



**Facultad Geología y Minas  
Departamento de Geología**

# **Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero Geólogo**

**Título: Evaluación de la calidad del agua de la cuenca  
subterránea San Juan**

**Autor: Liliana Alba Ortíz**

**Tutores: Ms.C. Yamila Torres González.**

**Dr. C Moraíma Fernández Rodríguez**

Moa, 2022 "Año 64 de la Revolución"

# PENSAMIENTO

**“La única verdad de esta vida, y la única fuerza, es el amor. en él está la salvación, y en él está el mando. el patriotismo no es más que amor, la amistad no es más que amor”.**

## JOSE MARTI



# DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi familia en especial a mis padres y hermano, a todas las personas que fueron de gran apoyo cuando más lo necesitaba y a los que en verdad desearon lo mejor siempre para mi futuro, en personal a aquellos que desde que comencé a estudiar siempre desearon que me formara como buen profesional y llegara muy lejos, por eso doy gracias a toda mi familia, amigos y profesores por todos los consejos y por guiarme por un buen camino. Gracias.

# AGRADECIMIENTOS

## **Agradezco sinceramente:**

**A** DIOS en primer lugar porque siempre está conmigo siendo mi guía y mayor fuerza.

**A** mis tutoras Yamila Torrez González y a Moraima Fernández Rodríguez por ser la fuente de donde surgió este trabajo y por la confianza que han depositado en mí para la realización del mismo.

**A** mis padres queridos que me han dado la vida, que siempre se sacrificaron por darlo todo por mí para que me formara como una profesional.

**A** mi hermano, parte de mi alma que como un padre más nunca dudó de mi capacidad.

**A** mi novio que durante estos cinco años fue mi mayor apoyo y mis suegros, a toda mi familia y amigos.

**A** mis compañeros de grupo y de cuarto que me han brindado su apoyo en todos estos años. En especial mi Yane.

**A** mis tíos María y Javier que han sido como unos padres para mí y me han apoyado y dado consejos.

**A** los compañeros de la empresa Geocuba Oriente Sur que me han enseñado.

**A** mi profesor Rojas Purón que gracias a sus explicaciones y enseñanza hoy soy una profesional.

**A** todas las personas que se han preocupado por la realización de este trabajo.

**A** los compañeros Héctor y Manuel Masó Torrez técnicos en la Estación de Bombeo San Juan por brindarme la información necesaria para realizar mi trabajo.

## **Resumen**

Las aguas de la cuenca subterránea San Juan se ven afectadas por la contaminación (sobre todo de origen orgánico) debido al vertimiento de residuales líquidos en la cuenca superficial. El tratamiento (cloración) no garantiza la calidad requerida para el consumo humano, según lo estipulado por la NC: 827 2017. Agua Potable-Requisitos Sanitarios. En la presente investigación se evaluó la calidad de este recurso a partir del empleo del índice de calidad del agua partiendo de las características físico-químicas y bacteriológicas obtenidas de los resultados de laboratorios de muestreos realizados, identificación de los focos contaminantes en la cuenca superficial, así como caracterización hidrogeológica del acuífero. Finalmente se elaboró un plan de medidas que disminuya la contaminación y restablecer las condiciones según las normas cubanas vigentes.

### **Palabras claves:**

Acuífero, cuenca subterránea, peligrosidad, contaminación.

## **ABSTRACT**

The waters of the San Juan underground basin are affected by contamination (mainly of organic origin) due to the dumping of liquid waste in the surface basin. Treatment (chlorination) does not guarantee the quality required for human consumption, as stipulated by NC: 827 2017. Drinking Water-Sanitary Requirements. In the present investigation, the quality of this resource was evaluated based on the use of the water quality index based on the physical-chemical and bacteriological characteristics obtained from the results of sampling laboratories carried out, identification of polluting sources in the superficial basin, as well as hydrogeological characterization of the aquifer. Finally, a plan of measures was prepared to reduce contamination and restore conditions according to current Cuban standards.

**Key words:**

Aquifer, underground basin, danger, contamination.

## **INDICE**

INTRODUCCIÓN .....	1
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	6
Estado del arte de la investigación: .....	6
Contexto internacional:.....	7
Contexto nacional: .....	9
CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y ECONÓMICAS DE LA REGIÓN .....	13
Características físico-geográficas .....	13
Aguas Superficiales.....	14
Aguas subterráneas.....	14
Suelos: .....	15
Clima.....	16
Uso y tenencia de la tierra .....	17
Población.....	17
Servicios y redes técnicas.....	17
CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN .....	19
2.1 Geología de la Región.....	19
2.2 Geología del Área.....	19
2.3 Estratigrafía .....	22
2.4 Magmatismo .....	24
2.5 Tectónica .....	24
2.6 Geología del Yacimiento.....	27
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LA INVESTIGACIÓN .....	29
3.1 Introducción .....	29
3.2 Etapa Preliminar .....	31
3.3 Trabajos de Campo.....	31
3.4 Trabajos de Laboratorio .....	32
3.5 Etapa de gabinete .....	33
3.6 INSTRUCCION PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA .....	34
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS .....	37
4.1 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	37
4.2 Comportamiento de la contaminación de las aguas superficiales de la cuenca San Juan.....	40
4.3 Resultados de los muestreos realizados. ....	44

4.4 Determinación del índice de calidad.....	52
<b>CONCLUSIONES</b> .....	60
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	61
<b>RESUMEN</b> .....	62
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	63

## **INTRODUCCIÓN**

El uso racional de las aguas subterráneas y la gestión sostenible de un acuífero se basa en el conocimiento del sistema hidrogeológico, el cual se logra mediante la combinación de tareas de exploración e investigación. A nivel global, este recurso representa cerca de un 20 % de las aguas dulces (que a su vez constituyen el 3 % del total), el 80 % restante está formado por las aguas superficiales, de estas un 79 % es hielo y el 1 % representa el agua presente en ríos, lagos y arroyos. Los recursos de agua dulce se ven reducidos por la contaminación. Se estima que dos millones de toneladas de desechos son arrojados diariamente en aguas receptoras y que la producción global de aguas residuales es de aproximadamente 1 500 km<sup>3</sup>, lo que se traduce en que la disponibilidad del recurso se agota y su calidad se deteriora.

En lo que a Cuba respecta, en las condiciones climáticas actuales y por la forma de la isla estrecha y alargada, existen limitados recursos renovables de agua, con carencias relativas en determinadas zonas más vulnerables, no obstante, el desarrollo hidráulico del país ha hecho disponible aproximadamente el 57 % de los recursos aprovechables.

Se hace necesario tomar medidas que minimicen el riesgo de las aguas superficiales y subterráneas a la contaminación. Debe tenerse claro que este término es entendido como la probabilidad de que estas alcancen niveles de químicos, bacterias y virus, etc. por encima de los cuales peligró la salud humana. Organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomiendan valores máximos permisibles y en el país existe regulación con respecto a los valores permisibles en agua potable.

Evaluar la calidad del agua que consume la población es de gran importancia para la toma de decisiones y medidas oportunas y así evitar la ocurrencia de enfermedades de transmisión hídrica o la ingestión y bio - acumulación de sustancias dañinas para la salud como es el caso de los metales pesados.

El deterioro de calidad del agua subterránea que implica el hecho de la contaminación puede ser provocado directa o indirectamente por las actividades humanas. por procesos naturales o lo que es más frecuente por la acción combinada de ambos factores.

Las causas fundamentales de contaminación del agua subterránea pueden agruparse convencionalmente en cuatro grupos, en relación con el tipo de actividad humana que las produce:

- Contaminación urbana y doméstica: Producida por desechos sólidos y aguas residuales urbanas
- Contaminación agrícola: Producida por fertilizantes, pesticidas y vertidos de residuos animales
- Contaminación industrial: Generada por sustancias químicas. orgánicas e inorgánicas producidas en este sector, formando agentes contaminantes en dependencia del tipo de industria, tiene un carácter típicamente local o puntual.
- Contaminación inducida por bombeo: Intrusión salina por efectos del bombeo.

En el municipio Santiago de Cuba la cuenca hidrográfica de mayor interés es la del río San Juan, en su porción centro inferior se ubica el acuífero homónimo (figura 1) que sirve de fuente de abasto aproximadamente a 100 000 habitantes de la ciudad cabecera, de ahí que el estudio de esta, incluyendo todo lo relacionado con la carga contaminante que recibe es de vital importancia en aras de preservarla para las generaciones futuras.

El agua que se distribuye a la población se extrae mediante bombeo de cuatro baterías de pozos. Su uso como fuente de abasto data desde el comienzo del siglo pasado, incrementándose con el crecimiento progresivo de la ciudad, estas son:

- **Batería Huerto Escolar:** Es la más extensa y dispersa de la cuenca, extendiéndose desde la carretera de Siboney hasta la Autopista, aquí hay un total de 30 pozos de ellos 14 nuevos y 16 viejos.

La batería tiene un gasto recomendado de 74 l/s, con un gasto promedio por pozos de 12,0 l/s

- **Batería San Juan:** Está constituida por un total de 28 pozos divididos en

dos líneas A y B, teniendo como gasto de explotación recomendado 120 l/s a extraer en 12 pozos dejando el resto de reservas para combinaciones que no permitan la interferencia de los radios de influencia. En la actualidad se mezcla el agua de San Juan con la del sistema Quintero, ya que la demanda es superior a la disponibilidad del recurso. En la estación de San Juan solo hay 7 pozos en función. La batería funciona como un gran pozo.

- **Batería Patio Campo de Tiro:** Está compuesta por un total de 19 pozos de ellos 12 nuevos y 7 viejos, están dispersos y distribuidos en dos áreas Jardín Botánico y Patio Campo de Tiro ; El gasto de explotación recomendado es de 86,0 l/s a razón de pozos en uso de 7 a 10, en dependencia del gasto de los mismos que oscila entre los 8 y 12 l/s.
- **Batería Santa Rosa:** Integrada por 21 pozos, entre nuevos y viejos. Desde aquí se bombea al tanque de Campo de Tiro, donde se somete el agua a cloración y además se mezcla con el agua de San Juan antes de ser distribuida a la población. En estos momentos se está bombeando solamente de un pozo y existe otro de observación 24 horas. La batería tiene autorizado un gasto de extracción de 100 L/seg. Debido a la concentración de los pozos se consideró como un Gran Pozo.

Estas aguas se están viendo afectadas por la contaminación, producida por el vertimiento (indiscriminado y sin tratamiento alguno) a la cuenca superficial de residuales domésticos e industriales, dentro de los que se incluyen todos los repartos de la zona **E** y **NE** de la ciudad, ubicados en la cuenca tributaria, e industrias como la Pasteurizadora Santiago, Fábrica de conservas entre otras.

En este sentido, aunque las aguas del río están mucho más contaminadas que las del acuífero, estas últimas, no cumplen con algunos parámetros la NC: 827 2017. Agua Potable-Requisitos Sanitarios., por lo que tienen que ser tratadas antes de su distribución a la población. El tratamiento no garantiza una calidad óptima, ya que solo consiste en la cloración para eliminar los microorganismos patógenos.

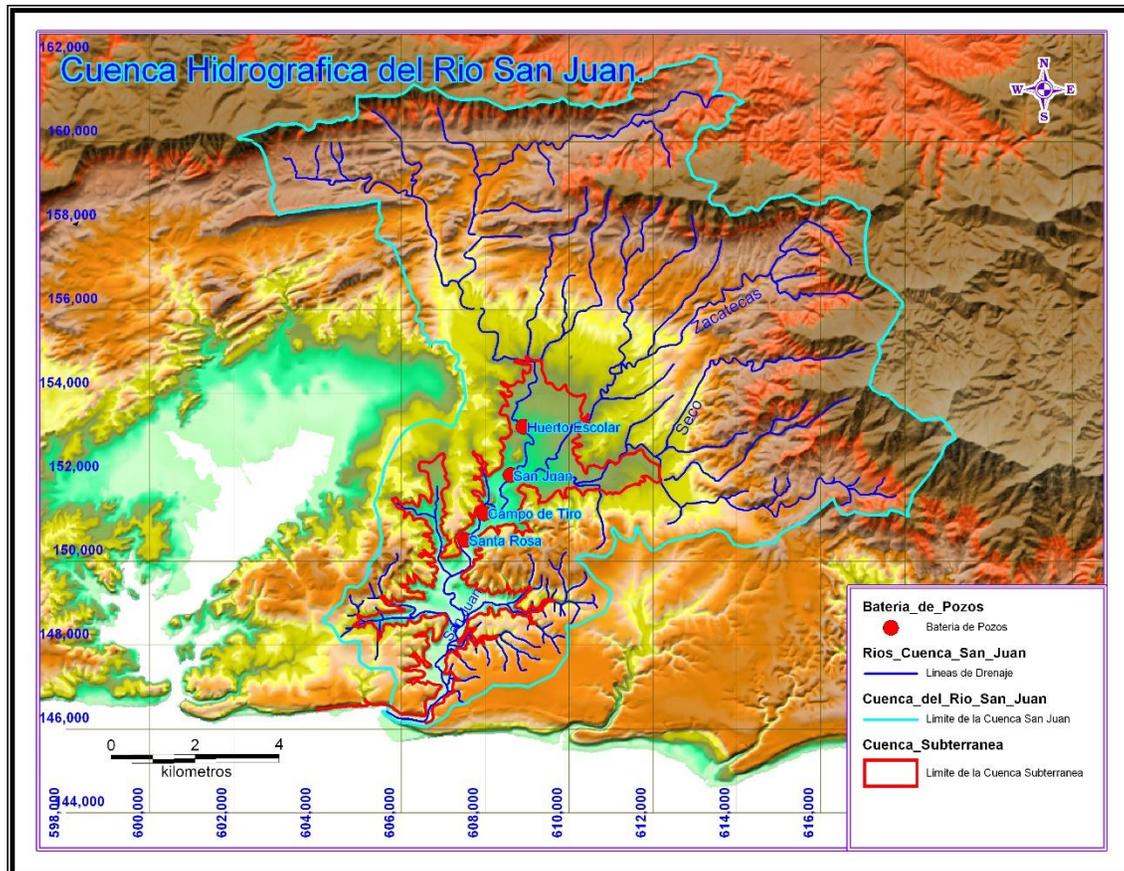


Figura 1: Ubicación de las baterías de pozos en la cuenca San Juan

### Problema:

En las aguas de consumo humano de la ciudad Santiago de Cuba existe contaminación físico-química y bacteriológica, motivada por la presencia de fuentes contaminantes de carácter antropogénico y natural lo que implica un riesgo para la salud del hombre.

