vacías, de 52,20 a 53,60 m arcillas orgánicas.
54,50 – 57,50	Encuentran arcilla orgánica de color gris claro a oscuro, se encuentra consolidada con un aspecto arenoso, muy fosilífera, en 56,20 – 56.50 m se observa caliza de color gris claro, un poco recristalizada de grano fino a medio, presenta dureza de media a alta, con contenido de fósiles y afectación parcial de carso, tiene oquedades de hasta 6 cm de diámetro.
57,50 – 61,70	Arcillas orgánicas alternadas con caliza arcillosa de color gris claro, es compacta, con dureza de media a alta, tiene grano fino a medio, y un alto contenido de fósiles.
61,70 – 63,50	Arcilla orgánica de color gris oscuro a negro con aspecto arenoso y se encuentra consolidada.

63,50 – 69,50	Arcilla orgánica de color gris oscuro a negro con un aspecto arenoso y un alto contenido de fósiles, se encuentra consolidada, en los 67,40 m a 67,90 m se tienen caliza de color gris oscuro, poco recristalizada, con grano fino y dureza media a alta, en partes es masiva y en otras está fragmentada, tiene con algunas oquedades.
69,50 – 73,80	Arcilla orgánica de color gris oscuro a negro, con contenido de arena y fósiles variable.
73,80 – 75,80	Arenisca, la cual está consolidada y formada por granos de tamaño medio, tiene color gris a claro y dureza baja, se pueden encontrar fósiles.
75,80 – 81,50	Arcilla con restos orgánicos, tiene una coloración de gris oscuro a negro, está consolidada y tiene contenido fósil, en 78,40 m a 78,50 m hay caliza de color gris claro, con grano fino y se encuentra poco cristalizada, tiene dureza de media a alta y se encuentra afectada parcialmente por el carso, tiene con oquedades vacías de hasta 3 cm de diámetro.
81,50 – 84,10	Arcilla con restos orgánicos, tiene una coloración de gris oscuro a negro, está consolidada, tiene aspecto arenoso, se aprecian puntos blancos que son microfósiles y en las zonas alternas son abundantes.
84,10 – 84,90	Caliza de coloración gris crema, está algo cristalizada, formada por granos de tamaños que van de fino a medio, presenta una dureza de media a alta, con restos fósiles, se encuentra afectada parcialmente de carso, tiene algunas oquedades vacías de hasta 3 cm de diámetro y grietas oblicuas a subhorizontales.
84,90 – 89,50	Arcilla con restos orgánicos, tiene una coloración de gris oscuro a negro, está consolidada pero en

	algunas partes es más arenosa y en otras más microfossilífera.
89,50 – 90,50	Caliza de color gris verdoso, se encuentra algo cristalizada, formada por grano muy fino, tiene alta dureza, es masiva, poco compacta, tiene contenido de fósiles, se encuentra afectada parcialmente por el carso, presenta pequeñas oquedades vacías y otras rellenas con calcita, grietas subhorizontales.
90,50 – 100,30	Arcilla con restos orgánicos, tiene una coloración de gris oscuro a negro, está consolidada, monolítica, con contenido de arena y fósiles variable.
100,30 – 102,00	Caliza de color gris y crema, formada por una granulometría de fino a medio, está poco cristalizada, tiene dureza de media a alta y poco carsificada.
102,00 – 105,50	Arcilla con restos orgánicos, tiene una coloración de gris oscuro a negro, está consolidada, monolítica, con restos fósiles, de consistencia media a alta, algo expansiva, presenta una plasticidad de media a poco plástica según el contenido de arena.
105,50 – 108,50	Arcilla con restos orgánicos, de color gris oscuro, está consolidada, monolítica, con contenido fosilífero en los 105,80 m a 106,30 m se encuentra abundante concentración de fósiles (conchas y bivalvos), en 106,80 m a 107,00 m se observa caliza de color gris.
108,50 – 114,50	Arcilla con restos orgánicos, de color gris oscuro a negro, tiene una consistencia media, con láminas (cáscara de huevo) al parecer calcáreas.
114,50 – 117,50	Arcilla con restos orgánicos, tiene color gris oscuro a negro, con consistencia media, tiene una plasticidad de media a alta, desde los 115,50 m se recupera en cilindros.

117,50 – 120,50	Arcilla con restos orgánicos, de color gris oscuro a negro, tiene una consistencia media, con láminas (aspecto de cáscara de huevo) al parecer calcáreas.
120,50 -123,50	Arcilla con restos orgánicos, tiene una coloración de gris oscuro a negro, presenta una mayor cantidad de pequeños puntos blancos al parecer restos fósiles, el contenido de arena aumenta notablemente.
123,50 – 126,50	Arcilla con restos orgánicos, tiene una coloración de gris oscuro a negro, con láminas (aspecto de cáscara de huevo) cilíndricas, en los 123,60 m a 124,50 m se aprecian areniscas de color gris claro, formada por grano fino (< 1 mm), en los 125,50 m a 125,90 m se observa arenisca de color gris, no se ralla por el bronce pero sí por el acero, es consistente.
126,50 -129,50	Arcilla arenosa de color gris oscuro a negro, en los 126,50 m a 127,50 m se aprecian calizas de color gris blancuzco, se raya por el acero y es resistente al golpe de piqueta.
129,50 – 132,50	Arcilla arenosa de color gris oscuro, poco plástica, en los 131,80 m a 132,00 m se aprecian calizas, donde aumenta el contenido de fósiles.
132,50 – 150,00	Arcillas con restos orgánicos, de color gris oscuro, se secciona en cilindros cuando se seca (aspecto de cáscara de huevo), consistente, en los 133,50 m a 133,70 m se aprecian calizas, con contenido de fósiles, de color gris, presenta oquedades (2 cm de diámetro), no la raya el cobre pero sí el acero.

### 3.3 Profundidad de yacencia de las aguas subterráneas en la zona de estudio.

La profundidad de yacencia es muy importante debido a que mayor profundidad que se encuentre el agua menor será la posibilidad de contaminación de estas, siendo lo contrario para una menor profundidad de yacencia de las aguas (ver figura 9).

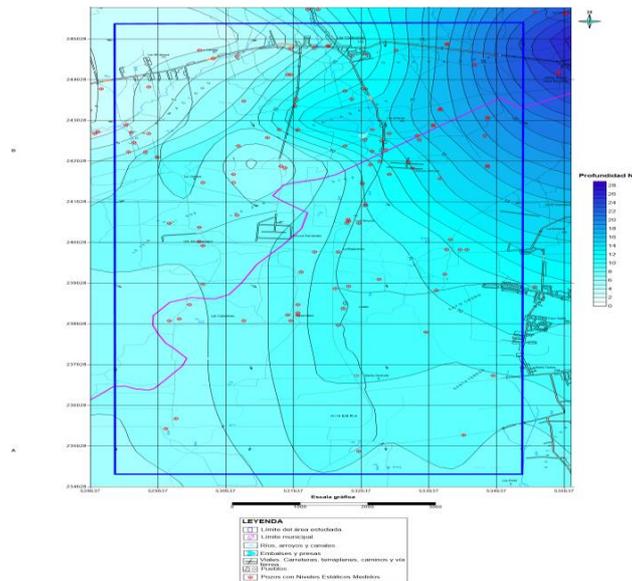


Figura 9. Mapa de la profundidad de yacencia de las aguas subterráneas en la zona de estudio, escala 1: 25 000.

Las aguas subterráneas pertenecen a acuíferos no confinados y poseen en Las Calabazas-Los Arroyos profundidades que oscilan entre 5,00 m y 60,00 m. La mayoría de los pozos criollos y perforados a percusión se localizan en la porción norte del área, las menores profundidades del nivel del manto freático (de 5,00 m a 15,00 m) están al noroeste y norte, así como en el extremo suroeste del área, mientras que las mayores profundidades (de 30,00 m a 60,00 m) se encuentran en la parte sureste y sur de la misma.

En cuanto a las cotas en que se localiza el manto freático van desde 140,00 m sobre el nivel medio del mar en el extremo noroeste hasta 30 m sobre el nivel medio del mar en el extremo sureste, con la dirección del flujo de las aguas subterráneas con clara orientación del noroeste al sureste. La ubicación y profundidad de los niveles freáticos medidos pueden apreciarse en la tabla 8:

Tabla 8. Ubicación y profundidad de los niveles freáticos medidos

<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Pto</b>	<b>NMF(m)</b>	<b>NMF Seca(m)</b>
536 384,46	241 842,55	Db1	19,35	19,80
535 345,38	245 578,54	Db8	12,25	
535 103,31	245 841,19	Db9	12,60	
534 201,91	246 132,50	Db12	8,65	
533 526,38	244 202,36	Db18	27,10	27,85
533 276,32	244 774,23	Db19	17,38	
533 727,73	244 523,26	Db20	27,20	27.32
533 724,07	245 831,84	Db26	5,50	
533 749,76	245 889,79	Db27	5,20	
535 699,17	246 074,82	Db29	14,45	15,03
535 537,93	246 201,80	Db30	12,10	12,95
535 932,96	246 129,79	Db33	13,80	13,90
536 921,71	246 312,50	Db38	8,96	
538 001,47	246 727,51	Db42	19,64	
538 274,72	244 705,14	Db43	7,15	
537 545,80	242 911,00	Db53	20,5	
538 027,67	244 936,07	Db61	16,25	16,85
537 317,31	245 706,57	Db67	15,55	
521 900,51	262 112,16	CG-1	0	0
531 934,40	244 809,50	CG-2	3,37	3,45
536 317,36	245 307,89	CG-3	12,49	12.93
532 422,59	240 531,41	CG-4	17,00	18,65
536 226,99	245 322,02	Db73	12,95	

536 303,99	244 644,86	Db-75	24,40	
535 866,17	244 813,85	Db-89	31,95	31,95
535 200,00	242 046,76	Db-100	4,85	
538 355,17	244 445,40	Db-106	11,65	
534 700,79	246 190,77	Db-126	15,3	
533 990,97	246 444,51	Db-130	7,30	
534 594,80	245 988,42	Db-132	15,25	
533 252,10	242 638,70	Db-26	20,75	
533 465,91	242 658,82	Db-28	10,00	
534 464,94	242 656,84	D-32	17,00	17,30
533 497,55	242 556,72	D-82	13,20	14,10
537 808,32	241 872,25	P294	34,60	
535 595,75	244 198,52	P535	20,25	
534 308,75	244 411,07	PPGuacacoa	20,35	20,96
537 808,32	241 872,25	P139AB	14,10	
539 413,19	245 720,53	P180Cabez	24,95	25,20
532 518,09	244 572,92	P525Calab	31,35	32,18
540 132,83	245 948,19	Emp Pec	13,70	

Es un hecho que debido a la fuerte sequía que ha sufrido esta región en los últimos años los niveles del manto freático han descendido varios metros, así como también la productividad de los acuíferos, según refieren los lugareños y por los registros históricos de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Holguín.