### Objeto de estudio:

Las aguas subterráneas de la cuenca San Juan en la ciudad de Santiago de Cuba.

### Campo de acción:

La calidad de las aguas subterráneas de la cuenca San Juan en la ciudad de Santiago de Cuba.

**Objetivo general:** Evaluar la calidad del agua de la cuenca subterránea San Juan, a partir de las características físico-químicas y bacteriológicas de las aguas de consumo de la ciudad de Santiago de Cuba para elaborar un plan de acciones que disminuya el fenómeno de la contaminación.

**Objetivos específicos:**

- Caracterizar las condiciones hidrogeológicas de la cuenca subterránea San Juan.
- Identificar los focos contaminantes de las aguas de consumo humano.
- Determinar la composición físico-química y bacteriológica mediante el estudio de diferentes parámetros analíticos
- Proponer un plan de acciones para minimizar la contaminación

**Hipótesis:**

Si se conoce el índice de calidad del agua de la cuenca subterránea San Juan, y la carga contaminante es posible diseñar un plan de medidas que disminuya la contaminación y se restablezcan las condiciones según las normas cubanas vigentes.

## **MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

### **Estado del arte de la investigación:**

La utilización de las aguas subterráneas data de tiempos muy antiguos, ya en el Antiguo Testamento se plasmaron numerosas referencias sobre el agua subterránea, manantiales y pozos. Tolman describió los grandes túneles para captación de agua subterránea en Persia y Egipto que datan de 800 años antes de nuestra era.

El incremento de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas está estrechamente vinculado a la Revolución Industrial (segunda mitad del siglo XVIII) y al crecimiento de la población a nivel mundial, con un aumento significativo a partir de los años 50 del siglo pasado hasta la actualidad. El peligro de contaminación de aguas subterráneas, posee el mismo significado que el término riesgo utilizado por Foster et al (1987). El cambio de terminología realizado en publicaciones más recientes, se debió a la necesidad de adaptar el concepto de riesgo con lo que actualmente se comprende con el mismo término en otras disciplinas, en donde el riesgo es el resultado del peligro adaptado a la escala del impacto a la salud humana, animal, o a los ecosistemas Foster et al (2002). De esta manera el término peligro aplicado a la contaminación de aguas subterráneas, no considera los impactos potenciales a la salud humana o a los ecosistemas acuáticos que dependen del acuífero, y puede definirse como la probabilidad que un acuífero experimente impactos negativos a partir de una actividad antrópica, hasta un nivel en que su agua subterránea se torne inaceptable para el consumo humano, de acuerdo a los valores guía establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la calidad del agua potable Foster et al (2002).

En Cuba e internacionalmente se han propuesto diferentes modelos para la determinación de la peligrosidad a la contaminación de acuíferos. Estos modelos son matemáticos y hacen uso, por lo general de los sistemas de información geográfica (SIG) para generar los mapas de peligrosidad y de esta forma, a partir de la amenaza, estimar el riesgo ante la contaminación. Resultando que la

representación de toda investigación sobre los recursos naturales es en forma cartográfica. La mayor debilidad de estos modelos es que no tienen en cuenta la carga contaminante, así como evaluación de la calidad del agua, a partir de muestreos que se realicen y que además sean estadísticamente confiables.

**Contexto internacional:**

Dentro de la bibliografía analizada, donde se aborda el tema de la contaminación de las aguas subterráneas se destacan algunas que resultan de interés para esta investigación.

Antinao, J. L. et al (2000), desarrollaron un estudio geo ambiental del área de Puerto Montt-Frutillar en la décima Región de Los Lagos. En este estudio se construyeron mapas temáticos con diversa información geológica, entre ellos, un mapa de vulnerabilidad y riesgo de contaminación de aguas subterráneas, para que dicha información fuera utilizada en las propuestas de ordenamiento territorial.

Arce, S. (2001), evaluó el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en el área de la Región Metropolitana de Santiago. Para realizar este trabajo determinó la vulnerabilidad del acuífero mediante el método GOD, y localizó las actividades que potencialmente pueden contaminar las aguas subterráneas. Para la determinación de las áreas de riesgo, se consideró en este estudio las zonas de recarga de los pozos utilizados para la extracción de agua potable.

Toro, P. (2003), desarrolla el trabajo denominado Evaluación del riesgo de contaminación de la parte norte del acuífero de Santiago. En este trabajo se realiza una caracterización de la geología e hidrogeología de la zona ubicada al norte del río Mapocho entre los cerros de Renca y el cordón del San Cristóbal. Además, en este trabajo, se realiza una evaluación del riesgo de contaminación del acuífero en donde la vulnerabilidad se determinó a través del método GOD.

Muñoz, R. (2004), determina el peligro de contaminación de acuíferos y los perímetros de protección para pozos en el valle del río Cachapoal. Para esto utilizó los criterios establecidos en el método POSH (Pollutant Origin, Surchage Hydraulically) para la determinación de los niveles de peligro, y realiza un análisis

de las diferentes propuestas para el establecimiento de los perímetros de protección de pozos, recomendando la más apropiada para el área de estudio.

Figuroa García. (2010) Para el caso de la provincia de Talagante Santiago-Chile abril, ha utilizado el índice de generación de carga contaminante del método POSH (Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically). Este método, establece la carga contaminante de una actividad en base a dos Hipótesis, las cuales son las siguientes:

-Asocia la posibilidad de la presencia de una sustancia contaminante del agua subterránea con un tipo de actividad antrópica.

-Estima la sobrecarga hidráulica probable sobre la base del uso del agua de la actividad.

De esta manera, este método establece tres niveles de generación de carga contaminante para cada actividad los cuales son: reducido, moderado y elevado, estableciendo los niveles de generación de carga contaminante para fuentes difusas y fuentes contaminantes puntuales.

Massone Héctor, González Mariana y colectivos de autores, Argentina abril de 2021 evaluaron el peligro de contaminación del agua subterránea de la cuenca del río Quesquén Grande asociado al uso de plaguicidas, considerando sus propiedades, las del suelo donde son aplicados y las del acuífero al cual potencialmente pueden lixiviar. El peligro de contaminación se obtuvo por la combinación de la vulnerabilidad del acuífero (índice DRASTIC) y la carga contaminante potencial (índice AFT). Cinco plaguicidas fueron clasificados con una categoría superior a “poco probable lixiviación”, con las mayores cargas contaminantes en el sector alto. Se obtuvieron dos mapas de peligro, con las zonas de menor peligro en la zona NE, debido al nivel freático más profundo y mayor porcentaje de materia orgánica.

GÓMEZ ISIDRO SULLY y colectivo de autores (2011) de la Universidad Industrial de Santander, Colombia, realizaron el estudio de Vulnerabilidad, amenaza y peligro a la contaminación de las aguas subterráneas en la región de

Bucaramanga. El área está ubicada en los depósitos aluviales y formaciones sedimentarias, sobre las cuales se encuentra localizada la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana Colombia, investigando las condiciones locales presentes tanto en hidrogeología, como en cargas contaminantes, el peligro a la contaminación se encontró entre extremo y bajo, lo cual permite llamar la atención sobre medidas correctivas y preventivas en las zonas identificadas como de alto peligro.

Como se puede observar, la temática relacionada con la zonificación de áreas vulnerables y la determinación de zonas de peligro o riesgo de contaminación para las aguas subterráneas, ha sido de interés en los últimos años, y la información generada ha sido utilizada para diversas finalidades. Sin embargo, en la realización de estos trabajos no se observa una unificación de criterios para establecer los niveles de peligro, y, además, en algunos casos se observan diferencias en los resultados obtenidos tras la aplicación de los métodos para determinar los niveles de vulnerabilidad, incluso en zonas en donde se ha aplicado el mismo método. Esto se explica porque han sido trabajos realizados con distintos criterios y a diferentes escalas de análisis, y en algunos casos por diversas modificaciones que se han realizado en la aplicación de los métodos para la determinación de la vulnerabilidad.

### **Contexto nacional:**

En Cuba, las aguas subterráneas ocupan aproximadamente el 31 % del volumen total del agua que se consume anualmente para satisfacer necesidades de la actividad económica y social. En los últimos años ha sido creciente la preocupación de la sociedad ante la degradación de la calidad de los recursos hídricos subterráneos. Cada vez existe mayor conciencia sobre la necesidad de desarrollar una gestión ambientalmente segura de las aguas subterráneas.

Dentro de la bibliografía consultada se encuentran los siguientes trabajos:

Suárez González Oscar y otros autores. Empresa Militar de Proyectos e Investigación, EMPI, evaluaron el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la cuenca Almendares–Vento. En el trabajo integran el mapa de

vulnerabilidad natural de esta cuenca obtenido por el método RISK, y el mapa de índice de peligrosidad de las fuentes contaminantes elaborado según la metodología desarrollada por el Grupo Acción COST 620, se obtuvo el mapa de riesgo de contaminación de las aguas subterráneas a escala 1: 100 000. Los resultados mostraron que predomina un nivel de riesgo moderado y bajo, aunque se definieron sectores de alto y muy alto riesgo de contaminación.

Valcarce Ortega Rosa María y Jiménez Reyes Rafael, realizaron la evaluación de la vulnerabilidad natural y el riesgo de contaminación de la Cuenca Dolores – Sagua la Chica, ubicada al noreste de la provincia de Villa Clara, Cuba. En el estudio se evalúa la vulnerabilidad del acuífero a partir del análisis de: Profundidad del agua subterránea, Precipitaciones, Medio Acuífero, Tectónica, Topografía del terreno y Conductividad Hidráulica del Suelo. Como resultado final se presenta el Mapa de Vulnerabilidad y el Mapa de Riesgo de Contaminación para esta cuenca a escala 1:100 000.

Fernández, R, Moraima (2019) realizó la evaluación de la calidad de las aguas del río Cabaña para la reducción de los riesgos hídricos, Moa en la provincia de Holguín. En el estudio evaluó la peligrosidad de las aguas superficiales a partir del índice de calidad de agua cuya fórmula es:

$$ICA = \sum_{i=1}^n (li * Wi) / \sum_{i=1}^n Wi$$

ICA: Índice de calidad del agua,  $0 = < I < 100$

li: Función subíndice del perímetro i,  $0 = < I = < 100$

Wi: Peso de importancia del parámetro (Factor de Ponderación) i,  $0 = < Wi = < 5$

A partir del cual se evaluó un mapa de peligrosidad el cual quedo dividido en cinco clases: muy alta, alta, media, baja y muy baja.

La Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Santiago de Cuba (2016), realizó el informe de zona de protección sanitaria de la cuenca San Juan por con el objetivo de delimitar la zona I de protección sanitaria de la fuente de abasto Cuenca San Juan, la cual provee de agua potable a una parte del este de la

ciudad de Santiago de Cuba constituyendo el acueducto No. 2 de la ciudad, definiéndose si es necesario o no el traslado de la misma hacia otro lugar en función de la presencia de focos contaminantes y el cumplimiento de las Norma Cubana sobre protección de Fuentes de Abasto. (93 01 209).

De acuerdo a los valores de los radios de influencia calculado para los pozos de la cuenca, están afectado por elementos negativos y se presentan focos contaminantes dentro de la zona I y II consistentes en centros de recreación, carreteras, industrias, convenios porcinos, poblados, hospitales, etc.

La Empresa Geocuba Oriente (2021) realizó un estudio de calidad de agua para Presa Parada por la Sur, a partir del empleo de índice de calidad de agua. Los parámetros analizados en los puntos fueron: pH, Conductividad Eléctrica, Solidos Disueltos Totales, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Coliformes Totales, además de los metales pesados Cr, Ni, Co, Fe, Zn, Mn, Mg, Al, Si, V, Pb y Cu; se incluyó el análisis de H<sub>2</sub>S a partir de la

$$ICA = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI^2}}}$$

formula

Donde:

ICA: Índice de Calidad de Agua,

n: número de parámetros analizados,

SI: subíndice.

El índice de calidad del agua demostró que para el Punto 1 la calidad del agua es mala con un nivel de contaminación severo y para el Punto 2 la calidad es media y la contaminación moderada.

Torrez, Yamila (2011) Empresa GEOCUBA Oriente Sur realizó un estudio Vulnerabilidad de la Cuenca San Juan ante la Contaminación. Determina la vulnerabilidad de la cuenca subterránea San Juan ante la contaminación,

partiendo de la caracterización hidrológica e hidrogeológica del área, la valoración de las propiedades físicas y químicas de las aguas superficiales y subterráneas e indicadores microbiológicos. Se consideró la vulnerabilidad como una función de la profundidad del nivel freático, superficie libre del acuífero, existencia y distribución de contaminantes (Nitrito ( $\text{NO}_2$ ) y Cloruro ( $\text{Cl}^-$ )). Mediante el empleo de métodos cartográficos se obtuvo el mapa de vulnerabilidad, quedando dividido en dos zonas (clases media y alta), no existiendo áreas de baja vulnerabilidad. Finalmente se elaboró un plan de medidas para minimizar los riesgos.

## CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y ECONÓMICAS DE LA REGIÓN

### Características físico-geográficas

La cuenca hidrográfica del río San Juan (figura 2) se encuentra en la parte sur oriental de la isla de Cuba, ocupa una pequeña porción del flanco meridional de la Sierra Maestra, al E de la bahía de Santiago de Cuba. Posee una superficie de 138.6 km<sup>2</sup>. Las cotas absolutas están aproximadamente entre 80 y 100 m snmm. En el valle las alturas van pasando paulatinamente hasta la cota 10 m snmm.