### **3.4 Fronteras hidrogeológicas.**

De la reinterpretación del mapa geológico, con sus fronteras litológicas y tectónicas, los mapas de los campos físicos, así como los mapas

hidrogeológicos de hidroisohipsas y dirección del flujo de las aguas subterráneas, profundidad de yacencia, además de los nuevos datos aportados por los trabajos de geofísica y perforación, se puede concluir que las fronteras hidrogeológicas del área perspectiva son:

Norte: Límite de alimentación, falla F-4.

Sur: Límite Impermeable, frontera entre las formaciones Camazán y Paso real, falla F-5 (ver figura 3).

En profundidad, la frontera hidrogeológica está constituida convencionalmente por rocas arcillosas, con coeficientes de filtración bajo.

### **3.5 Fuente de alimentación y potencia acuífera.**

La fuente de alimentación principal del acuífero la constituyen las precipitaciones atmosféricas, hasta el contacto del miembro Pedernales con la formación Camazán, en esta franja se produce la infiltración, efectuándose la circulación del agua a través de las fallas principalmente y parcialmente por los conglomerados, ocurriendo la acumulación de las aguas subterráneas en el contacto entre las formaciones Camazán y la formación Paso Real, en contacto tectónico en la zona de estudio, definido como un límite impermeable, donde las aguas son retenidas, producto de que la formación Paso Real está constituida fundamentalmente por facies arcillosas, existiendo poca descarga por esta zona.

La potencia acuífera convencional en la zona como promedio alcanza los 70 m. Esta potencia fue definida por las descripciones litológicas de las calas perforadas en el área de estudio y por los resultados de los trabajos geofísicos, alcanzando en algunos puntos más de 100 m.

La potencia promedio se escogió teniendo en cuenta la litología y las propiedades de filtración obtenidas en las investigaciones anteriores en la misma formación, en la cala perforada en la investigación hidrogeológica para el abastecimiento a la fábrica Bucanero SA. La caliza agrietada y carsificada de la formación Camazán alcanzó los 150 m de espesor.

### 3.6 Dirección del flujo.

Al observar el mapa de hidroisohipsas (ver figura 10) se ve que las aguas subterráneas se mueven tendencialmente hacia las zonas afectadas por las fallas. En la zona norte, de donde proviene la alimentación, el movimiento predominante de las aguas subterráneas es de noreste a suroeste en el miembro Pedernales y en la Formación Camazán es predominantemente de norte a sur.

Los gradientes hidráulicos calculados en la porción centro-norte del área perspectiva son: de 0.016, hacia el oeste y en la zona sur, de 0.008. Hacia el norte, donde ocurre la alimentación en la zona de los conglomerados, el gradiente es de 0.0124.

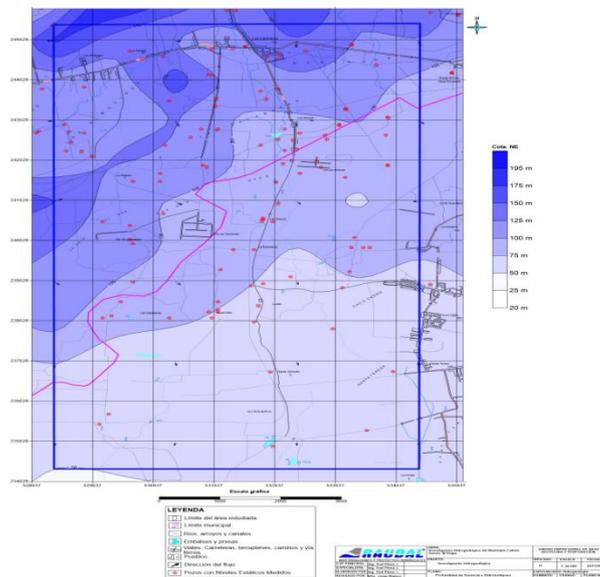


Figura 10. Mapa de hidroisohipsas del área de estudio, escala 1: 25 000.

### 3.7 Principales parámetros hidrogeológicos.

En los conglomerados del miembro Pedernales la transmisividad se encuentra en el orden de 120 m<sup>2</sup>/día a 160 m<sup>2</sup>/día, estando los coeficientes de filtración entre 4 m/día y 10 m/día. El radio de influencia de 160 m. El coeficiente de almacenamiento es de 0.09.

En las calizas agrietadas de la formación Camazán las transmisividades oscilan entre 280 m<sup>2</sup>/día y 300 m<sup>2</sup>/día. El coeficiente de filtración es de 5 m/día, el coeficiente de almacenamiento de 0.08. En las zonas altas los parámetros

hidrogeológicos son bajos, con un coeficiente de filtración promedio de 32 m/día y el coeficiente de almacenamiento de 0.08.

### **3.8 Análisis de las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas subterráneas.**

Seguidamente se caracterizan las aguas subterráneas a partir de la Norma Cubana del 2017, referenciadas como NC 827: 2017: Agua potable- Requisitos sanitarios. Para la clasificación de estas aguas se utilizan las propuestas por Aliokin y E. B. Pasójev.

#### **3.8.1 Caracterización de las aguas subterráneas.**

Según Aliokin las aguas se pueden dividir en tres grandes grupos en correspondencia al anión predominante: bicarbonatadas y carbonatadas ( $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ ), sulfatadas ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y cloruradas ( $\text{Cl}^-$ ). Estas a su vez se dividen en cálcicas ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésicas ( $\text{Mg}^{2+}$ ) y sódicas ( $\text{Na}^{1+}$ ), dentro de los cuales existen tres tipos diferentes (ver figura 12).

En las aguas del sector Las Calabazas – Los Arroyos el anión predominante es el hidrocarbonatado ( $\text{HCO}_3^-$ ) con 7.052 mg.eq/l, mientras que el ion predominante es el sodio ( $\text{Na}^{1+}$ ) con 4.787 mg.eq/l (ver figura 11).

Estas aguas cumplen con el primer tipo, esto se debe la siguiente relación:

$$\text{HCO}_3^- > (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$$

$$7.052 \text{ mg.eq/l} > (3.273 + 3.384) \text{ mg.eq/l}$$

$$7.052 \text{ mg.eq/l} > 6.657 \text{ mg.eq/l}$$

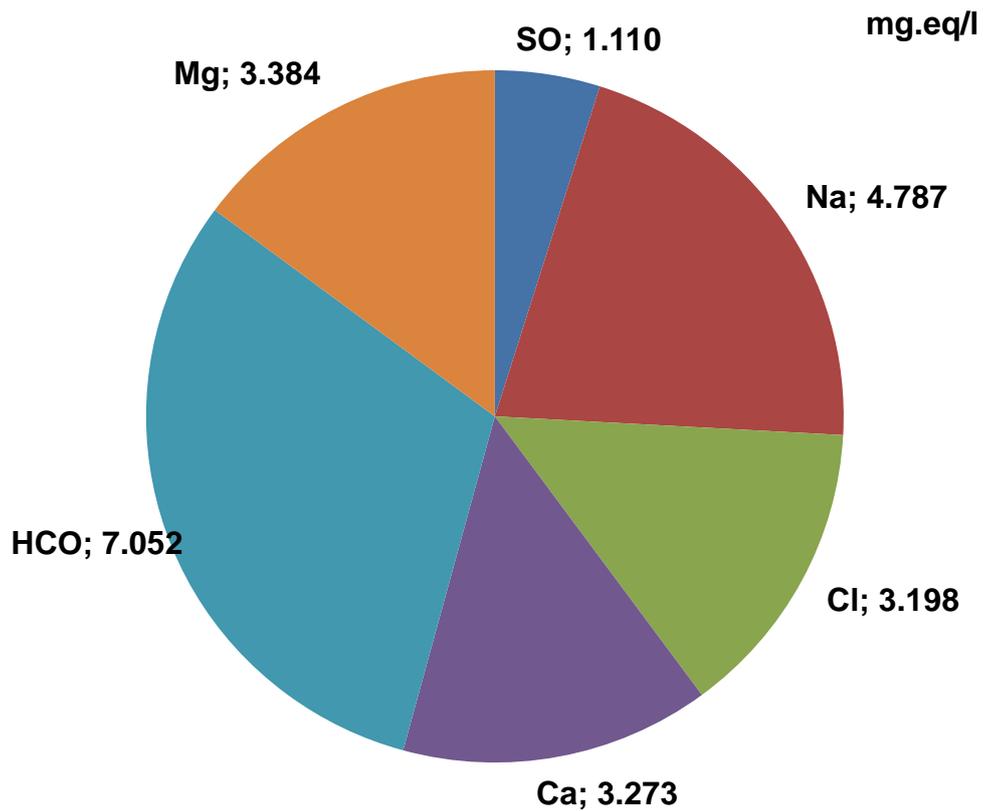


Figura 11. Representación del promedio de diferentes elementos químicos en mg.eq/l, que se encuentran en las aguas de Las Calabazas – Los Arroyos.