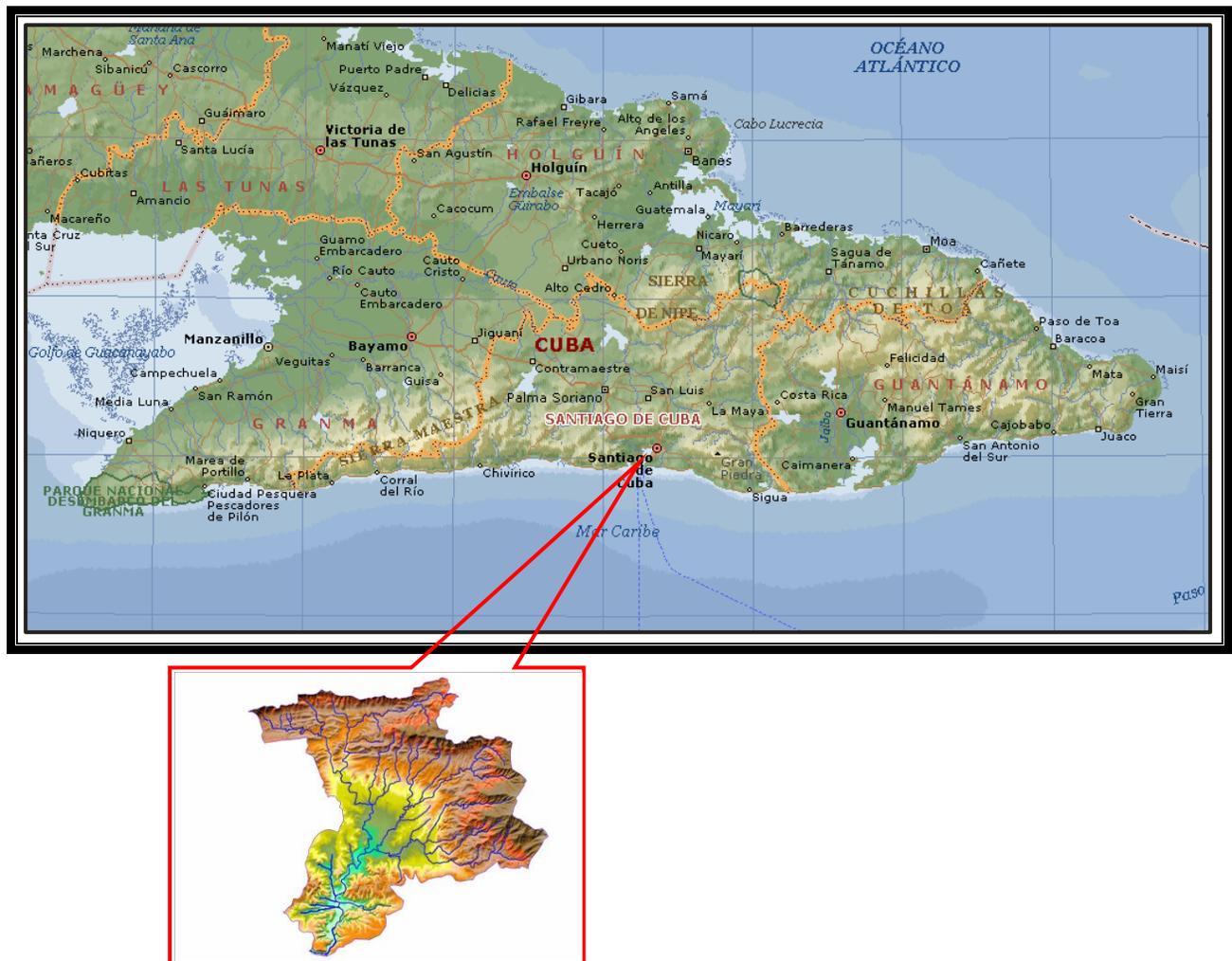


Figura 2. Esquema de ubicación geográfica de la cuenca San Juan.

Dentro de los límites anteriores se vincula no solo el escurrimiento superficial, sino además el subterráneo, encontrándose en los sedimentos cuaternarios del valle del río San Juan (parte media e inferior) el acuífero homónimo constituyendo una de las fuentes de abasto de agua de la ciudad de Santiago de Cuba.

La región se caracteriza por poseer un relieve muy diferenciado. Hacia el N de montañas bajas, constituido por elevaciones jóvenes y alargadas, las cuales forman un arco que bordea las cuencas de pendientes medianamente abruptas y cimas en forma de crestas separadas por pequeños valles. Este sistema montañoso forma parte de la Sierra Maestra.

### **Aguas Superficiales**

El nacimiento del río San Juan se encuentra a 480 m snmm en las proximidades del poblado de San Vicente en las coordenadas Lambert N: 158,700 y E: 613, 150, corriendo con una dirección de noreste a suroeste, finalizando con dirección sur en su desembocadura en el mar, con una longitud total de 21.5 Km.

La estructura ha sido originada por procesos tectónicos y erosivos acumulativos del pre Cuaternario y actual, donde la entrecruzan una red de ríos, arroyos y cañadas de los cuales los mayores son Santa María, Guamá, Río Seco y Río San Juan como corriente principal, siendo su pendiente media de 0.06 %.

La cuenca tiene una forma aproximadamente triangular, con su parte ancha en su porción superior, estrechándose hacia su curso inferior tiene un área de 137 Km<sup>2</sup>.

### **Aguas subterráneas**

Las aguas subterráneas de la cuenca San Juan se encuentran desarrolladas en los sedimentos cuaternarios del valle, siendo las mismas de nivel libre determinándose su comportamiento en los procesos de perforación de los pozos en la cuenca. En general, la zona de Santiago de Cuba hidrogeológicamente es bastante seca y esta es una cuenca que aporta buen caudal de agua a la ciudad desde los inicios del siglo XX (año 1913).

El acuífero se alimenta de las precipitaciones atmosféricas y de la infiltración producto del escurrimiento de los ríos y arroyos, caracterizándose por tener una relación directa con las variaciones del régimen de estas corrientes, y oscilando su nivel estático con profundidades desde 1,50 m hasta los 8 m y 10,0 m, pudiendo llegar a profundidades mayores en período seco.

Dentro de los sedimentos se encuentran arcillas, arcillas arenosas, arenas finas y gruesas, arenas gravosas, lentes de gravas con cantos rodados, pero en general las fracciones finas son las predominantes.

La potencia acuífera media es de 18 m, presentando gran variabilidad en toda el área, localizándose grandes espesores hacia el noreste que se corresponde con las partes altas de la cuenca, hacia la parte central tiende a disminuir alcanzando valores de hasta 10 m, aunque es precisamente en esta zona donde las capas se hacen más acuíferas, finalmente es en las partes bajas donde se encuentran los mayores valores de potencia acuífera, llegando a alcanzar espesores de hasta 33,0 m.

El flujo subterráneo se orienta desde el noroeste al suroeste y del noroeste al sureste, siempre desde las zonas de mayor altura hacia las más bajas.

### **Suelos:**

En toda el área de estudio se identificaron tres tipos de suelos, los que se clasifican según información aportada por un Estudio de Línea Base Ambiental realizado en el área por la Empresa GEOCUBA Oriente Sur:

- Pardos con Carbonato Típicos, (XA 6<sub>4</sub> (p<sup>3</sup> h<sup>3</sup> e<sup>4</sup> l<sup>4</sup> / f w<sub>4</sub>) 24 t<sub>s</sub>), son lavados, poco profundos, medianamente humificados, poco erosionados, carbonatados desde la superficie, de loam arcilloso, moderada pedregosidad.
- Esquelético Natural, (XIII A 6<sub>4</sub> (p<sup>4</sup> h<sup>1</sup> e<sup>2</sup> l<sup>4</sup> / f x<sub>2</sub>)) poco profundos, poco humificados, medianamente erosionados, con pocas concreciones, pedregosos y rocosos, de poca profundidad efectiva, el terreno es ondulado y amesetado.

Aluviales, ((XI (p<sup>4</sup> h<sup>4</sup> e<sup>1</sup> l<sup>4</sup> / F x<sub>3</sub>)12 t<sub>4</sub>)) profundos, muy humificados, poco erosionados, con pocas concreciones, de baja pedregosidad.

## Clima

El clima es tropical húmedo con temperatura promedio de 24 a 26° C. La humedad relativa promedio es de 82 %, el período seco abarca los meses de noviembre-abril y el de lluvia mayo a octubre. En la zona el agua potable se suministra principalmente a través del acueducto y de fuentes naturales, la electricidad se recibe de la red nacional.

La región se caracteriza por presentar un clima tropical marino, donde no actúan las brisas marinas por ser una depresión rodeada de montañas, con temperaturas máximas de 28 a 30° C, siendo los meses más calurosos julio, agosto y septiembre y los más fríos enero, febrero y marzo con mínimas de 20 a 22° C.

En la Tabla 1 aparece el comportamiento de las precipitaciones por mes para diferentes probabilidades de ocurrencia, se puede apreciar que generalmente en el período húmedo los meses de septiembre, octubre y mayo son los más acuosos, mientras que en el período seco los meses de enero y febrero son los de menos acuosidad. En un año muy húmedo precipitan 1174 mm, mientras que en uno muy seco 740 mm.

Tabla 1. Comportamiento de las precipitaciones.

Acuosidad	MESES												Anua l
	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	
P= Med.	190, 2	103, 3	84,5	124, 4	169, 1	189, 0	97,4	31, 7	27, 0	27, 0	56, 4	74, 0	1174
P=75%	133, 8	74,2	71,3	139, 6	179, 1	178, 1	74,2	11, 6	11, 6	9,6	32, 7	47, 2	963
P= 95%	70,3	53,3	42,2	151, 0	199, 0	159, 1	40,0	3,0	1,5	0,7	8,1	11, 8	740

El valor de la lluvia media hiperanual se obtuvo por el método isoyético y la distribución interanual de la lluvia media hiperanual se realizó partiendo de la distribución típica promedio de la estación 1528 (El Caney), entre los 10 y 15

km/h; la frecuencia de ocurrencia fluctúa entre el 35 y 50 % durante todos los meses del año.

### **Uso y tenencia de la tierra**

Tenencia del suelo: La zona que abarca la cuenca San Juan está conformada por un lado, en la trama urbana por parcelas pertenecientes a los Repartos Santa Bárbara, 30 de noviembre, Rajayoga, Vista Alegre, Pastorita y el poblado del Caney Donde coexisten usuarios estatales y particulares. Por otro lado en la parte rural las parcelas en lo fundamental pertenecen a tenentes privados y a las empresas Forestal Integral Gran Piedra –Baconao, Empresa Pecuaria Caney y empresas Agropecuarias.

Uso del suelo: En el sector estatal está mayormente ocupado por bosques natural, y cultivos varios, mientras que en el sector privado el suelo se dedica principalmente a los cultivos varios, así como la cría de ganado menor.

### **Población**

Los principales centros poblados y repartos en el área o próximo a ella son entre otros:

- Reparto Abel Santa Maria.
- Reparto 30 de Noviembre.
- Reparto Vista Alegre
- Reparto Rajayoga
- Reparto Santa Bárbara.
- Poblado El caney

### **Servicios y redes técnicas**

La comunidad dispone de los servicios que garantiza el Estado Cubano a todos los ciudadanos. La distribución de los mismos es esencialmente por zonas, aunque existen algunos que se brindan de forma general para toda la ciudad. Aquellos que no se brindan en algunos consejos pueden recibirse en otras comunidades aledañas, que por su objeto social o nivel de producción cubren las

necesidades del área de estudio. Dentro de las principales instalaciones de servicios se encuentra: supermercados, bodegas, placitas / Agro mercados, puntos de ventas de gas, hospitales, consultorios, escuelas, entre otros.

El servicio eléctrico se abastece del sistema eléctrico nacional, una parte por distribución de la termoeléctrica RENTE y otra parte por la termoeléctrica de Felton

En el área circulan varias rutas de ómnibus urbanos entre ellas: la 11, 12 y 13 para la zona del consejo popular Caney hacia el Abel Santamaría la 101 y 32, Siboney recibe los servicios de todas las rutas que salen hacia el **E**; todas ellas parten desde el centro de la ciudad en diferentes puntos con una frecuencia irregular, la ruta hacia el Abel Santa María tiene un programa especial por el alto número de personas que labora en la ciudad y se trasladan diariamente. La red vial principal se encuentra en buen estado.

## **CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN**

### **2.1 Geología de la Región**

Geológicamente pertenece a la porción suroriental de la placa norteamericana, más específicamente a la zona de interacción de esta placa y la caribeña; separadas por la falla transformante sinistral Oriente, la misma está compuesta por rocas del Cretácico Superior hasta el Cuaternario, formadas en variados contextos geológicos, observándose dos grandes unidades estructurales y estratigráficas: el basamento deformado, con rocas del Mesozoico y el Paleogéno, las primeras representados por depósitos AVC y AVP, las cuales fueron sometidas a diferentes eventos de deformación, y se encuentran cubiertas por los depósitos de la cobertura post-orogénica, del Oligoceno-Holoceno.

### **2.2 Geología del Área.**

Está presente el Grupo El Cobre ( $P_1$ -  $P_2$ ) representado por su Miembro Caney y la Formación La Cruz representada por su Miembro Tejar y Depósitos Cuaternarios (figura 3).

Miembro Caney ( $P_1$ -  $P_2$ ): es el único que se encuentra localizado dentro del área, está representado por rocas piroclásticas (tobas) de composición básica a media algo trituradas y agrietadas, encontrándose las grietas rellenas de un material areno – arcilloso.

#### Formación La Cruz.

De esta Formación se localizan los miembros Santiago ( $N_2^{1b}$ ) y Tejar ( $N_1^3$ - $N_2^1$ ),, este último dentro del área más productiva de la cuenca el que se encuentra aflorando en el curso medio inferior del río San Juan, encontrándose también en profundidad en toda la parte central de la cuenca. Litológicamente se encuentra representado por margas y sus transiciones a arcillas margosas con abundantes fósiles marinos.

Depósitos Cuaternarios (alQ IV): Son los que mayor distribución presentan a todo lo largo y ancho del río San Juan, yaciendo indistintamente sobre rocas de la Formación El Cobre o rocas de la Formación La Cruz. Están representados por

sedimentos arenosos, arcillosos, gravoso y sus transiciones, los cuáles se encuentran clasificados por su origen como sigue:

- ❖ Aluviales.
- ❖ Deluviales – Proluviales.
- ❖ Litorales.
- ❖ Formación Rio (Al Q4) compuesta por depósitos aluviales con bloques y cantos rodados, gravas, arenas de diferente granulometría, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial y regional.
- ❖ Holoceno (P Q4): compuesto por depósitos palustres, carbonatados, terrígenos y turbosos de pantanos.