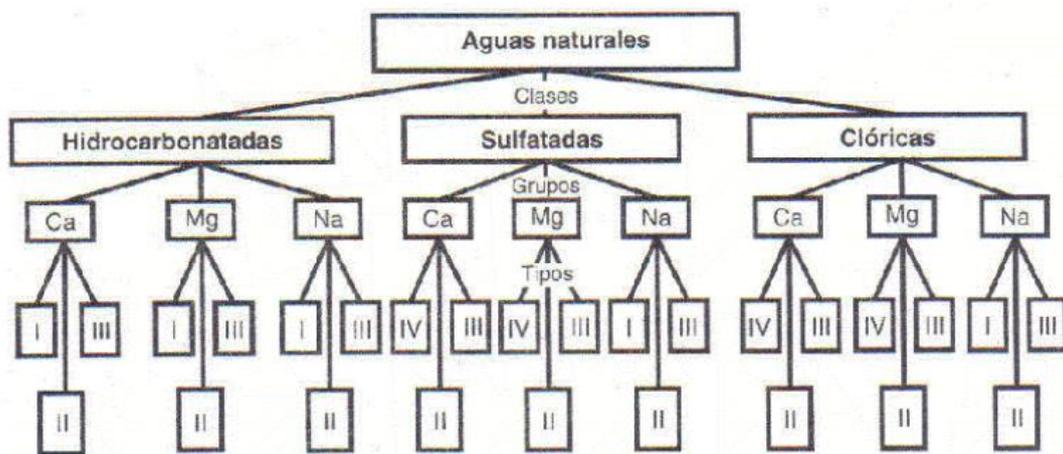


Figura 12. Esquema de clasificación de las aguas de O. A. Aliokin (tomado de De Miguel Fernández, 2012).

Con lo anterior expuesto se afirma que según la clasificación de Aliokin, las aguas subterráneas del sector de Las Calabazas – Los Arroyos son Hidrocarbonatadas Sódicas de primer tipo. Se caracteriza por ser débilmente

mineralizadas observándose un exceso de iones  $\text{HCO}_3^-$  sobre la suma de los iones de metales terrígenos básicos.

### 3.8.2 pH.

Se debe al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los microorganismos acuáticos. Los datos de pH obtenidos evidencian que existe una variación en los valores desde 6,5 a 8,05 correspondientes a los valores mínimos y máximos respectivamente. En correspondencia con la norma cubana NC 827: 2017 las muestras analizadas se encuentran en los parámetros permisibles de la misma (6,5 - 8,5). De acuerdo a la clasificación de Pasovox, se clasifican en aguas neutras por presentar valores entre los 6,5 hasta 8,5 (ver figura 13). En el mapa los valores más altos del pH se representan con colores más intensos, en el área se puede apreciar que los mayores valores se ubican en la parte norte y noroeste de la zona de estudio.

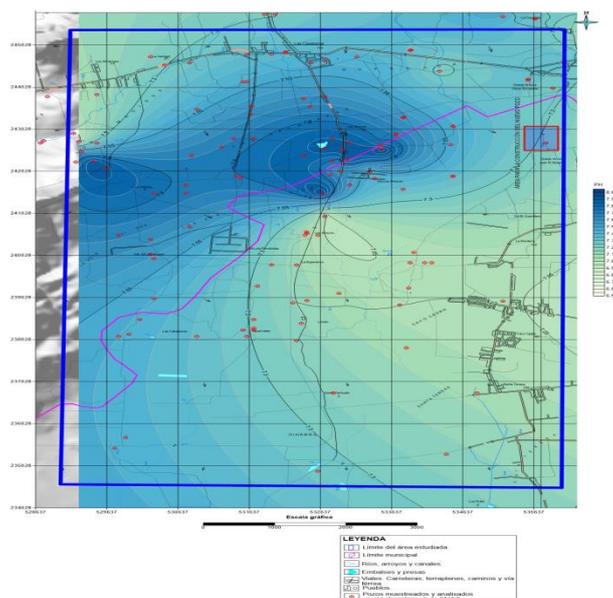


Figura 13. Mapa del pH en el área de Las Calabazas - Los Arroyos, escala 1: 25 000.

### 3.8.3 Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) mg/l.

Al igual que los nitritos, es un ion de origen natural que forma parte del ciclo del nitrógeno. Los valores en el área varían desde los 0 mg/l hasta los 85 mg/l, siendo estos los mínimos y máximos respectivamente. En el mapa los mayores valores se ven representado con un color más intenso, por lo cual se puede observar que los mayores valores de  $\text{NO}_3^-$  se encuentran en la parte central y noreste del área (ver figura 14).



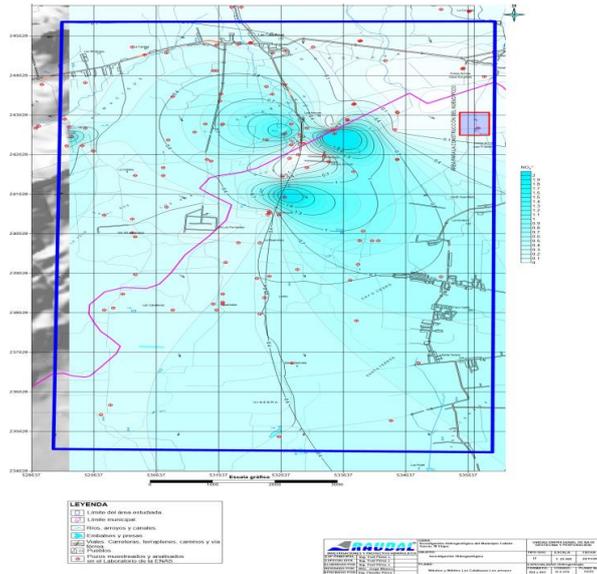


Figura 15. Concentración de nitrito en el área de Las Calabazas - Los Arroyos, escala 1: 25 000.

### 3.8.5 Sales Solubles Totales (STD).

En el área los valores de STD varían desde 489 mg/l hasta los 1 283 mg/l, siendo estos los valores mínimos y máximos respectivamente.

Los mayores son representados en el mapa con colores más intensos, por lo que se puede apreciar que las mayores concentraciones se pueden encontrar en la parte norte y noroeste del área de estudio (ver figura 16).

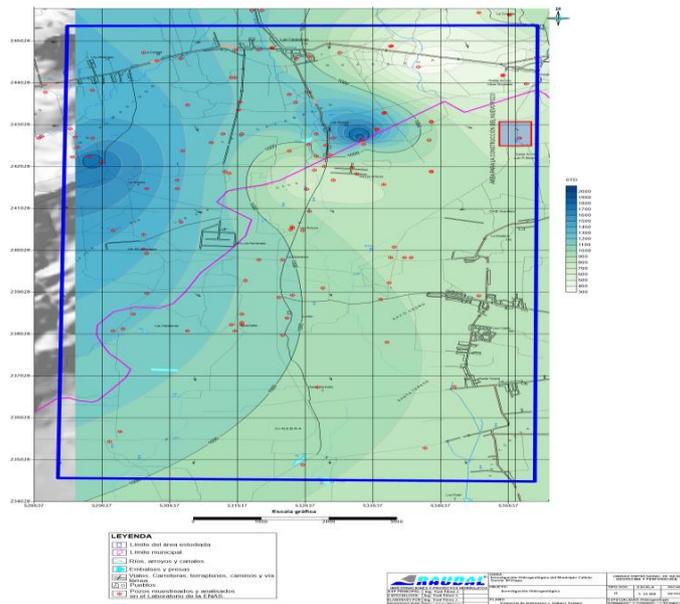


Figura 16. Concentración de las sales totales solubles en el área de Las Calabazas - Los Arroyos, escala 1: 25 000.

### 3.8.6 Dureza total como carbonato de calcio (mg/l).

Las muestras analizadas tienen valores que varían de 240 mg/l y 575 mg/l siendo estos mínimo y máximo respectivamente (ver figura 17). El límite mayor admisible por la norma NC 827: 2017 es de 400 mg/l, por lo que las muestras MY-12, Db-42, Db-43, Db-3 y Db-100 sobrepasan el valor dado por la norma cubana.

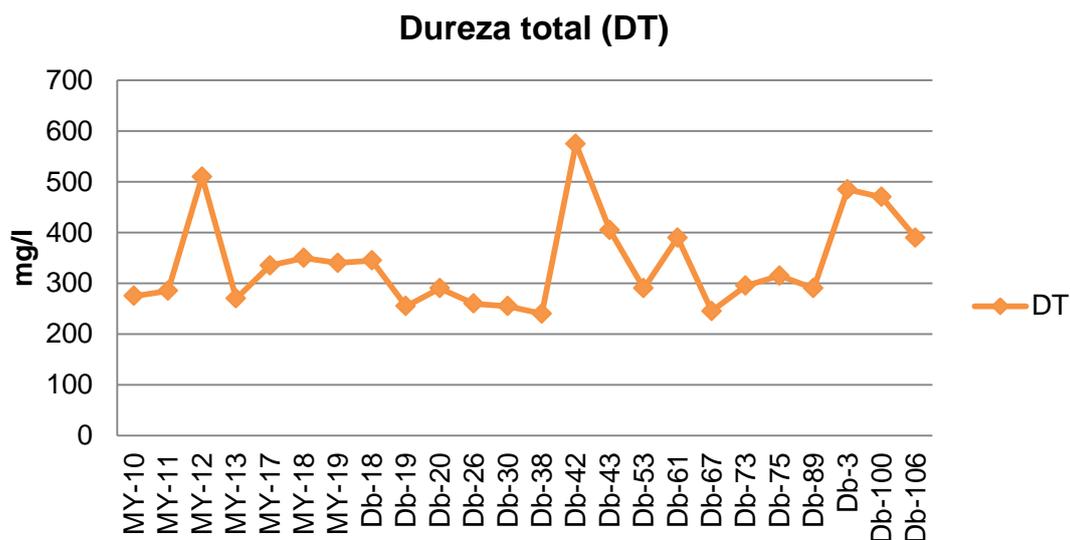


Figura 17. Comportamiento de la dureza total (mg/l) presente en las muestras tomadas.

### 3.8.7 Dureza total (mg.eq/l).

Está representada por el contenido total de sales de calcio y magnesio, presentes en las aguas subterráneas y expresado en mg.eq/l. La dureza total calculada en las diferentes muestras tomadas presentan valores de 4,8 mg.eq/l y 10,1 mg.eq/l siendo estos los mínimos y máximos respectivamente (ver figura 18). Según Aliokin estas aguas se clasifican en aguas duras, ya que el promedio de los valores obtenido es 6.7 mg.eq/l.