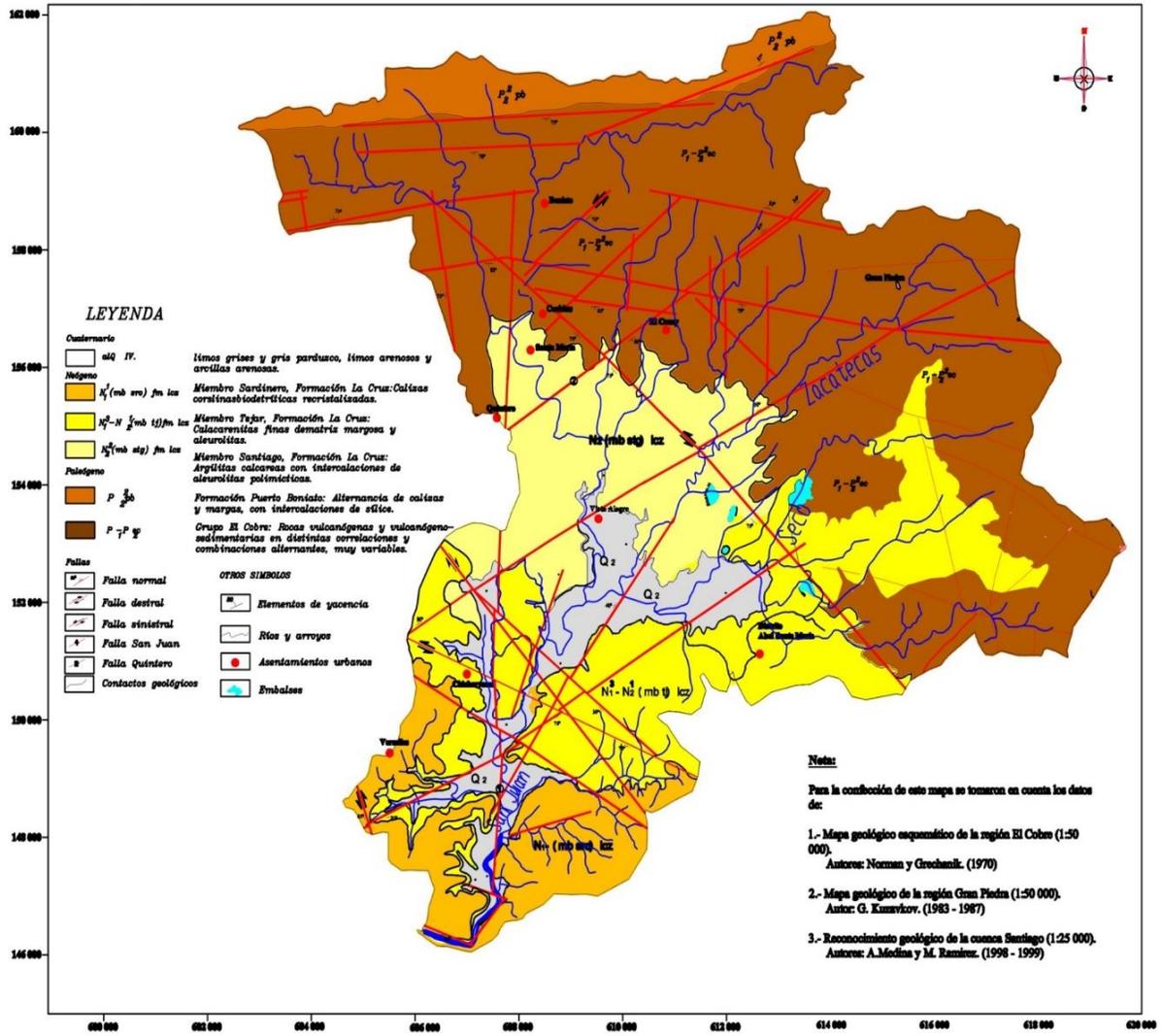


Figura 3. Mapa Geológico de la cuenca San Juan Escala.

## **2.3 Estratigrafía**

### **Paleógeno**

En el área, formando parte del basamento de la cuenca se encuentra la asociación de rocas del Arco Volcánico del Paleógeno, descrito como Grupo El Cobre ( $P_1$ - $P_2^2$ ), constituido por rocas vulcanógenas y vulcanógeno- sedimentarias en distintas correlaciones y combinaciones alternantes, muy variables.

El Grupo El Cobre ( $P_1$ -  $P_2$ ), yace discordantemente sobre las formaciones Manacal y Palma Mocha. Es cubierto concordantemente por la fm. Puerto Boniato y discordantemente por las formaciones Charco Redondo, La Cruz, Río Maya y San Luis. En su parte no diferenciada transicionan lateralmente las formaciones El Caney y Pilón, a la primera lo hace verticalmente también.

### **Neógeno**

La Fm La cruz yace discordantemente sobre el Gr. El Cobre y los cuerpos de granitoides. Es cubierta discordantemente por las formaciones Río Maya y Jaimanitas. En la Fm La Cruz existe alternancia de calizas biodetríticas, calizas limosas y limoso- arcillosas, calcarenitas de matriz margosa, margas, aleurolitas y más subordinadamente arcillas conglomeradas y areniscas polimícticas con cemento calcáreo, formadas principalmente por vulcanitas. Existen horizontes muy fosilíferos (*Chlamis cruciana*, *Gypsina globularis pilaris*, *Kuphus incrassatus*, *Sorites magna*). Algunos horizontes presentan ligera fosfatación. Colores crema en los carbonatos, y gris verdoso y parduzco abigarrado en los sedimentos terrígenos. Yace concordantemente sobre el Mbro. Quintero (Fm. La Cruz). Es cubierta concordantemente por el Mbro. Santiago (Fm. La Cruz). Es correlacionable con las formaciones Baracoa, Manzanillo y Punta Imías de Cuba Oriental. Edad: Mioceno Superior- Plioceno Superior.

## **Cuaternario**

### **Q<sub>1</sub>**

Está representado por bloques y cantos rodados, guijarros, arenas, arcilla aluvial y deluvial, cascajos y arena gruesa arcillosa. Entre los fragmentos predominan los de riolacitas y en menos cantidad de andesita –basaltos, tobas, calizas y a veces cuarzo. Medina, B. Ángel y Ramírez C. Maricela. (1999): Informe del levantamiento geológico: mapa de los trabajos geólogos – tectónicos de la cuenca de Santiago de Cuba con fines de riesgos sísmicos a escala 1:25 000. En estos depósitos se almacena el agua subterránea de la cuenca San Juan.

### **Q<sub>2</sub>**

Sedimentos compuestos por limos grises y gris parduzco, limos arenosos y arcillas arenosas. Son depósitos de tipo aluvial, se encuentran en las partes más cercanas a la desembocadura del río y en los tramos relativamente balanceados del valle.

## 2.4 Magmatismo

Intrusivos.

En este grupo aparecen sólo dos complejos, que no son predominantes en el área de interés, pero se hace su descripción.

Complejo El Norte (P2<sup>N</sup>): Las rocas de este complejo están representadas por la asociación magmática gabro – diorita - plagiogranito, ubicadas en la periferia del macizo de Daiquirí.

- Complejo Daiquirí (P2<sup>D</sup>): Está constituido en mayor parte por las rocas del macizo Daiquirí, predominando las rocas intrusivas de la asociación tonalita - plagiogranito.

## 2.5 Tectónica

La cuenca San Juan forma parte de la cuenca tectónica de Santiago de Cuba que constituye un bloque tectónico independiente; el bloque Santiago limitado al **E** con el bloque Gran Piedra y al **W** con el bloque El Cobre. La tectónica se caracteriza por ser compleja, definiéndose procesos de fallas activas de edad muy reciente que mantienen fenómenos de apertura y formación de grietas, así como la presencia de movimientos verticales y horizontales que se combinan, complejizando en muchos casos la interpretación.

En estudios realizados fueron medidos los elementos de yacencia de las estructuras geológico – tectónicas, confeccionándose los diagramas de roseta del azimut del rumbo de las fallas, grietas y estratificación. Las fallas con dirección **WNW - ESE** se relacionan principalmente con las secuencias vulcanógenas sedimentarias del paleógeno, mientras que en las secuencias sedimentarias de edad neógeno-cuaternario las fallas predominantes son de dirección **ENE – WSW** (figura 4)

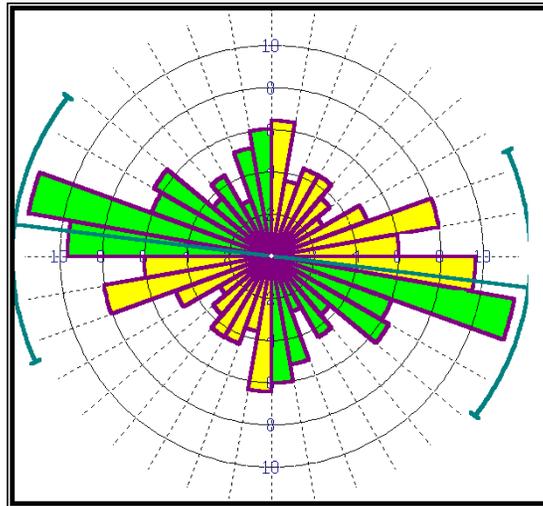


Figura 4. Diagrama de roseta azimut del rumbo de las fallas, cuenca tectónica Santiago de Cuba.

El agrietamiento predominante en las rocas paleógenas es de dirección **WNW - ESE**, (figura 5), en el esquema anterior se observa que este resultado coincide con el de las direcciones principales de fallas, muchas secuencias vulcanógenas fueron plegadas por grandes esfuerzos propiciando que las mismas fueran rotas y destruidas por los planos del agrietamiento primario.

En las rocas neógeno-cuaternarias la dirección principal del agrietamiento es **NNE - SSW** debiéndose a que éste es mayoritariamente tectónico, se observa agrietamiento primario solo de forma subordinada. En el diagrama de roseta aparecen dos colores para diferenciar los ejes de direcciones principales que presentan las estructuras.

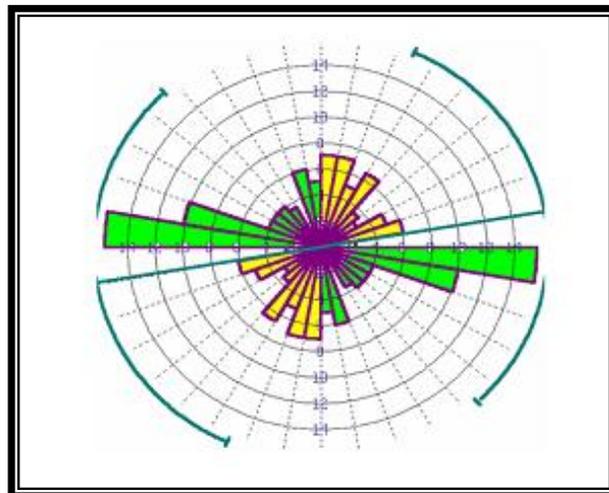


Figura 5. Diagrama de roseta azimut del rumbo del agrietamiento.

Para realizar una caracterización tectónica de la cuenca San Juan se emplearon los resultados obtenidos por Medina *et al* (2009). Este autor presenta un Mapa Tectónico escala 1: 25 000 de la cuenca de Santiago de Cuba obtenido a partir de la interpretación de los resultados de las nivelaciones verticales de alta precisión en el Polígono Geodinámico. La cuenca San Juan es cortada por diferentes fallas, describiéndose a continuación la falla San Juan (figura 3), que puede servir de vía de circulación de las aguas superficiales hacia el manto freático.

Falla de dirección **N-S**, es muy reciente con escarpes verticales visibles en las cercanías de la desembocadura del río San Juan (figura 6), así como en el afloramiento cerca de la Presa Chalons, se estima que es activa, con procesos de levantamiento relacionados con la falla Quintero que se levanta en su lado **NW** esto ha conllevado a que la topografía de la cuenca haya sufrido cambios en su forma original, es decir lo que era una sola cuenca de mar intenso restringido, se subdividió en 2 subcuencas que pudieran llamarse subcuenca 1, al **N** de la Bahía y subcuenca 2 que es la que queda en el valle San Juan, que aunque mantiene su tendencia al levantamiento, se expresa en valores mínimos sin desarrollo apreciable de sedimentos cuaternarios, donde las secuencias cuaternarias se hacen mayores hacia el **S** reflejando tendencias de hundimiento en el lado **W** y más levantado en el lado **E**, con escarpes verticales como se señaló al principio. Esta falla corta las secuencias Neógeno Cuaternarias, así como las vulcanógenas del Grupo El Cobre. Su extensión se aprecia unos 14 km. y su edad se estima sea Eoceno Superior al Reciente.



Figura 6. Afloramiento falla San Juan

La dinámica de los movimientos recientes de la corteza terrestre como parte de los movimientos neotectónicos en la cuenca de Santiago de Cuba, han jugado un papel fundamental en la última etapa de desarrollo geológico, ejerciendo un papel fundamental en las particularidades geológico - geomorfológicas, definiendo las características del relieve, con un control significativo de sus elementos estructurales y tectónicos. Medina Batista Ángel, Ramírez Maricela. Mapa Geólogo Tectónico de la Cuenca de Santiago de Cuba, con Fines de Riesgo.