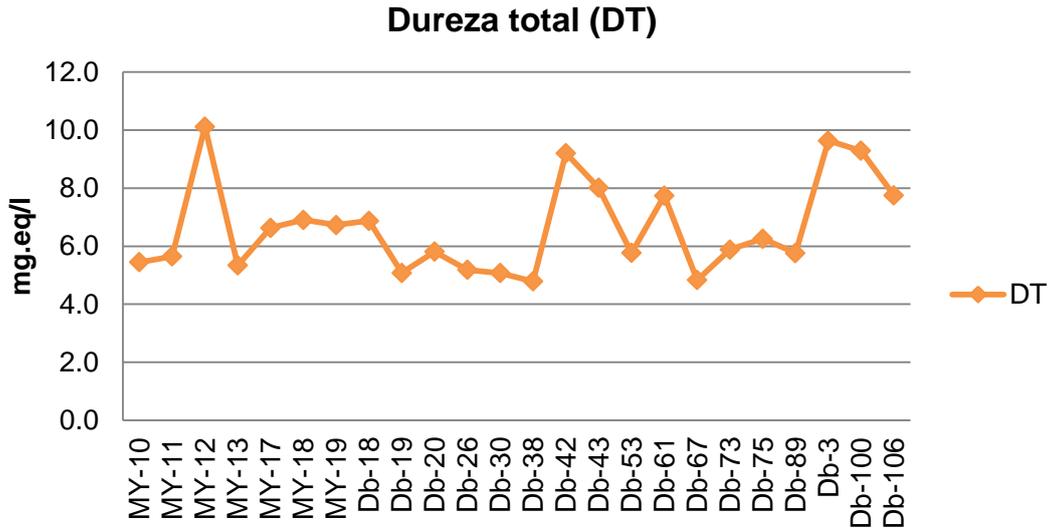


Figura 18. Comportamiento de la dureza total (mg.eq/l) presente en las muestras tomadas.

### 3.8.8 Mineralización (M) g/l.

La mineralización no es más que la suma de los aniones y los cationes muestreados, dado en g/l. Los valores calculados oscilan entre 0,49 g/l y 1,28 g/l, siendo estos mínimo y máximo respectivamente. Según Aliokin estas aguas se pueden clasificar en aguas dulces, ya que el promedio de los valores obtenidos es 0,86 g/l (ver figura 19).

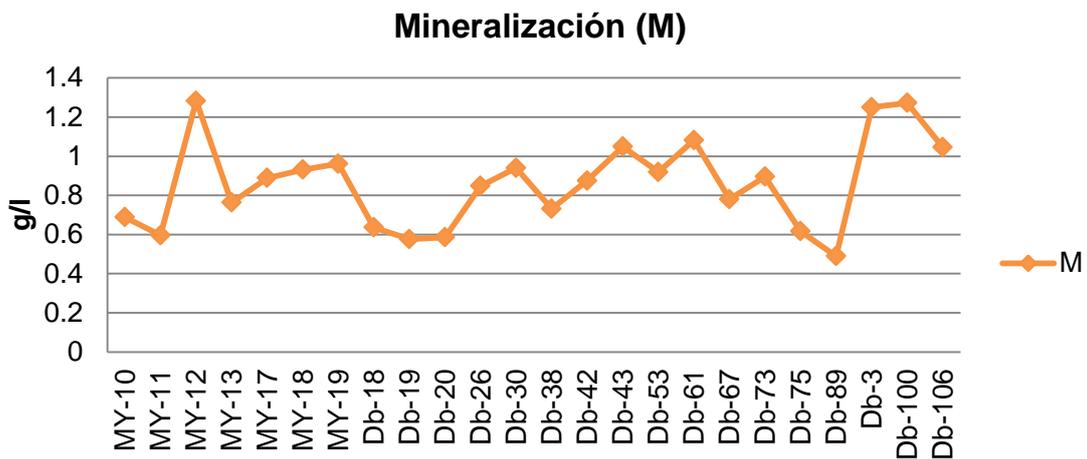


Figura 19. Comportamiento de la concentración de la mineralización presente en las muestras tomadas.

### 3.8.9 Conductividad eléctrica (CE) $\mu\text{S}/\text{cm}$

La conductividad eléctrica es la capacidad que tiene el agua para conducir la electricidad a través de ella, depende del grado de mineralización que

presenten las aguas dado que con el aumento de la mineralización también aumenta la conductividad eléctrica. En el área se encuentran valores de 614  $\mu\text{S/cm}$  y 3110  $\mu\text{S/cm}$  siendo estos los valores mínimos y máximos respectivamente (ver figura 20).

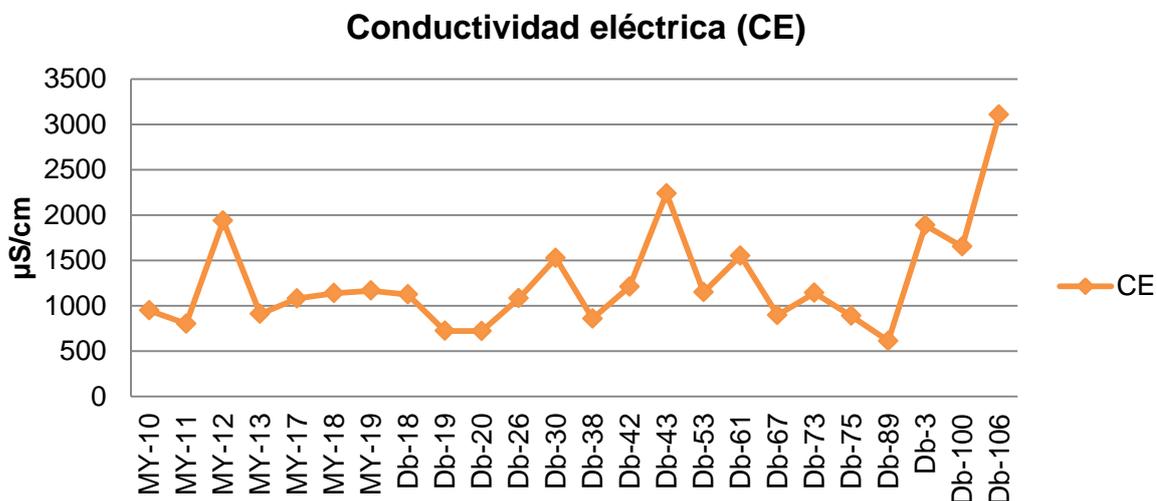


Figura 20. Comportamiento de la conductividad eléctrica en las muestras tomadas.

### 3.8.10 Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) mg/l.

Los sulfatos son sales solubles en agua, por lo cual es notable su presencia en las aguas naturales con un amplio intervalo de concentraciones. En el área se encuentran valores de 14 mg/l y 113 mg/l siendo estos los valores mínimos y máximos respectivamente (ver figura 21).

El límite mayor admisible por la norma NC 827: 2017 es de 400 mg/l por lo tanto todos los valores encontrados en el área son permisibles por la norma cubana.

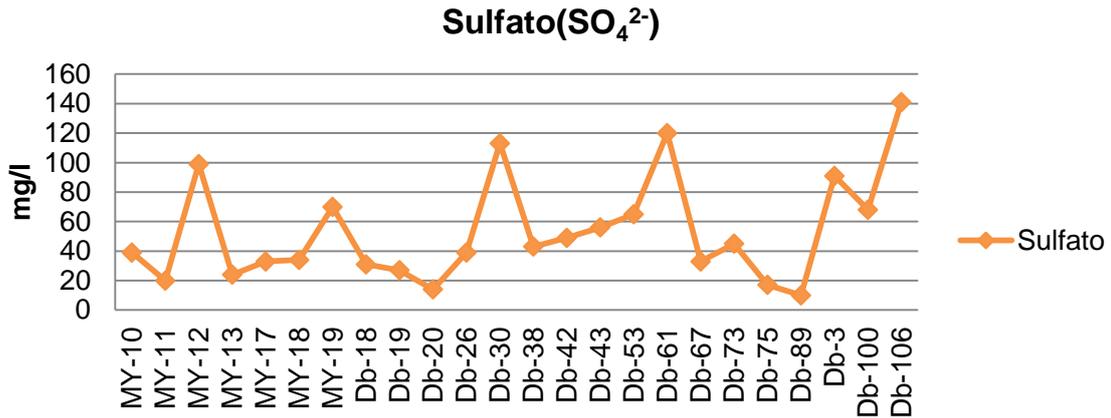


Figura 21. Comportamiento de la concentración de sulfato en las muestras tomadas.

### 3.8.11 Turbidez (NTU).

La turbidez es la medida que determina la claridad del agua, es decir que permite conocer el grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Las muestras analizadas muestran valores de 1 NTU y 6 NTU, siendo estos los mínimos y máximos respectivamente (ver figura 22).

En correspondencia con la norma cubana NC 827: 2017, la muestra M-17 se encuentra por encima del valor permisible con un valor de 6 NTU.

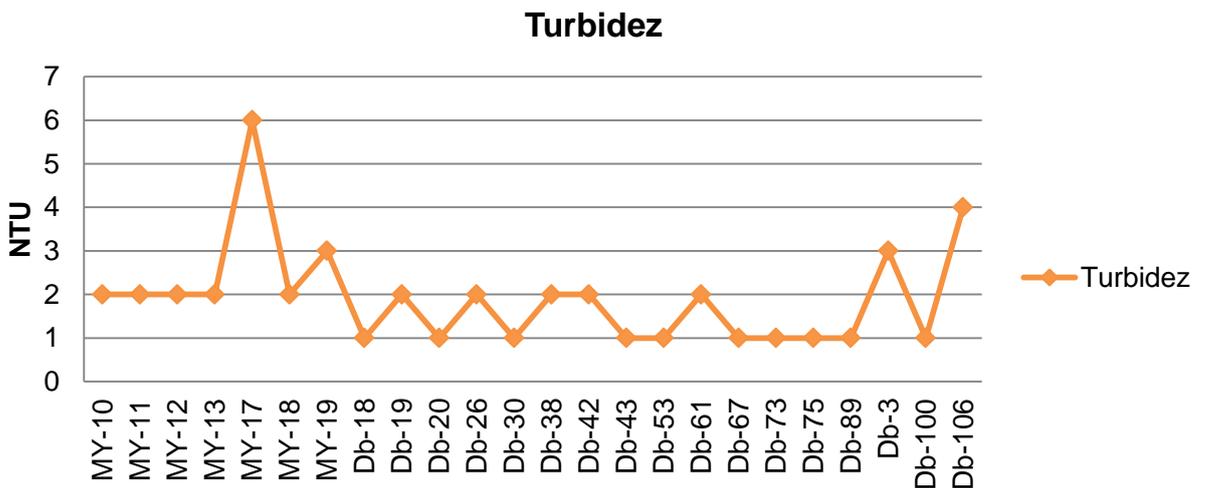


Figura 22. Concentración de la turbidez del agua.

### 3.8.12 Carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) mg/l e Hidrocarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) mg/l.

Los hidrocarbonatos no se consideran perjudiciales para la salud. Los valores arrojados por las muestras tomadas oscilan 250 mg/l y 708 mg/l, siendo mínimo y máximo respectivamente (ver figura 23).

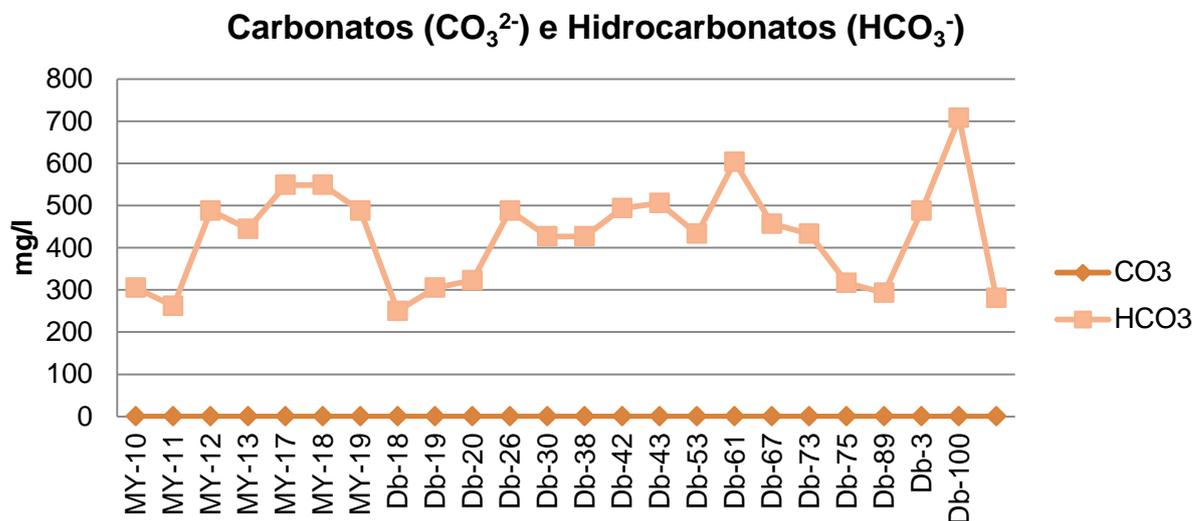


Figura 23. Comportamiento de la concentración de los carbonatos e hidrocarbonatos presentes en las muestras tomadas.

### 3.8.13 Concentración de Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) mg/l y Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) mg/l.

Los valores del elemento calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) encontrados durante el análisis de las muestras oscilan entre los 20 mg/l y 104 mg/l siendo estos los mínimos y máximos respectivamente (ver figura 24). Estos se encuentran dentro de los valores permisibles por la norma NC 827: 2017, el cual es de 200 mg/l.

Los valores del elemento magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) encontrados durante el análisis de las muestras oscilan entre los 7 mg/l y 96 mg/l siendo estos los mínimos y máximos respectivamente (ver figura 24). Estos se encuentran dentro de los valores permisibles por la norma NC 827: 2017, el cual es de 150 mg/l.

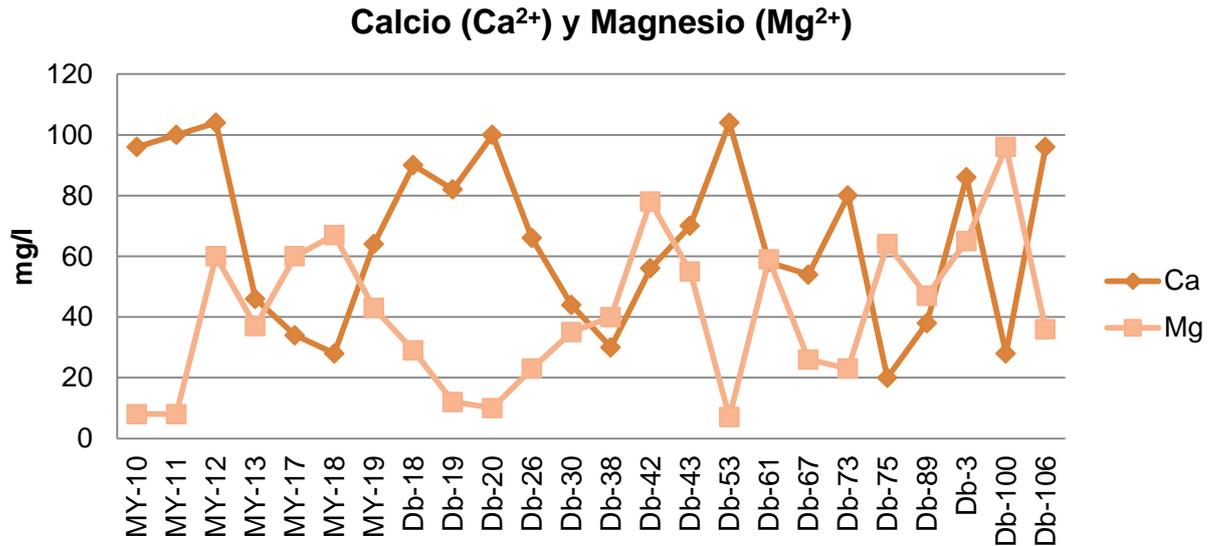


Figura 24. Comportamiento de la concentración de calcio y magnesio en las muestras tomadas.

### 3.8.14 Concentración de Sodio (Na<sup>2+</sup>) mg/l y Cloruros (Cl<sup>-</sup>) mg/l.

Los valores del elemento Sodio (Na<sup>2+</sup>) analizados en las muestras tomadas, tienen valores que varían de 19 mg/l y 182 mg/l siendo estos mínimo y máximo respectivamente (ver figura 25). Estos se encuentran dentro de los valores permisibles por la norma NC 827: 2017, el cual es de 200 mg/l.

Los valores del elemento Cloruro (Cl<sup>-</sup>) analizados en las muestras tomadas, tienen valores que varían de 35 mg/l y 312 mg/l siendo estos mínimo y máximo respectivamente (ver figura 25). El valor máximo permisible por la norma NC 827: 2017 es de 250 mg/l, por lo tanto encontramos que las muestras M -12, Db-3 y Db-106 se encuentran por encima de este valor permisible.

### Sodio (Na<sup>2+</sup>) y Cloruros (Cl<sup>-</sup>)

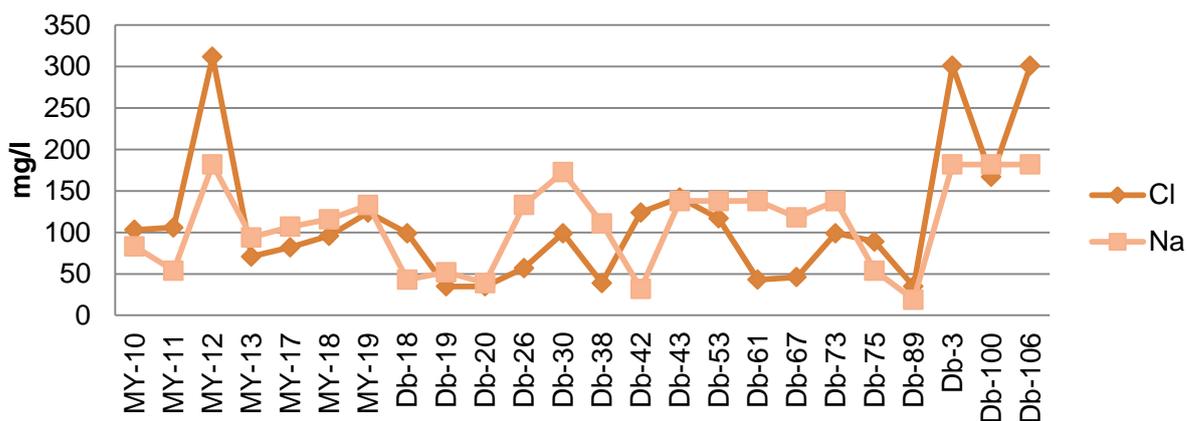


Figura 25. Comportamiento de la concentración de sodio y cloro en las muestras tomadas.

### 3.8.15 Sólidos totales (ST) mg/l.

Los valores de los sólidos totales arrojados por el análisis de las muestras, arroja valores que varían de 0 mg/l a 2 560 mg/l, siendo estos los valores mínimo y máximo respectivamente (ver figura 26).