## **2.6 Geología del Yacimiento**

Un gran porcentaje del área de la cuenca San Juan ha sido estudiado por proyectos de la antigua Industria de Materiales y del Cemento, y en los informes constan datos de muestras tomadas con fines de estudio de las propiedades físico – mecánicas. Durante la Exploración Detallada para Cemento en el yacimiento Aguadores (en el área de la cuenca hidrográfica) en 1988 se tomaron 23 muestras de calizas, observándose que la Resistencia a la Compresión alcanza valores mínimos de  $14 \text{ kg/cm}^2$ , un valor máximo de  $541 \text{ kg/cm}^2$  con un promedio de  $137 \text{ kg/cm}^2$ . De acuerdo con este valor estas calizas se clasifican como rocas semiduras poco resistentes. Las margas tienen un comportamiento muy similar al de las calizas y su clasificación es la misma. Si se considera que estos dos

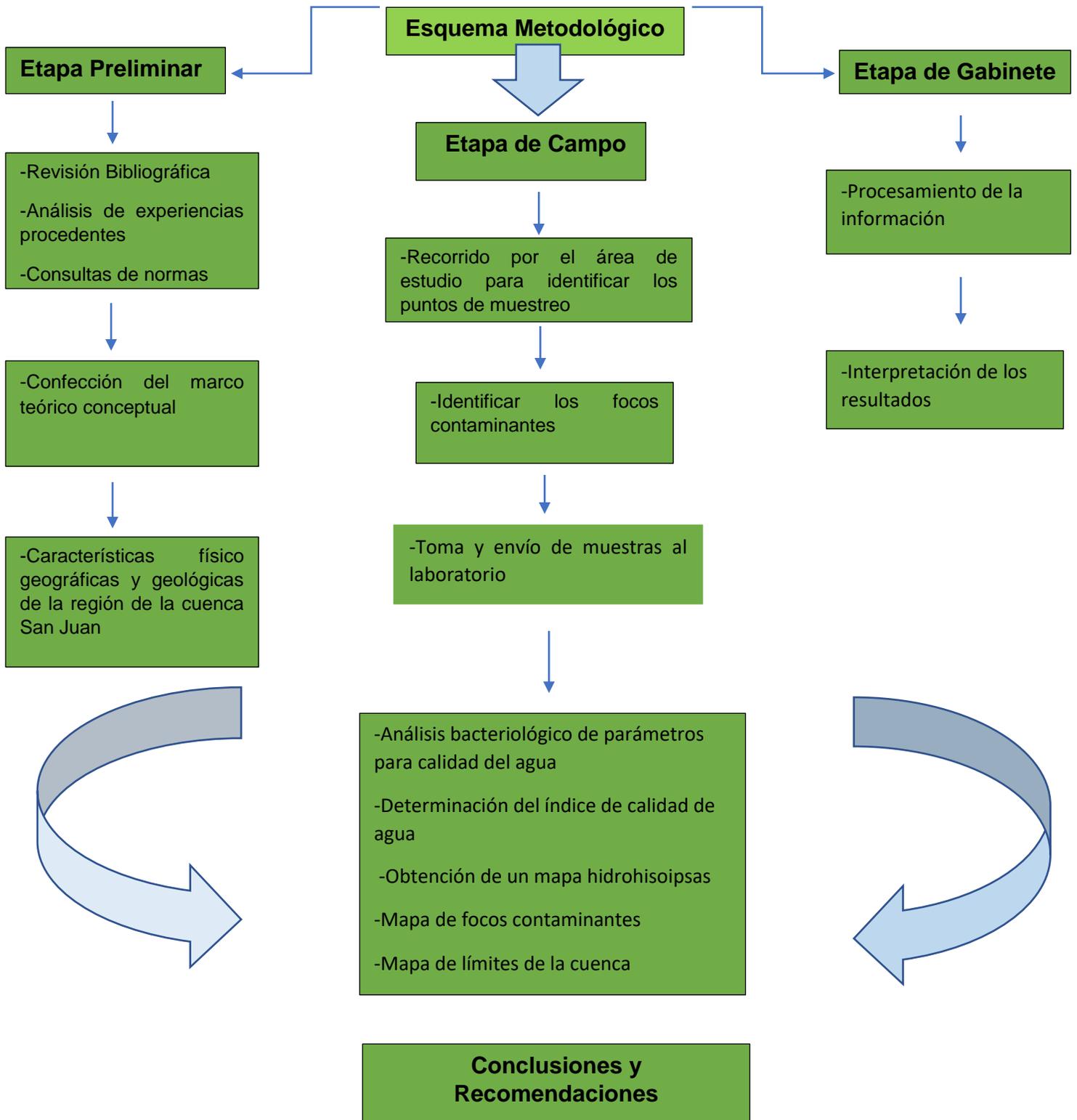
sectores, por la posición y el área que abarcan son representativos de la Formación La Cruz, se puede concluir que las rocas de esta formación son semiduras y poco resistentes, lo cual es muy importante para la actividad constructiva y para la producción de cemento.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 Introducción**

La descripción de la metodología empleada para ejecutar este estudio se hace por etapas y teniendo en cuenta los objetivos específicos planteados en el diseño de la investigación. Fue utilizada la combinación de disímiles métodos, entre los que se pueden mencionar por su alcance los empíricos (de análisis, síntesis y modelación) y por su forma de entendimiento los cuantitativos debido al procesamiento de todos los datos estadísticos obtenidos.

A continuación, se describen las etapas de trabajo.



### **3.2 Etapa Preliminar**

De conjunto con las tutoras se realizó el diseño de la investigación a partir del problema existente. Se realizó el estado del arte de la temática escogida donde se desarrolló la consulta de un volumen considerable de literatura a nivel mundial, nacional y provincial, en la empresa Geocuba Oriente Sur y en otros centros docentes del país basada en búsquedas bibliográficas de artículos científicos, trabajos de diploma, maestrías, doctorados, etc., estos trabajos se consultaron sobre todo por Internet. Se revisó toda la información geológica e informes de recursos hidráulicos referente a la cuenca San Juan en el municipio Santiago de Cuba, se consultaron además las normas nacionales e internacionales referidas a la investigación en particular, entre otros. Se elaboró un plan para la ejecución de todas las tareas que se debían realizar y obtener los parámetros hidrogeológicos de la cuenca subterránea, a partir de documentos de archivos de trabajos experimentales de campo.

### **3.3 Trabajos de Campo**

Para la realización de la investigación se hicieron recorridos por la cuenca hidrográfica del río San Juan. Donde se tomaron muestras de agua las estaciones de bombeo, y pozos aislados que sirven de fuente de abasto de agua a la población, realizando 8 visitas a las estaciones de las cuales se tomaron muestras para llevar al laboratorio para análisis físico químico, bacteriológico y metales pesados, con la intención de conocer la calidad de agua. Los pomos para la toma de muestras fueron solicitados al laboratorio, siendo estos limpios, para el caso de las muestras bacteriológicas se utilizaron pomos esterilizados, sellados, de color ámbar.

Los análisis de laboratorios fueron realizados por la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos. ENAST UEB Santiago de Cuba (físico químico y bacteriológico) y el centro de Investigaciones del níquel en Moa, CEDINIQ.

Durante los trabajos de campo se realizaron recorridos para identificar los focos contaminantes. Los muestreos se realizaron en el horario de las 9:00am a 11:00am Las muestras de agua se tomaron en batería San Juan, batería Santa Rosa (figura 8), en el río San Juan cerca de Santa Rosa, batería Patio Campo de Tiro, Jardín Botánico, pozo de Trabajadores Sociales y río cerca de Trabajadores Sociales. Las aguas del río están sucias de un color oscuro debido a la contaminación, la de los pozos son incoloras. Se pudo apreciar que el agua bombeada en las baterías San Juan y Santa Rosa va a un tanque de almacenamiento en la estación de cloro ubicada en Campo de Tiro, donde se mezcla, es clorada y rebombada para los tanques de distribución. Los pozos que funcionan aislados y que no cuentan con rebombeo también tratan el agua mediante cloración. En todos los casos se hacen pruebas



Figura 8. Baterías de pozos San Juan y Santa Rosa

con Ortotolidina para determinar Cloro Residual, debiendo estar siempre por debajo de 2 ppm.

### **3.4 Trabajos de Laboratorio**

Después de tomadas las muestras se llevaron al laboratorio de Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos. ENAST UEB Santiago de Cuba, donde se hicieron las determinaciones de acuerdo a las posibilidades del laboratorio ya que no todos los parámetros fueron evaluados por la falta de reactivos. Se procesaron

7 muestras que corresponden a la Estación de Agua San Juan, Batería Santa Rosa, en el río San Juan cerca de Santa Rosa, Patio campo de Tiro, Jardín Botánico, Trabajadores Sociales y en el río cerca del pozo trabajadores sociales para la determinación de estos ensayos se usaron varios métodos como el Método de Valoración con EDTA para la dureza total, así como el magnesio, otro método fue el de Valoración con  $\text{AgNO}_3$  para la determinación del cloruro  $\text{Cl}^-$ . En cuanto al nitrito  $\text{NO}_2$  se usó el Colorimétrico, en el nitrato  $\text{NO}_3$  se usó el Método de Electrodo Selectivo. Para la determinación de ensayo del pH fue el Método Potenciométrico y en caso de los SDT Sólidos Disueltos Totales el Método de Cálculo.

En caso de CTT coliformes totales termotolerantes y EC determinación bacteriológica en aguas se usó la Técnica de tubo múltiples de fermentación.

Las muestras para metales pesados que se determinaron de Ni, Co, Cu, Zn, Mn, Mg, Al, Cr, Si, V, Pb fueron llevadas a Moa, Holguín al Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ) usando varios métodos como la Determinación de Aceites y Grasas e Hidrocarburos. Método gravimétrico y el UPL-PT-E Determinación pH en aguas residuales y otras. Además de Método de Espectrometría de Absorción atómica, las mismas se analizaron desde el 27 de octubre del 2022 hasta el 8 de noviembre.

### **3.5 Etapa de gabinete**

Es la última etapa de la investigación, en ella se procesaron los datos obtenidos de los análisis realizados durante la ejecución de los trabajos, para el conocimiento de las características hidrogeológicas de la cuenca, esto permitió determinar el índice de calidad a partir de los resultados de parámetros y obtención de mapas; se desarrolló una interpretación conjunta de todos los resultados, los que aportaron información que fue de gran ayuda para conocer si se cumplían los objetivos trazados.

Los resultados entregados por los laboratorios fueron sometidos a procesamiento estadístico para determinar su confiabilidad, se empleó el programa estragraf.

### 3.6 INSTRUCCION PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

Para realizar el cálculo del índice es necesario seguir los pasos siguientes:

- Crear los rangos o clases para cada parámetro a analizar de acuerdo a la norma que utilice para el servicio a prestar en cuestión.

Según los parámetros físicos – químico y microbiológicos dictados en las normas cubanas, se determinan cinco clases o rangos.

Materiales e Instrumentos a utilizar: Normas, PC.

- **Determinar el subíndice de los parámetros.**

Subíndice para las clases: I= 100; II= 90; III- 75; IV= 45; V= 20.

En caso de que el valor del sub índice este fuera de los rangos anteriormente especificado, se considera como un (NA) y por tanto se toma automáticamente el menor valor del subíndice (V=20).

Materiales e Instrumentos a utilizar: Normas, PC, software.

#### **Cálculo del índice de la calidad del agua:**

$$ICA = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI^2}}}$$

Donde:

**ICA:** Índice de Calidad de Agua,

**n:** número de parámetros analizados,

**SI:** subíndice.

Materiales e Instrumentos a utilizar: Normas, PC, software.

## Análisis de los resultados

El valor del ICA obtenido se introduce en la tabla

Clase	Rango	ICA Calculado	Nivel de Contaminación	Calidad	Color
I	91 - 100		Ninguno	Excelente	
II	76 - 90		Incipiente	Buena	
III	46 - 75		moderado	Media	
IV	21 - 45		Severo	Mala	
V	0 - 20		Crítico	Contaminación Total	

- **Excelente:**

- ✓ Cuando el 35 % de los parámetros que se analicen están en el rango de la clase II y el 65% en la clase I.
- ✓ Cuando el 5 % de los parámetros que se analicen están en el rango de la clase III y el 95% en la clase I.
- ✓ Cuando el 100 % de los parámetros que se analicen están en el rango de la clase I.

- **Buena:**

- ✓ Cuando el 20 % de los parámetros que se analicen están en los rangos de clases II y/o en el III y el 80% en la clase I.
- ✓ Cuando el 100 % de los parámetros que se analicen están en el rango de la clase II.

- **Media**

- ✓ Cuando el 20 % de los parámetros que se analicen están en los rangos de clases II y/o en el III y el 80% en la clase I.
- ✓ Cuando el 100 % de los parámetros que se analicen están en el rango de la clase III.

- **Mala**
  - ✓ Cuando el 5% de los parámetros que se analicen están en los rangos de clases IV y el 95% en la clase I.
  - ✓ Cuando el 100 % de los parámetros que se analicen están en el rango de la clase VI.
- **Contaminación Total:**
  - ✓ Cuando el 5% de los parámetros que se analicen están en los rangos de clases V y el 95% en la clase I.
  - ✓ Cuando el 100 % de los parámetros que se analicen están en el rango de la clase V.

Cuando se introduce el valor ICA calculado en la tabla es para determinar la calidad del agua en estudio según la calificación de la misma.

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS**

### **4.1 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

Las aguas subterráneas de la cuenca San Juan se encuentran desarrolladas en los sedimentos cuaternarios del valle, siendo las mismas de nivel libre determinándose su comportamiento en los procesos de perforación de los pozos en la cuenca. Estos sedimentos cuaternarios se alimentan de las precipitaciones atmosféricas y de la infiltración producto del escurrimiento de los ríos y arroyos, caracterizándose por tener una relación directa con las variaciones del régimen de estas corrientes, y oscilando su nivel estático con profundidades desde 1,50 m hasta los 8 y 10,0 m.

En los mapas de hidroisopsas realizado para cada periodo (seco y húmedo) se observa como las líneas equipotenciales indican que durante la seca las líneas de flujo se orientan hacia la zona de los cauces superficiales y preferentemente hacia la zona de mayor explotación (estaciones de bombeo de San Juan y Santa Rosa). En general la zona de Santiago de Cuba hidrogeológicamente es bastante seca y esta es una cuenca que aporta buen caudal de agua a la ciudad desde los inicios del siglo XX (año 1913).

El flujo subterráneo se orienta desde el noroeste al suroeste (figura 8) y del noroeste al sureste, siempre desde las zonas de mayor altura hacia las más bajas. La profundidad de yacencia no es muy grande oscilando entre 1,0 y 10,0 metros, variando en dependencia de la composición litológica, del relieve y de la influencia que ejerce extracción de los pozos en explotación y el periodo hidrológico.

Tabla No. 3. Parámetros Hidrogeológicos de las Baterías de Pozos.

Batería de pozos	Q expl. (l/s)	H med. (m)	Kf. (m/día)	I(grad)	$\mu$ (%)	Radio infl. (m)
San Juan	120	14	47,3	0,03	0,012	352,3
Campo de Tiro	86	11	42,5	0,008	0,012	296,0
Santa Rosa	100	10	46,4	0,03	0,012	294,9
Huerto Escolar	74	14	39,6	0,02	0,011	323.2

Los radios de influencia en los diferentes sectores hidrogeológicos o baterías de la cuenca, se determinaron por medio de la formula siguiente:

$$R_0 = 1.5 \sqrt{KD} \cdot H_0 T / \mu$$

Donde t es el tiempo que se considera tarda el radio de influencia en estabilizarse.

Tr es el tiempo que una partícula de agua tarda en atravesar el radio de influencia y llegar al pozo, y se calcula como:

$Tr = R_0 / V_{ri}$ , donde  $V_{ri}$  es la velocidad real del agua subterránea en la zona de influencia del pozo.

Como se aprecia los radios de influencia calculados son bastante grandes, si se tiene en cuenta la existencia en zonas aledañas de viviendas, letrinas, el río contaminado además de otros focos contaminantes.

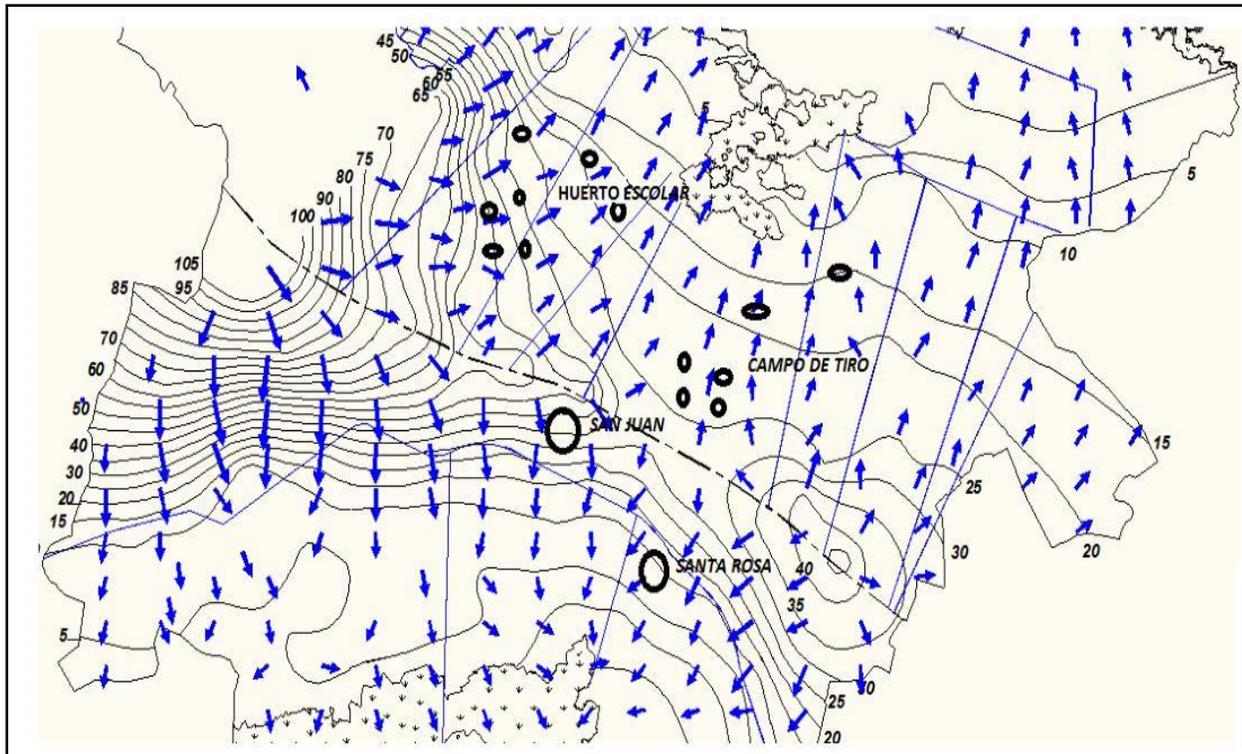


Figura 8. Mapa esquemático de hidrohisopias de la cuenca período húmedo 2022.

La cuenca está muy vinculada a las características litológicas y tectónicas del territorio. Por un lado, se localizan rocas colectoras con un determinado desarrollo espacial y potencia acuífera variable, por otro lado, está la influencia de la falla San Juan que ejerce un control estructural y sirven de vía de circulación de las aguas superficiales hacia el manto freático y de las aguas subterráneas propiamente, definiendo su movimiento. Se evidencia además el control tectónico de la red de drenaje, donde algunos sistemas de primer y segundo orden son ortogonales con relación a los de orden superior.

El área está afectada por la falla San Juan, se manifiesta con gran cantidad de agua subterránea acumulada por el aumento de la permeabilidad de las rocas condicionado por el agrietamiento asociado a la estructura; la profundidad del horizonte acuífero es baja, llegando a ser prácticamente superficial hacia la parte media e inferior de la cuenca subterránea condicionando la existencia de grandes zonas anegadizas de forma lineal a través de esta estructura y con gran probabilidad de ocurrencia de asentamientos y colapsos.

Las aguas subterráneas se encuentran en constante movimiento y a su vez renuevan sus recursos a expensas de los aportes suministrados por las precipitaciones atmosféricas y las aguas superficiales, siendo estas las dos fuentes fundamentales que contribuyen a su alimentación.

#### **4.2 Comportamiento de la contaminación de las aguas superficiales de la cuenca San Juan.**

En la cuenca existen un gran número de focos contaminantes (figura 9), que tributan de forma directa o indirecta hacia el río San Juan y afectan además la calidad de las aguas subterráneas. Vierten sus residuales más de 45 focos puntuales y dispersos, no todos controlados por los organismos rectores del uso y manejo de las aguas (tabla 2). Si se observa el mapa, los límites de la ciudad de Santiago de Cuba y de la cuenca hidrográfica poseen áreas comunes, por lo que la evacuación de todo el residual que se genera en esa área es hacia el río San Juan, independientemente de que estén identificados los focos o no.

La Unidad de Medio Ambiente de la Delegación Provincial del CITMA (UMA) y la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos tienen identificados para su control algunos focos, los listados se muestran en la tabla 2. Tributan de forma directa o indirecta a la cuenca del río San Juan.

Las categorías de la tabla 2 están determinadas por la incidencia del foco sobre los recursos hídricos y el estado de solución de acuerdo al tratamiento de los residuales. A continuación, se describen las mismas:

Categoría II: Foco sin solución o con solución insuficiente que afecta gravemente de manera comprobada, ocasionando el deterioro de la calidad del agua de un acuífero, embalse o corriente superficial, de manera que imposibilita el uso del agua o enrarece el tratamiento que debe recibir esta.

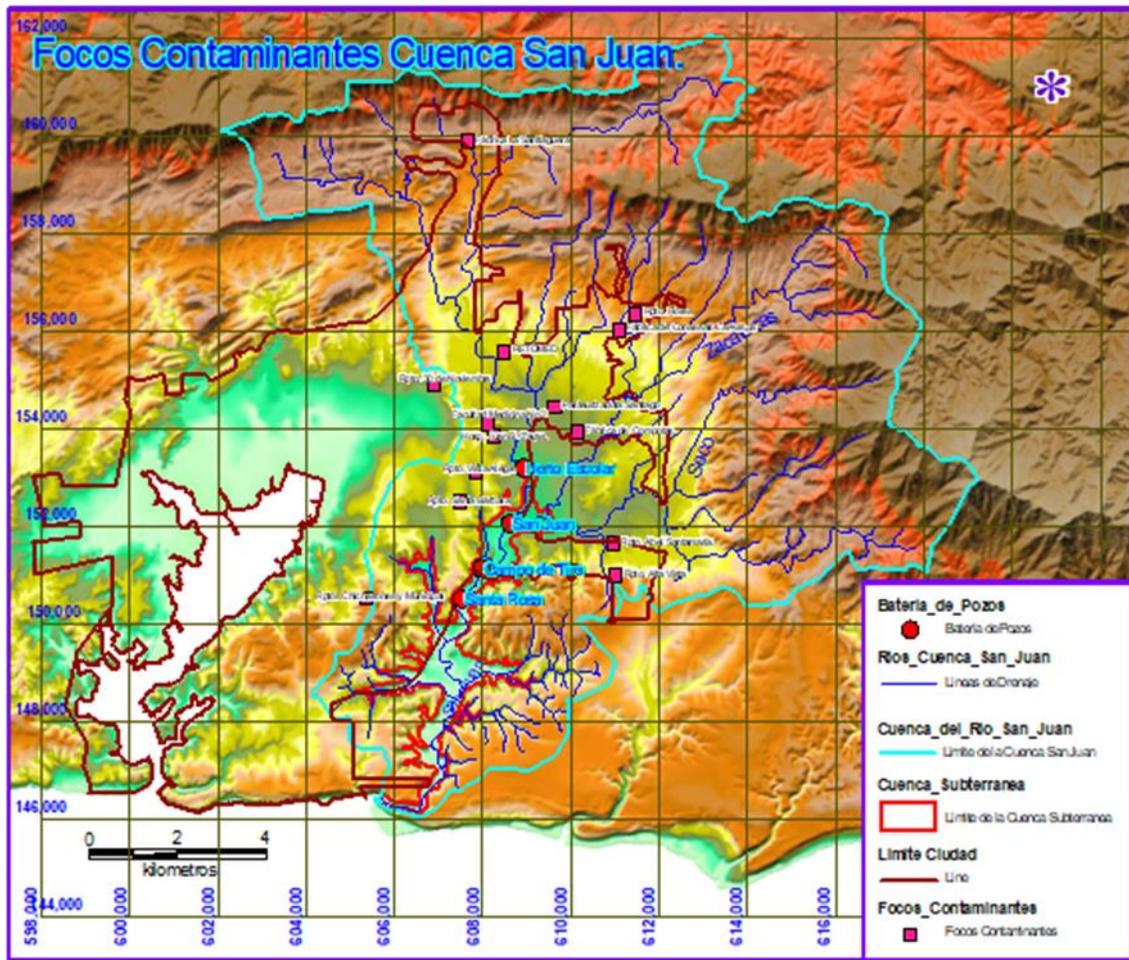


Figura 9. Mapa de ubicación de los puntos de muestreos de la REDCAL.

Tabla3. Inventario de los principales focos contaminantes de la cuenca

N <sup>o</sup>	Coordenadas		Nombre del Foco	Organismo	Categoría	Tipo de Residual	Sistema de Tratamiento
	X	Y					
1	151 645	610 950	Rpto. Abel Santamaría.	Poder Popular	III	Mixto	No
2	151 000	611 000	Rpto. Alta Vista	Poder Popular	III	Doméstico	No
3	150 500	607 300	Rptos Chicharrones y Municipal	Poder Popular	III	Doméstico	No
4	156 350	611 450	Rpto. Flores	Poder Popular	III	Doméstico	Si
5	155 080	610 190	Facultad Medicina N <sup>o</sup> 2	MINSAP/MES	II	Industrial	No
6	153 850	608 250	Hosp. Juan B. Zayas.	MINSAP	III	Industrial	No
7	159 880	607 650	Fábrica La Santiaguera	MINAL	III	Industrial	No
8	154 900	606 900	Rpto. 30 de Noviembre	Poder Popular	III	Mixto	No
9	154 450	609 618	Pasteurizadota Santiago	MINAL	III	Industrial	No
10	152 420	607 680	Rpto. Vista Alegre	Poder Popular	III	Mixto	No
11	152 500	607 500	Rpto. Santa Bárbara	Poder Popular	III	Mixto	No

De forma general en ninguno se da tratamiento a los residuales y el que posee sistemas de tratamiento, presenta deficiencias en su funcionamiento e impiden se genere un afluyente que cumpla con los parámetros establecidos por la legislación cubana NC: 27: 1999. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. NC:25: 1999 Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero.

Lo anterior ocasiona descargas de residuales (domésticos e industriales), sin tratamiento alguno, procedentes de los repartos, barrios marginales, industrias y talleres ubicados en la periferia de la cuenca.

Otra de las causas que afecta las condiciones higiénico sanitarias, estéticas, ambientales y utilización para el beneficio social de esta cuenca, es el gran descontrol que existe con los residuales sólidos de origen doméstico, industrial y agropecuario, los que sin ningún orden, tratamiento y clasificación, son depositados en cualquier lugar de las márgenes del río desde su nacimiento hasta la desembocadura, en arroyos, cañadas y caminos, convirtiéndose algunos de estos lugares en basureros de grandes magnitudes.

**Resultado de los muestreos realizados:**

A las muestras enviadas a los laboratorios se le hicieron determinaciones de acuerdo a lo establecido en la NC 827: 2017 Agua Potable – Requisitos Sanitarios, así como de acuerdo a las posibilidades de reactivos y técnicas de ensayos. Se realizó control con los sólidos disueltos y el Magnesio, ambos parámetros se realizaron en los dos laboratorios, siendo sus resultados similares.