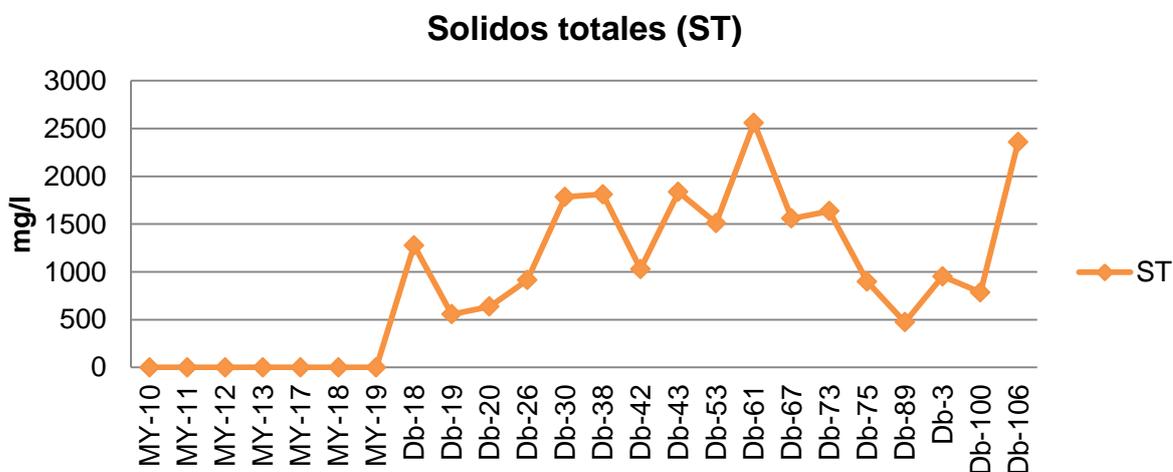


Figura 26. Comportamiento de los sólidos totales en las muestras tomadas.

### 3.8.16 Sólidos totales disueltos (SDT) mg/l.

Los valores de los sólidos totales disueltos arrojados por el análisis de las muestras, arroja valores que varían de 0 mg/l a 952 mg/l, siendo estos los valores mínimo y máximo respectivamente (ver figura 27). Según la NC 827: 2017 el límite mayor admisible es de 1 000 mg/l, por lo tanto no ocurre ninguna violación en las muestras analizadas.

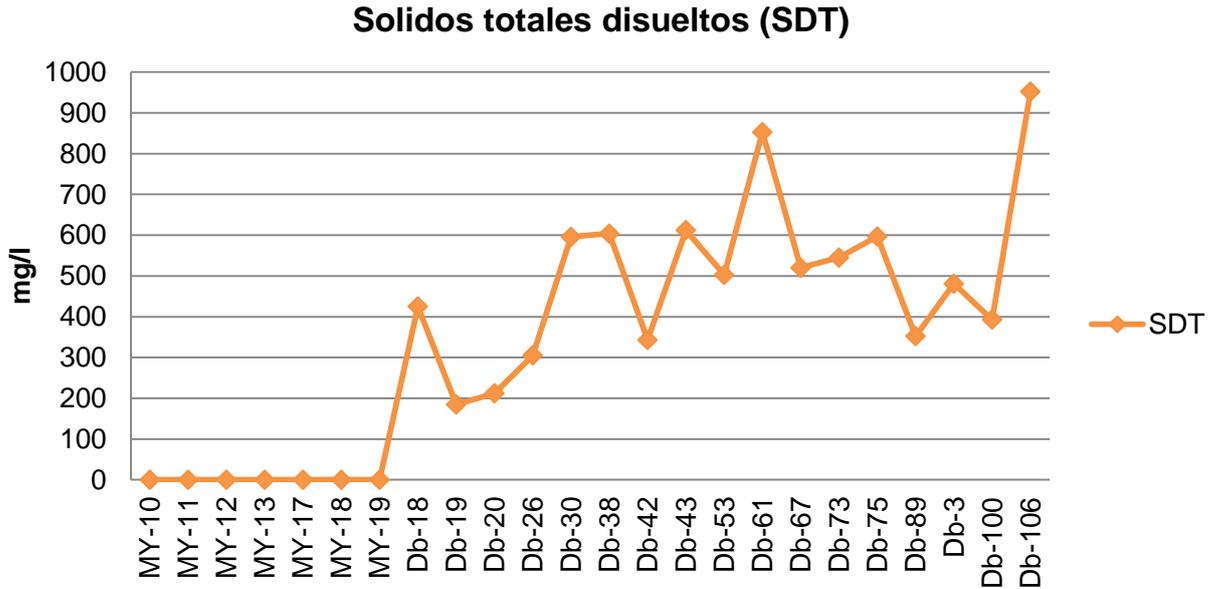


Figura 27. Comportamiento de los sólidos totales disueltos en las muestras tomadas.

### 3.8.17 Sólidos totales en suspensión (SST) mg/l.

Los valores de los sólidos totales arrojados por el análisis de las muestras, arroja valores que varían de 0 mg/l a 1 707 mg/l, siendo estos los valores mínimo y máximo respectivamente (ver figura 28).

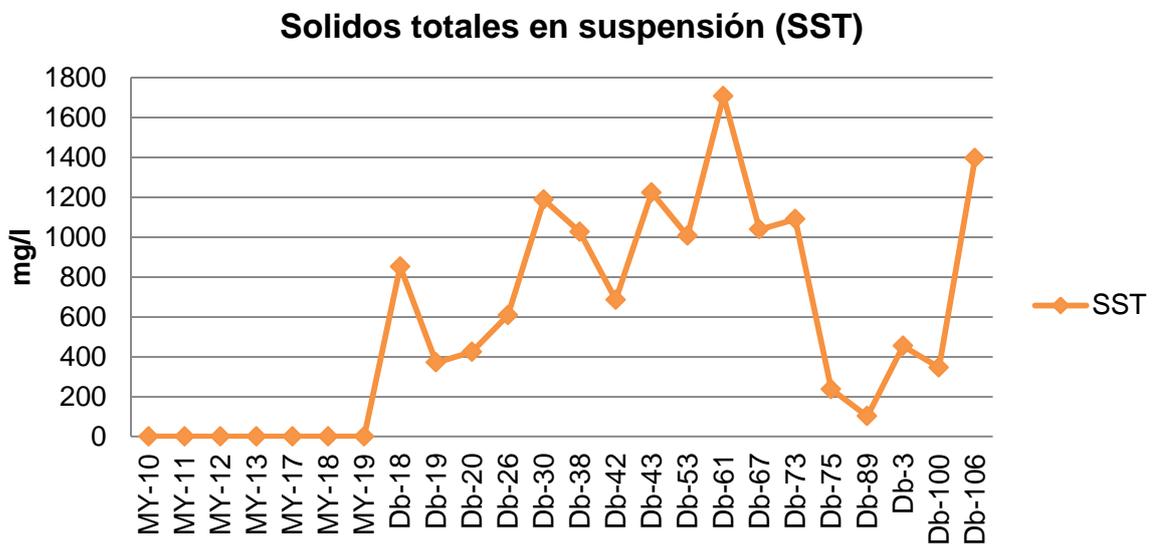


Figura 28. Comportamiento de los sólidos totales en suspensión en las muestras tomadas.

### 3.8.18 Coliformes totales (CT) NMP/100 cm<sup>3</sup> y coliformes fecales (CF) NMP/100 cm<sup>3</sup>.

Los coliformes totales (CT) encontrados en las muestras tomadas, varían de 0 NMP/100 cm<sup>3</sup> y 140 NMP/100 cm<sup>3</sup> siendo estos mínimo y máximo respectivamente. En cuanto a la norma NC 827: 2017 el contenido de CT debe ser menor de 2 NMP/100 cm<sup>3</sup>, por lo tanto tenemos que las muestras MY-10, MY-12, MY-18, Db-75 y Db-89 se encuentran por encima del valor permitido por la norma cubana (ver figura 29).

Los coliformes fecales (CF) encontrados en las muestras tomadas, varían de 0 NMP/100 cm<sup>3</sup> y 110 NMP/100 cm<sup>3</sup> siendo estos mínimo y máximo respectivamente (ver figura 29). En cuanto a la norma NC 827: 2017 el contenido de CT debe ser de 2 NMP/100 cm<sup>3</sup>, por lo tanto tenemos que las muestras MY-10, MY-12, MY-18, Db-75 y Db-89 se encuentran por encima del valor permitido por la norma cubana.

La presencia de coliformes fecales (CF) y totales (CT) puede deberse a la existencia de letrinas y corraletas cercanas a los pozos así como a la falta de protección de estos y a la mala manipulación, ya que en su mayoría se encuentran mal tapados o sin tapa alguna y la extracción del agua se realiza con cubos y sogas, con lo que no se protegen adecuadamente.

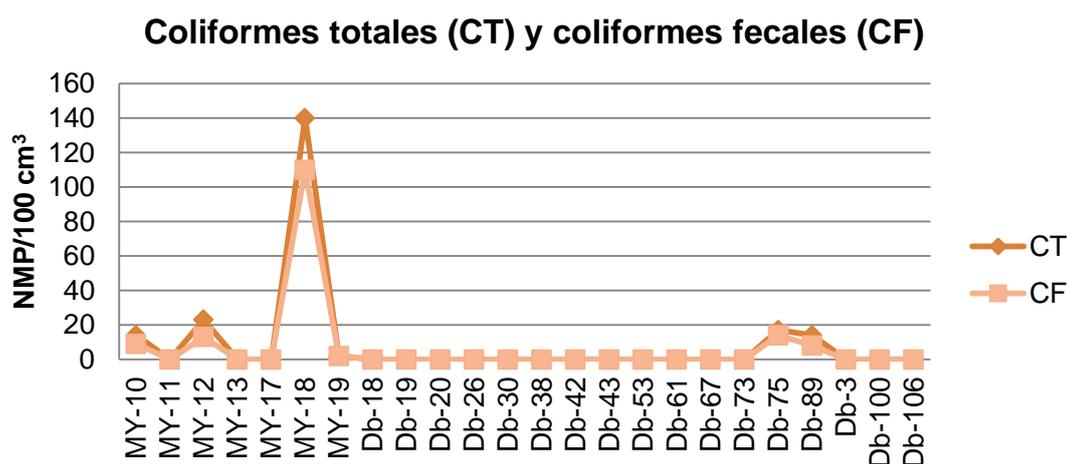


Figura 29. Comportamiento de los coliformes totales y coliformes fecales en las muestras tomadas.

### **3.8.19 Métodos para el tratamiento de las aguas.**

A continuación se exponen los principales métodos que se utilizan para la purificación de las aguas que presentan contenidos de nitrato, nitrito, cloruro, sodio, coliformes totales, coliformes fecales y dureza total, los cuales se encuentran por encima de los límites máximos admisibles de la Norma 827:2017.