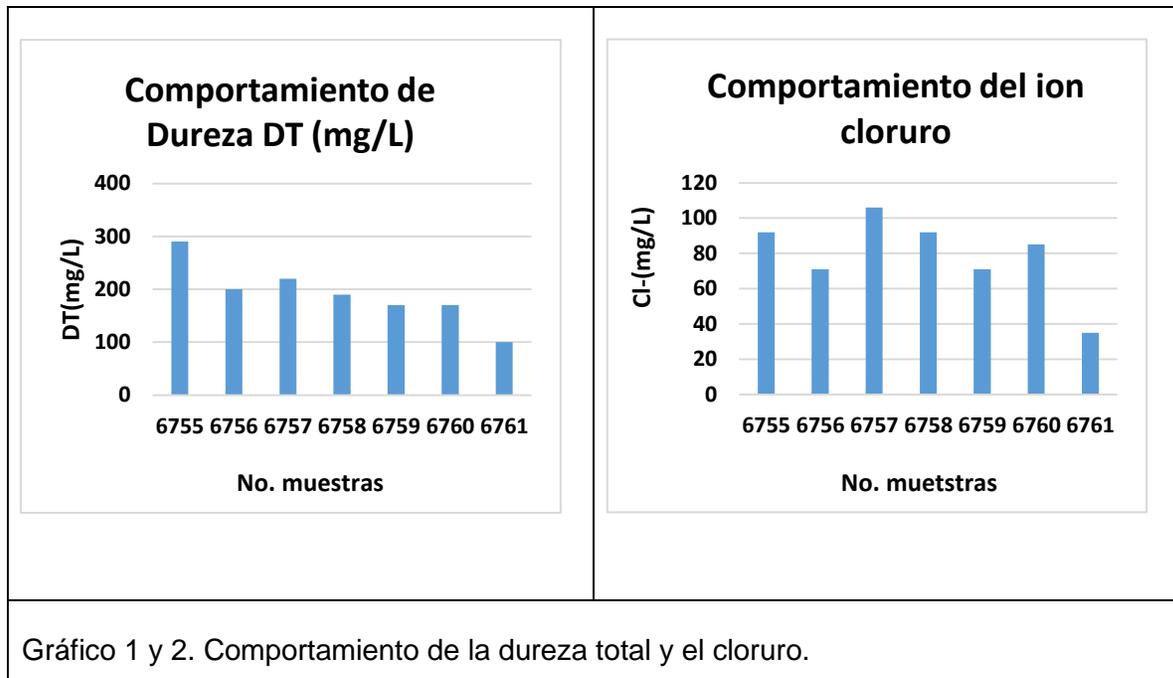
Los códigos de los puntos de muestreos son los siguientes:

No. muestra	Sitio
6755	Batería San Juan
6756	Batería Santa Rosa
6757	Río san Juan cerca de Santa Rosa
6758	Patio de Campo de Tiro
6759	Jardín Botánico
6760	Trabajadores Sociales
6761	Río San Juan cerca de Trabajadores Sociales

### 4.3 Resultados de los muestreos realizados.

**Tabla 3. Resultados de las muestras realizadas para agua potable**

No. muestra	DT (mg/L)	Cl- (mg/L)	NO3- (mg/L)	Mg2+(mg/L)	CTT(NMP/100mL)	EC(NMP/100mL)	SDT (mg/L)	NO2- (mg/L)	pH (u pH)
6755	290	92	17	7.2	1.8	1.8	750	<1.00 x 10 <sup>-2</sup>	7.18
6756	200	71	14	9.6	7.8	1.8	546	<1.00 x 10 <sup>-2</sup>	7.37
6757	220	106	14	9.6	38	17	436	<1.00 x 10 <sup>-2</sup>	8.22
6758	190	92	22	7.2	1.8	1.8	709	<1.00 x 10 <sup>-2</sup>	7.69
6759	170	71	10	9.6	1.8	1.8	555	<1.00 x 10 <sup>-2</sup>	7.37
6760	170	85	25	4.8	4.5	1.8	675	<1.00 x 10 <sup>-2</sup>	7.37
6761	100	35	13	24	-	-	309	<1.00 x 10 <sup>-2</sup>	8.4

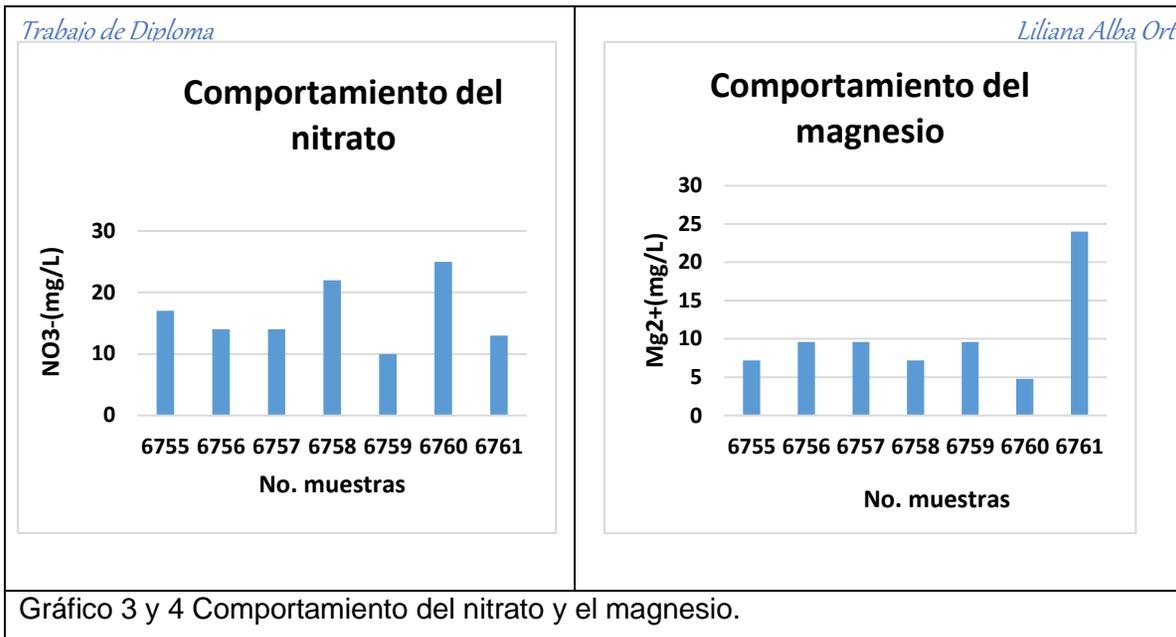


- **Dureza Total**

Según la norma NC 827 Agua Potable el valor establecido es de 400 mg/l donde sus resultados se comportan entre los valores de 290 y 100. El valor más alto corresponde a la Estación San Juan, en el momento de muestreo esta agua de los pozos estaba siendo mezclada con la del sistema Quintero pudiendo ser unas de las pautas del resultado de dicho muestreo. (Gráfico 1). Está representada por el contenido de sales de calcio o magnesio entonces se considera como aguas muy duras por tener un valor mayor a 9

- **Cloruro (Cl<sup>-</sup>)**

Su límite máximo admisible de la norma es de 250 mg/l. Todos los puntos de muestreo están por debajo de la norma sin embargo su valor más alto corresponde a un punto ubicado en el río San Juan cerca de la Batería Santa Rosa. Ya en este punto el agua está contaminada por el vertimiento de industrias como la fábrica de productos lácteos el Caney, de conservas y el Hospital Clínico entre otros. (Gráfico 2).

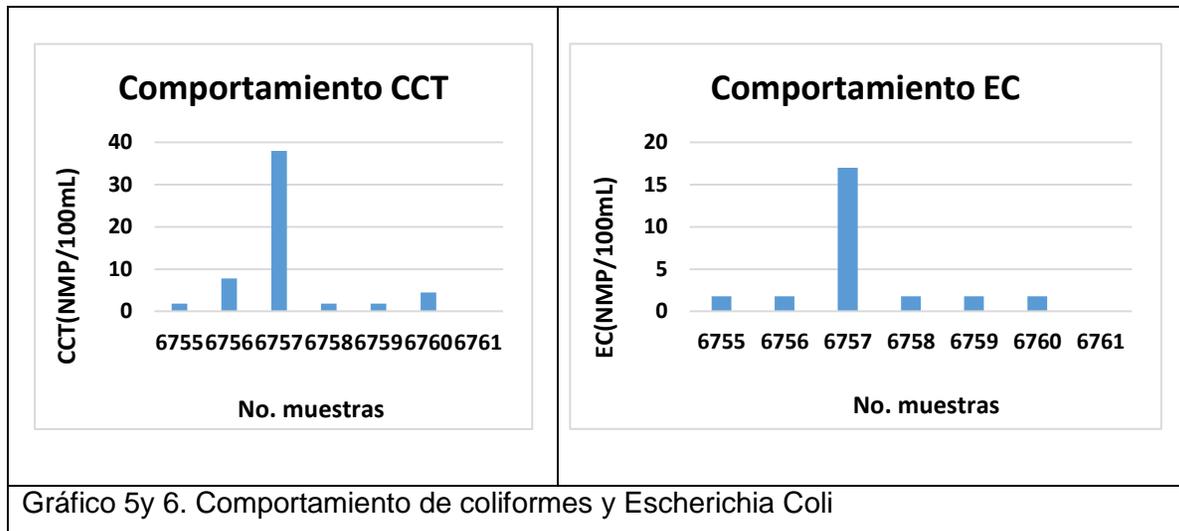


- **Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y Nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)**

El valor establecido por la norma es 45 donde todos los valores están por debajo de ella, los valores más altos corresponden al pozo de Trabajadores Sociales y a Patio Campo de Tiro y un indicador de materia orgánica. (Gráfico 2). En el caso del Nitrito todos los valores están por debajo del límite de detección del equipo,  $1.00 \times 10^{-2}$  mg/L.

- **Magnesio (Mg<sup>2+</sup>)**

El límite es de 150 y los resultados están por debajo de la norma con un valor máximo de 24 en el río cerca del pozo Trabajadores Sociales y un mínimo de 4,8 que es en el pozo Trabajadores Sociales, donde su valor alto se puede deber al contenido que tienen las rocas que se encuentran en el río. (Gráfico 4).



- **Coliformes Totales Termotolerantes (CTT)**

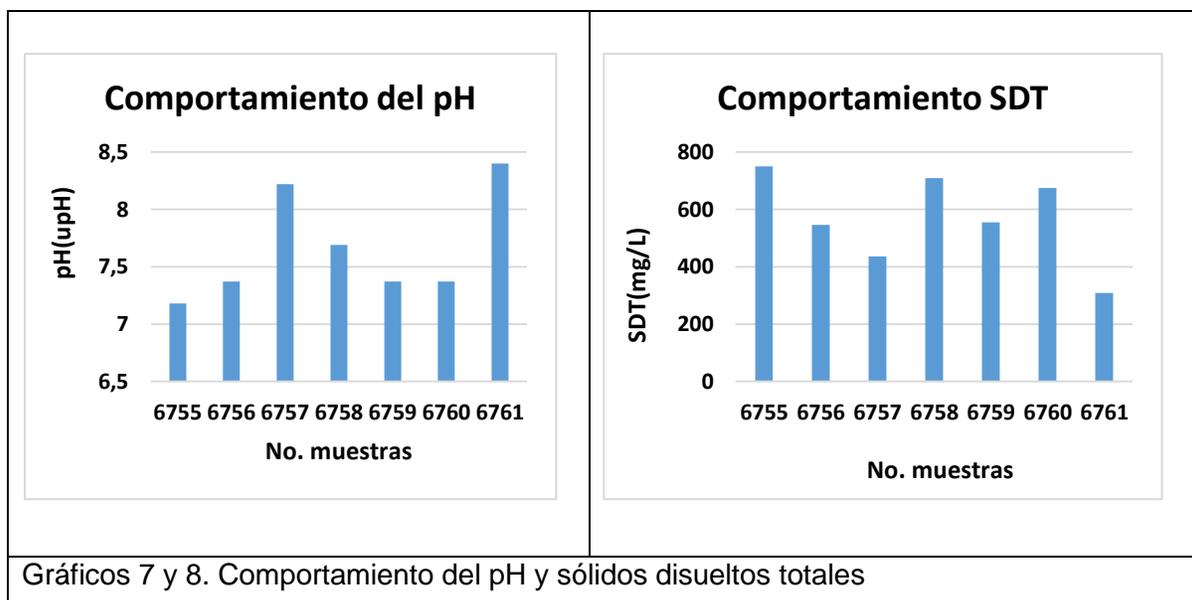
Todos los putos muestreados están fuera de norma, ya que la misma establece ausencia de coliformes para el agua potable. Las muestras con mayor contaminación se corresponden con el río. Esto pudiera tener su origen, en primer lugar, al movimiento de las líneas de flujo de muevan del rio al pozo. En el rio está contaminado por aguas albañales e industria, no obstante, para eliminar los agentes patógenos el agua que se extrae de los pozos es clorada. (Gráfico 5).

Antes de ser distribuida a los tanques de bombeo a la población, se realiza control de calidad de cantidad de cloro residual mediante el método ortotolidina, el cloro debe estar en 2PPM, y se rebombee a los tanques de almacenamiento.

Los coliformes son aquellos propios del tracto intestinal del hombre los vertebrados de sangre caliente, que fermentan la lactosa con producción de acidez y gas a 44.5C<sup>o</sup>, comprenden a los géneros de Escherichia y en menor grado Klebsiella, Enterobacter y Citobacter.

- **EC**

Todas las muestras están contaminadas con presencia de la bacteria Escherichia coli, los mayores valores corresponden al rio San Juan cerca de Santa Rosa, dicha bacteria es causante de infección del tracto urinario y enfermedad gastrointestinal y es indicador de heces fecales (Gráfico 6).



- **Sólidos Disueltos Totales (SDT)**

El valor de la norma es de 1000mg/l, su valor más alto corresponde a la estación de bombeo San Juan siendo de 750 mg/l producto de ser mezclada con el sistema de Quintero. (Gráfico 8)

- **pH**

De acuerdo al pH las aguas tienen un carácter de neutro a básico, la mayor de 8,24 corresponde a el río que está contaminado cerca del pozo de Trabajadores sociales y 8,22 en el río cerca de Santa Rosa. Aunque el rango normal es de 6,5 a 8,5 y para las aguas subterráneas de 6 a 8,5 (Gráfico 7).

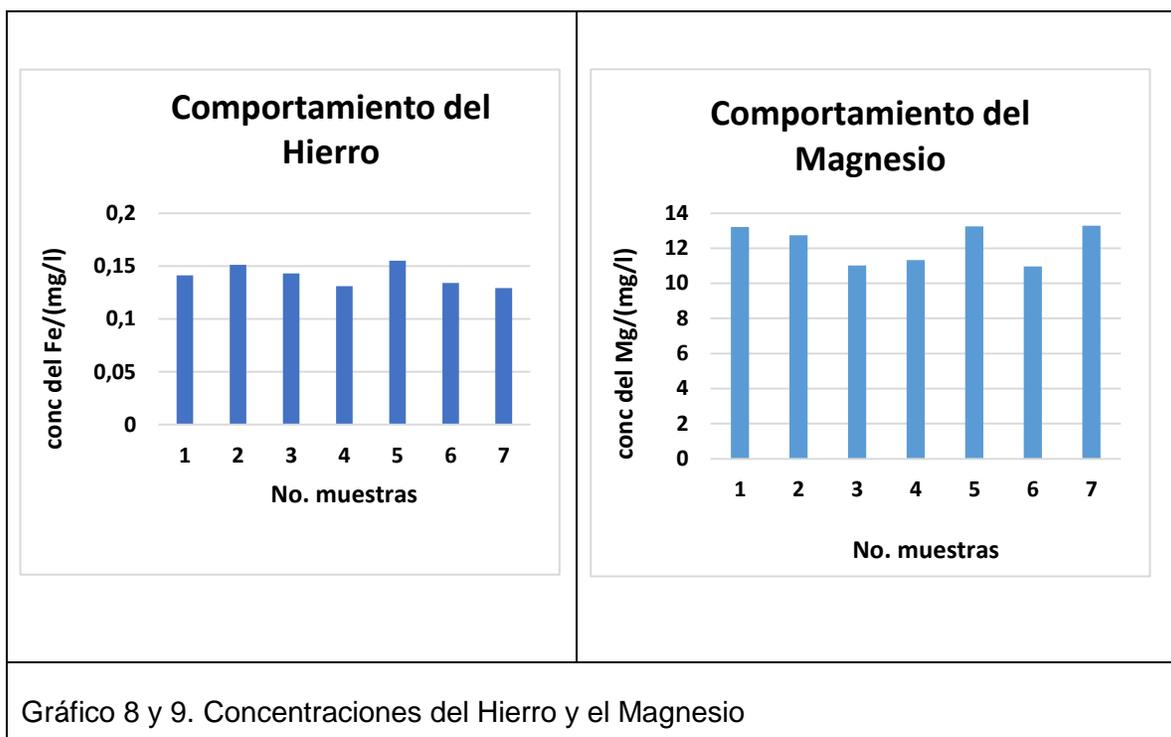
Tabla 4. Resultados de las muestras realizadas para metales pesados.