Lo recomendable ante presencias de estas aguas con alto contenido de nitratos, nitritos, cloruro y sodio es utilizar la ósmosis inversa, la cual es una tecnología que se destaca por la mejora en el sabor del agua. En la ósmosis inversa, utiliza alta presión para forzar el agua a través de una membrana mientras que las impurezas se quedan retenidas. En otras palabras, la alta presión hace que las impurezas sean retenidas de un lado de la membrana. Solo el agua pura es capaz de atravesar la membrana; incluso las impurezas disueltas (sales y minerales) que no se pueden eliminar por filtración convencional son capturadas y eliminadas por el sistema de purificación de ósmosis inversa.

La dureza en el agua se genera como consecuencia de la presencia de ciertas sales en el agua. Los iones presentes en un agua dura son Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ). Estos iones o minerales son los causantes de la formación de depósitos en las tuberías y demás equipos utilizados en los sistemas de agua potable y de agua de proceso, estas altas concentraciones en las aguas de la dureza se pueden contrarrestar a través de uso de los ablandadores son intercambiadores de iones específicos los cuales están diseñados para eliminar los iones con múltiples cargas positivas. Se utiliza un tanque que se llena con una resina de intercambio iónico, cargado negativamente. Cuando el agua pasa a través de la resina de intercambio iónico, los iones de dureza, que llevan una carga positiva fuerte, desplazan a los iones de sodio más débilmente cargadas. Los iones de dureza (calcio y magnesio) son así atrapados a través de la atracción electromagnética de las partículas de resina. Los lechos de intercambio iónico son entonces limpiados y regenerados, a intervalos determinados en función del volumen de agua de forma automática. El proceso de regeneración implica inundar la cama con una solución salina (sodio) sobresaturada que barre de manera efectiva los iones

de dureza dejando a la resina lista para el siguiente ciclo de suavización del agua. La dureza no es un problema que afecte a la salud humana, pero causa problemas de incrustaciones en tuberías, membranas de ultrafiltración / ósmosis inversa y depósitos.

Debido a que los contenidos de Coliformes totales (CT) y Coliformes fecales (CF) sobrepasan los límites máximos admisibles de la Norma 827:2017, se recomienda emplear la cloración de estas aguas, ya que es un medio sencillo y eficaz para desinfectar el agua y hacerla potable. Consiste en introducir productos clorados (pastillas de cloro, lejía, etc.) en el agua para matar los microorganismos en ella contenidos. Tras un tiempo de actuación de unos 30 minutos, el agua pasa a ser potable. Gracias al efecto remanente del cloro, continúa siéndolo algunos días (en función de las condiciones de almacenamiento).

### **3.9 Fundamentación del cálculo de reservas.**

Para realizar una buena evaluación de las reservas de explotación de las aguas subterráneas en un área determinada, es necesario tener presente que estas aguas, están en combinación con un conjunto de elementos que forman parte del ciclo hidrológico y que, a su vez, no todos se encuentran representados en determinadas condiciones. Se encuentra en dependencia de la existencia o no de red hidrográfica, entre otros factores. Es por ello que el cálculo que se realice de las reservas de explotación debe estar bien fundamentado.

Después de establecidas las fronteras hidrogeológicas (ver figura 30), se calcularon las reservas de agua subterránea para la nueva área hidrogeológica Las Calabazas-Los Arroyos donde se contemplan la zona de alimentación y la zona de acumulación, no estimándose la zona de descarga, ya que existe muy poca salida de las aguas subterráneas hacia el sur. Los recursos se calcularon mediante el método hidrodinámico por el método del gran pozo y el método de balance.

El método hidrodinámico tiene como objetivo principal definir el abatimiento permisible en la zona de acumulación de las aguas subterráneas, en este caso,

calizas organógenas agrietadas y carsificadas, con el cual se satisface la extracción de un volumen determinado del líquido.

Mientras que con la implementación del método de Balance se evalúan las reservas de explotación fundamentadas con la utilización de ecuaciones de balance, que relacionan las reservas de explotación (parte del caudal de balance) con todas las fuentes que forman estas reservas (parte de entrada del balance).

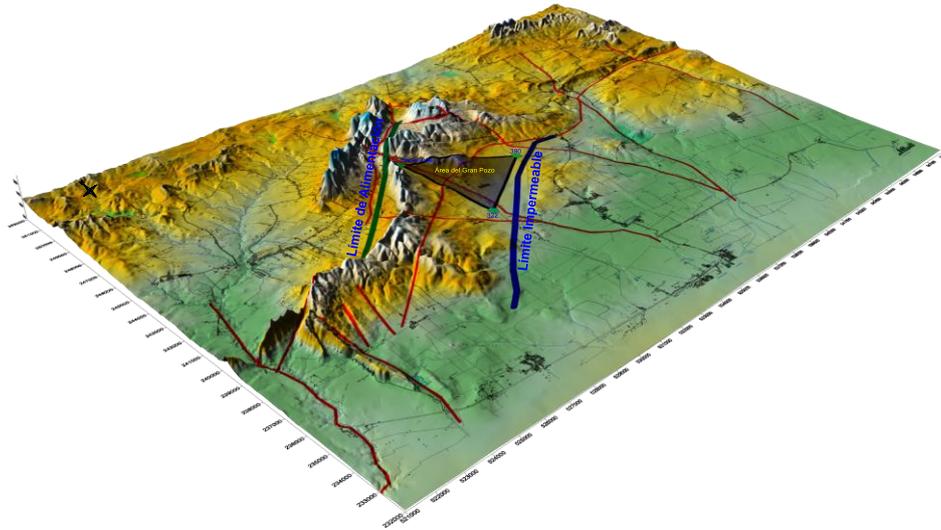


Figura 30. Esquema del cálculo de reservas por el método hidrodinámico, escala 1: 50 000.

### 3.10 Cálculo de reserva de las aguas subterráneas en Las Calabazas-Los Arroyos mediante el Método Hidrodinámico.

Para este método se emplean varios esquemas de cálculo según las condiciones hidrogeológicas presentes en el área de estudio. En este caso donde existe un límite impermeable y uno de alimentación, que por su ubicación en planta pueden ser considerados paralelos se implementó la siguiente formula.

$$S = H \sqrt{\left( H^2 - \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{1,27 L_0 \operatorname{ctg} \frac{\pi L_1}{2L_0}}{r} \right)}$$

Donde:

S: Descenso admisible de explotación (20,0 m)  $S = 0,5 H$

(Se considera  $\frac{1}{2}$  de la potencia acuífera).

H: Potencia Acuífera (40 m)

Q: Caudal de explotación.

K: Coeficiente de filtración (5 m/día)

r: Radio del pozo (1 650 m)

$L_1$ : Distancia desde el centro del pozo o gran pozo hasta el límite de alimentación (2 525 m)

$L_0$ : Ancho de la lente o banda acuífera en el trazado por el centro del pozo o gran pozo (5 050 m)

La formulación que se empleó está en función del abatimiento, pero como el objetivo de dicho cálculo es determinar el caudal de explotación del sistema de pozos, entonces despejamos el caudal (Q) de la fórmula escogida.

$$S - H = -\sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{1,27 L_0 \operatorname{ctg} \frac{\pi L_1}{2L_0}}{r}}$$

$$H - S = \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{1,27 L_0 \operatorname{ctg} \frac{\pi L_1}{2L_0}}{r}}$$

$$(H - S)^2 = H^2 - \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{1,27 L_0 \operatorname{ctg} \frac{\pi L_1}{2L_0}}{r}$$

$$(H - S)^2 - H^2 = -\frac{Q}{\pi K} \ln \frac{1,27 L_0 \operatorname{ctg} \frac{\pi L_1}{2L_0}}{r}$$

$$-2HS + S^2 = -\frac{Q}{\pi K} \ln \frac{1,27 L_0 \operatorname{ctg} \frac{\pi L_1}{2L_0}}{r}$$

$$2HS - S^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{1,27 L_0 \operatorname{ctg} \frac{\pi L_1}{2L_0}}{r}$$

$$Q = \frac{(2HS - S^2) \pi K}{\ln \frac{1,27 L_0 \operatorname{ctg} \frac{\pi L_1}{2L_0}}{r}}$$

$$Q = \frac{(2 * 40 \text{ m} * 20 \text{ m} - 20^2 \text{ m}) 3,14 * 5 \text{ m} / \text{día}}{\ln \frac{1,27 * 5\,050 \text{ m} * \operatorname{ctg} \frac{3,14 * 2\,525 \text{ m}}{2 * 5\,050 \text{ m}}}{1\,650 \text{ m}}}$$

$$Q = 13\,955 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$Q = 161,50 \text{ l/s}$$

### 3.11 Cálculo de reserva de las aguas subterráneas en Las Calabazas-Los Arroyos mediante el Método de Balance.

Con este cálculo se procuró establecer los recursos de explotación en esta zona, de modo que, se asegure su aprovechamiento más eficiente y uso racional

#### 3.11.1 Reservas naturales ( $Q_n$ ).

Por su definición representan el volumen de agua almacenado de forma permanente en determinado volumen de roca y su utilización como reserva durante la explotación se definirá por el tiempo en que se programe su extracción, considerando solo el volumen que resulte racional extraer del acuífero sin perjudicar el medio ambiente circundante, numéricamente dependerá de las propiedades de almacenamiento de las rocas representado por el coeficiente de entrega de agua y por la magnitud del abatimiento (deseccamiento) al final del período de explotación sin considerar su reposición que de forma racional sea posible realizar en el acuífero.

$$Q_n = \frac{V}{t} = \alpha_1 \frac{\mu * H * F}{t}$$

$$Q_1 = \frac{0,08 * 40 \text{ m} * 7\,758\,154 \text{ m}^2}{10\,950 \text{ días}}$$

$$Q_n = 2\,267 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$Q_n = 26 \text{ l/s}$$

Donde:

$\mu$  : Entrega de agua de las rocas. (0,08)

H: Potencia acuífera. (40 m)

F: Área de extensión del acuífero. (7 758 154 m<sup>2</sup>)

t: Tiempo previsto de explotación. (10 950 días)

### 3.11.2 Recursos naturales ( $Q_N$ ).

Por definición de los mismos, pueden ser evaluados integralmente considerando todos los elementos que forman estos recursos cuando el conocimiento de las condiciones hidrogeológicas y datos con que se disponga lo permitan.

Los recursos naturales de las aguas subterráneas se pueden evaluar bien por la alimentación del acuífero por infiltración de las aguas de precipitaciones atmosféricas, infiltración de aguas del escurrimiento superficial de ríos ó por el escurrimiento del flujo subterráneo, esto último tiene supremacía en cuanto a veracidad del total de los recursos que se evalúan.

#### Por magnitud del flujo subterráneo que llega al área de evaluación.

Flujo homogéneo: Cuando el flujo de las aguas subterráneas presenta condiciones homogéneas que se definen por la configuración de las isoclinas de mapas de hidroisohipsas o hidroisopiezas en una sección normal al flujo en límite inicial del área de evaluación.

$$Q_N = K * H * I * B$$

$$Q_N = 5 \text{ m/día} * 40 \text{ m} * 0,013 * 4 163 \text{ m}$$

$$Q_N = 10 823 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_N = 125 \text{ l/s}$$

Donde:

K: Coeficiente de filtración de las rocas acuíferas. (5 m/ día)

H: Potencia acuífera. (40 m)

I: Gradiente hidráulico. Se determina por mapas de hidroisohipsas en sección normal al flujo subterráneo en el límite de entrada al área que se evalúa. (0,013)

B: Ancho de la sección normal al flujo subterráneo en el límite de entrada al área que se evalúa. (4 163 m)

### 3.11.3 Cálculo de las reservas de explotación en Las Calabazas-Los Arroyos.

Las distintas reservas y recursos que forman las reservas de explotación de las aguas subterráneas se reflejan en la ecuación de balance siguiente:

$$Q_e = \alpha_1 Q_n + \alpha_2 Q_N + \alpha_3 Q_a + \alpha_4 Q_A + Q_{at}$$

Donde:

$Q_e$ : Reservas de explotación

$Q_N$ : Recursos naturales (2 267 m<sup>3</sup>/día)

$Q_n$ : Reservas naturales (10 823 m<sup>3</sup>/día)

$Q_a$ : Reservas artificiales.

$Q_A$ : Recursos artificiales

$Q_{at}$ : Recursos atraíbles

En el cálculo de reservas de explotación, las reservas y recursos artificiales se consideran despreciables puesto que los valores que se obtienen en los períodos de recarga son bajos y no varían. Además, se excluyen los recursos atraíbles producto de que en el área no se realiza recargas artificiales.

$$Q_e = \alpha_1 Q_N + \alpha_2 Q_n$$

$$Q_e = 2\,267 \text{ m}^3/\text{día} + 10\,823 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_e = 13\,090 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_e = 151,5 \text{ l/s}$$

## CONCLUSIONES

1. La fuente de alimentación principal del acuífero la constituyen las precipitaciones atmosféricas, en el contacto del miembro Pedernales con la formación Camazán al norte del área, donde se acumulan las aguas subterráneas. Estas con una profundidad de yacencia de entre 5 m y 20 m se mueven tendencialmente hacia las zonas afectadas por las fallas. En la zona norte, de donde proviene la alimentación, el movimiento predominante de las aguas subterráneas es de noreste a suroeste en el miembro Pedernales y en la Formación Camazán es predominantemente de norte a sur.
2. En los conglomerados del miembro Pedernales la transmisividad se encuentran en el orden de 120 m<sup>2</sup>/día a 160 m<sup>2</sup>/día, estando los coeficientes de filtración entre 4 m/día y 10 m/día. El radio de influencia de 160 m. El coeficiente de almacenamiento es de 0,09. En las calizas agrietadas de la formación Camazán las transmisividades oscilan entre 280 m<sup>2</sup>/día y 300 m<sup>2</sup>/día. El coeficiente de filtración es de 5 m/día, el coeficiente de almacenamiento de 0,08. En las zonas altas los parámetros hidrogeológicos son bajos, con un coeficiente de filtración promedio de 32 m/día y el coeficiente de almacenamiento de 0,08.
3. Por su composición las aguas subterráneas son predominantemente Hidrocarbonatadas-Cloruradas-Sódicas. En Toda el área los PH se comportan dentro del límite máximo permisible, en un rango entre 7,2 y 8,2 según establece la NC 827- 2017 Agua potable requisitos sanitarios, ello es indicio de la no existencia de contaminación por compuestos químicos. Casi toda la parte norte y el extremo este del área de Las Calabazas- Los Arroyos poseen un contenido de sólidos disueltos totales por debajo del límite máximo permisible (1000 mg/l) según la mencionada norma, en todo el centro y la porción sur del área predominan valores entre 1000 mg/l y 2000 mg/l, o sea, aguas salobres dentro de estas. El Pozo de Guacocoa cuyos resultados fueron positivos, refleja que una vez comenzado el aforo el mismo fue captando contaminación cercana al mismo, los coliformes termotolerantes ascendieron hasta 110 mg/l y la norma exige un contenido menor de 2 NMP/100 cm<sup>3</sup>.

4. El caudal de explotación calculado por el Método Hidrodinámico fue de  $13\ 955\ \text{m}^3/\text{día} = 161,50\ \text{l/s}$ . Mientras que las reservas de explotación calculadas mediante el Método de Balance fue  $13\ 090\ \text{m}^3/\text{día} = 151,5\ \text{l/s}$ , por lo que el acuífero presenta la capacidad suficiente para abastecer de agua a la población y a objetivos económicos.

## **RECOMENDACIONES**

1. Realizar una evaluación hidrogeológica más detallada en cuanto a la composición química de las aguas subterráneas en el área Las Calabazas-Los Arroyos

## BIBLIOGRAFÍA

(RAUDAL), Empresa de proyectos e investigaciones hidráulicas, 2012. Investigación hidrogeológica de los sectores Cuentas Claras y Cayo Redondo, Manzanillo. .Manzanillo:

(RAUDAL), Empresa de proyectos e investigaciones hidráulicas, 2014. Evaluación hidrogeológica en el Sector Collazo, Frank País. . Frank País:

BLANCO BLÁZQUEZ, J.L., 2016. Mapa Hidrogeológico de Holguín. . Holguín:

CALVETE SAMPER, J., 2018. EVALUACIÓN DE LAS EXTRACCIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA MEDIANTE BALANCES HÍDRICOS. *Medida y evaluación de las extracciones de agua subterránea. ITGE*, pp. 175-195.

D'ELIA, M., PARIS, M. y PÉREZ, M., 2018. BALANCE DE AGUA EN UN ACUÍFERO COMO BASE PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE Y SEGURIDAD HÍDRICA. *Aqua LAC*, vol. 10, no. 1688-2873, pp. 26-38.

DE MIGUEL FERNÁNDEZ, C., 2008. *Hidrogeología Aplicada*. Moa: s.n.

DE MIGUEL FERNÁNDEZ, C., 2012. *Hidrogeología aplicada con aspectos ambientales*. Unica. Moa: s.n. ISBN 978-959-16-139-5-0.

DEL TORO GUERRERO, F.J., HINOJOSA CORONA, A. y KRETZSCHMAR, T., 2014. Estimación del balance hídrico en una cuenca semiárida, El Mogor, Baja California, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. V, pp. 69-81.

DEL TORO SÁNCHEZ, R., 2009. *EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA SAGUA LA GRANDE*. S.I.: UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS.

DÍAZ DUQUE, J.A., 2018. El agua en Cuba: Un desafío a la sostenibilidad. *Revista Bimestre Cubana 1831*, vol. 48, no. 1012-9561 , pp. 92-109.

FERNÁNDEZ-MIGUEL, C. y VÁZQUEZ-TASET, Y., 2006. Origen de los nitratos y nitritos, su influencia en la potabilidad de aguas subterráneas. *Minería y Geología*, vol. 22, no. 3, pp. 1 -9.

FIBRAS Y NORMAS DE COLOMBIA S.A.S., 2018. Definiciones FYN ingeniería en agua. .

HERNÁNDEZ VALDÉS, A.O., 2011. Recursos hidráulicos subterráneos: observaciones sobre su evaluación y gestión en Cuba. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. XXXII, pp. 3-12.

HOLGUÍN, P. de, 2019. Geografía de Holguín. .

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS (INRH), 2009. Mapa Hidrogeológico. . Holguín:

NC 827: 2017. Agua potable — requisitos sanitarios. Oficina Nacional de Normalización, pp. 12

NÚÑEZ REVÉ, S.B., 2019. *Evaluación de las reservas de agua subterránea en el área la Ceiba-Certeneja de Güirabo, Holguín*. S.I.: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

PEÑUELA ARÉVALO, L.A. y CARRILLO RIVERA, J.J., 2013. Definición de zonas de recarga y descarga de agua subterránea. *Investigaciones geográficas*, no. 0188-4611 .

RODOLFO, I., IB, H. y MANRIQUE, O.B., 2011. Propuesta de una metodología para la estimación de áreas de recarga hídrica en Guatemala Proposal of a methodology for the esteem of areas of hydric. , vol. 20, no. 4, pp. 0-4.

RODRÍGUEZ ELÍAS, F., 2012. Curso Básico de Hidrogeología. ,

SÁNCHEZ, J., 2018. Qué son las reservas de agua natural y artificial - te lo explicamos. [en línea]. [Consulta: 23 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-reservas-de-agua-natural-y-artificial-1335.html>.

SILOT OCHOA, R., 2017. *Caracterización de las aguas subterráneas de la cuenca hidrogeológica CF1 Hanábana para el riego*. S.I.: Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

SUÁREZ PECOSO, O., 2015. *Determinación de los recursos hídricos disponibles en la cuenca subterránea VC-I*. S.I.: Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

TERUEL GARCÍA, O., 2005. *Investigación hidrogeológica para abasto de agua a la Fábrica de Cerveza Bucaneros S.A.* S.I.: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

VALCARCE, R.M. y RODRÍGUEZ, W., 2011. Cartografía de la vulnerabilidad de acuíferos cubanos empleando la metodología Ekv modificada. *CUARTA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS 2011.*, no. 978-959-7117-30-8 1 , pp. 1 .

WEATHER SPARK, 2018. Clima promedio en Holguín, Cuba, durante todo el año.