Cantidad de muestras	Ni/incert	Cu/incert	Fe/incert	Mg/invcert	Al/incert	Cr/incert	Pb/incert	Zn/incert	Mn/incert	ST/incert
1. Estación San Juan	L/D	L/D	0.141	13.22	L/D	0.09	L/D	0.039	L/D	790
2. Santa Rosa	L/D	L/D	0.151	12.74	L/D	0.1	L/D	0.028	L/D	346
3. Río cerca de Santa Rosa	L/D	L/D	0.143	11.02	L/D	0.089	L/D	0.033	L/D	458

4. Patio Campo de Tiro	L/D	L/D	0.131	11.32	L/D	0.103	L/D	0.041	L/D	710
5. Jardín Botánico	L/D	L/D	0.155	13.24	L/D	0.095	L/D	0.035	L/D	546
6. Trabajadores Sociales	L/D	L/D	0.134	10.96	L/D	0.11	L/D	0.044	L/D	688
7. Rio cerca de trabajadores sociales	L/D	L/D	0.129	13.28	L/D	0.109	L/D	0.037	L/D	286

Nota: L/D, significa que la concentración del elemento está por debajo del límite de detección del equipo o técnica utilizada.

Análisis de los resultados:

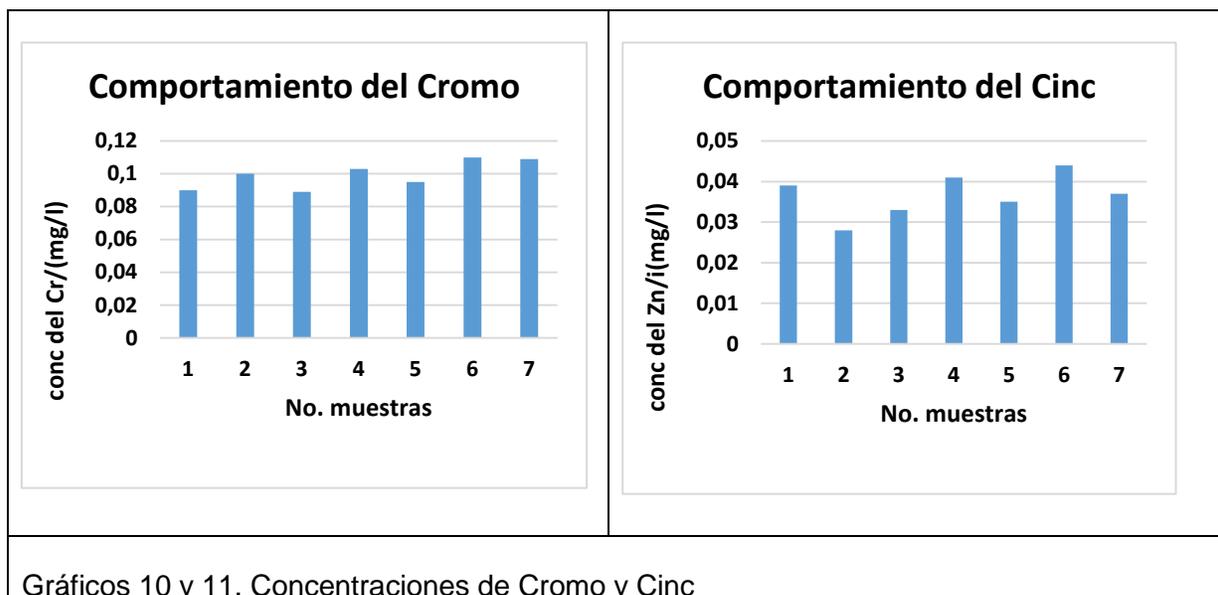


- **Hierro**

El valor del límite máximo admisible de la norma es 0.3 mg/L. Todas las muestras se encuentran por debajo de lo que establece la norma.

- **Magnesio**

Para el Magnesio el límite establecido por la norma es de 150 mg/L, estando todos los valores por debajo de este límite. Las concentraciones de este elemento están determinadas por las características del acuífero. El magnesio es un elemento muy común en las rocas sedimentarias.



Gráficos 10 y 11. Concentraciones de Cromo y Cinc

- **Cromo**

En el caso del cromo todos los valores están por encima de lo establecido de la norma que es 0.05 mg/L siendo el pozo de trabajadores sociales el más alto. Se realizó un análisis del posible origen del Cromo en estas aguas, se considera que no existen vertimientos de residuales en la parte alta de la cuenca que aporten esta contaminación, teniendo en cuenta que aparece en todos los puntos muestreados. Pudiera tener un origen litológico para lo que sería necesario investigar en este sentido. También sería adecuado corroborar los resultados en otros laboratorios.

## Cinc



Para el cinc según el límite admisible de la norma es de 5 mg/L en lo cual ningún resultado obtenido se pasa, el más alto fue en el pozo de trabajadores sociales y en menor en el pozo de Santa Rosa.

Gráfico 12. Resultado del comportamiento de Sólidos Totales.

- **SDT**

En el comportamiento que tuvo los sólidos totales el valor máximo fue de 800 aunque no se encuentran fuera de norma cuyo límite establecido es de 1000 mg/L, pero son valores altos teniendo en cuenta que están próximo al límite.

#### 4.4 Determinación del índice de calidad

Tabla 5. Subíndice calculado para cada punto muestreado.

No. muestras	Parámetros													
	pH	DT	EC	Mg	Ssd	nitrato	nitrito	CL	CTT	Zn	Fe	Mg	Cr	ST
1	100	90	100	100	20	45	100	100	100	100	90	100	100	45
2	100	90	100	100	20	75	100	100	20	100	90	100	100	90
3	20	90	20	100	20	75	100	90	20	100	90	100	100	75
4	20	90	100	100	20	20	100	100	100	100	90	100	100	45
5	100	90	100	100	20	90	100	100	100	100	90	100	100	75
6	100	90	100	100	20	20	100	100	20	100	90	100	100	45
7	20	100		100	20	75	100	100		100	90	100	100	90

Para el cálculo del índice de calidad se utilizó la siguiente fórmula:

$$ICA = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i^2}}}$$

Donde n (Cantidad de parámetros) tiene un valor de 14, entre la cantidad de parámetros para agua potable y para metales pesados que fueron tomadas en 7 puntos.

El índice de calidad del agua demostró en el primer punto un valor de 54.9616 siendo entonces de clase III con un nivel de contaminación moderado y calidad media, para el punto 2 fue de 46.96134 teniendo una misma clasificación que el primer punto, entonces ya para el tercer punto obtuvo otro valor de 35.31448943 y el cuarto punto con 39.35156513 que entrarían en la clase IV con un nivel de contaminación severa y una calidad del agua mala. Entonces en el punto 5 que tiene un resultado de 59.54802 pertenece a la clase III de un nivel de contaminación moderado y calidad media. Por último, se encuentran el punto 6 y 7 con valores entre 39 y 44 enterando en la clase IV de nivel contaminación severa y calidad de agua mala.

El promedio de todos los puntos es 45.67891 y demuestran que el índice de calidad es malo que se puede deber a la contaminación existente en el río San Juan y la cercanía de los pozos al mismo como el pozo de Trabajadores Sociales y Santa Rosa. En las figuras de la 10 a la 17 se muestran los índices de calidad para cada punto.



Figura 10. Bateria San Juan.



Figura 11. Bateria Santa Rosa.



Figura 12. Río San Juan.



Figura 13. Bateria Patio Campo de Tiro.



Figura 14. Pozo Jardín Botánico.

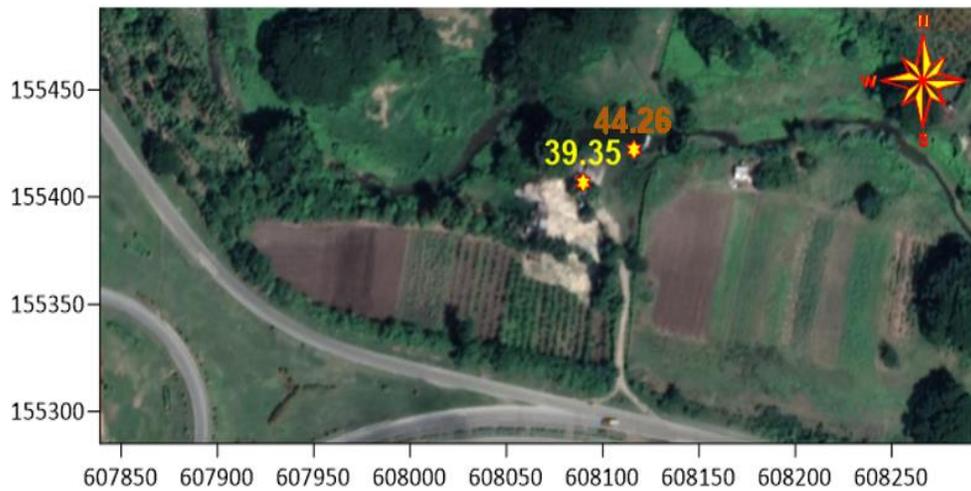


Figura 15. Pozo Trabajadores Sociales.

A continuación, se muestran los resultados de los índices de calidad y su clasificación para cada punto muestreado.

Tabla. 5 Índices de calidad.

No	Descripción del punto	ICA	Clasificación de la calidad del agua	color
1	Estación San Juan	54,96	Media	
2	Estación Santa Rosa	46,96	Media	
3	Río San Juan cerca de	35,31	Mala	

	Santa Rosa			
4	Estación patio campo de Tiro	39,35	Mala	
5	Pozo de Jardín Botánico	59,54	Media	
6	Pozo de trabajadores sociales	39,35	Mala	
7	Río San Juan cerca de trabajadores sociales	44.26	Mala	

### Resumen Estadístico para ICA

Recuento	7
Promedio	45.6757
Desviación Estándar	8.84635
Coeficiente de Variación	19.3677%
Mínimo	35.31
Máximo	59.54
Rango	24.23
Sesgo Estandarizado	0.671493
Curtosis Estandarizada	-0.48291

### El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para ICA. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Como se aprecia en la tabla, la calidad del agua varía de media a mala, no solamente en los puntos pertenecientes al río, sino también en los pozos. Hay que destacar que aunque la mayoría de los parámetros determinados están por debajo de los límites establecidos por la NC 827:2017 esto no quiere decir que no haya incidencia de la contaminación, sobre todo de origen antrópico, como lo demuestra la presencia de *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes en todos los pozos muestreados. Los pozos clasificados con mala calidad son los que se encuentran más próximos al río, esto sugiere que existe movimiento de agua desde el río hasta los pozos por efecto del bombeo, esto también está en correspondencia con las líneas de flujo del mapa de hidroisopías el que indica que en la zona de patio de campo de tiro y Santa Rosa hay flujo desde el río hacia el acuífero.

Dentro de los problemas ambientales identificados que inciden en la calidad del agua de los pozos están:

- **Batería de pozos San Juan.**

Esta batería está limitada al norte por la carretera de Siboney, al este por la circunvalación y al oeste se encuentra ubicado el parque de diversiones, también en el interior de la batería se almacena combustible para alimentar el grupo electrógeno como fuente alternativa de electricidad. Por tanto, en él se conjugan varios factores los cuales están prohibidos en la norma cubana 93-01-209.

- **Batería Santa Rosa.**

Depósito de combustible dentro del área de los pozos.

- El río San Juan que en esa zona ya viene cargado de los residuales de la ciudad está a menos de 15 m de la cerca limítrofe de la batería al fondo.
- La batería de pozos está rodeada de viviendas sin la existencia de alcantarillado.

- **Batería Patio de campo de Tiro.**

El río San Juan que en esa zona ya viene cargado de los residuales de la ciudad está a menos de 15 m de la cerca limítrofe de la batería al fondo.

Por último ningún pozo de la cuenca subterránea San Juan cumple con lo establecido en la NC 93-01-209 en cuanto a la Zona I de protección Sanitaria cuyo objetivo es proteger la captación y sus instalaciones contra vertidos o infiltraciones directas en su superficie, así como impedir el acceso de animales y desechos que pudieran contaminar directamente las captaciones, por ello estará cerrada mediante una valla que impida el acceso a personas no autorizadas y convenientemente señalizada su identificación como parte del perímetro de protección así como la prohibición de acceso.

**Plan de medidas:**

<b>FUENTES CONTAMINANTES</b>	<b>ACCIONES</b>	<b>RESPONSABLE</b>	<b>EJECUTA</b>
Focos contaminantes en el radio de protección sanitario de los pozos.	Suprimir los criaderos de animales en zonas aledañas para evitar la incorporación de los residuos a la zona de ubicación de los pozos. Establecer los perímetros de protección sanitaria según las normas establecidas para estos fines	EAA Aguas Santiago.	Población

<p>Sólidos Disueltos Totales en el agua que se extrae de los pozos</p>	<p>Limpieza y remoción de desechos sólidos remanentes en el fondo de los tanques, a través de trabajos voluntarios propuestos en la comunidad. - Mantener el tanque tapado para evitar el arrojamiento de materiales adentro del mismo. - Implementar un límite de seguridad para impedir el paso de personal no autorizado al tanque. - Contratar un agente de seguridad para velar por la seguridad y preservación del tanque de distribución general del poblado.</p> <p>Realizar el ciclo de tratamiento al agua que incluya no solo cloración, sino además coagulación, floculación, sedimentación y filtración.</p>	<p>Gobierno municipal Presidentes CDR</p>	<p>Población</p>
<p>Contaminación de aguas subterráneas por efluentes domésticos.</p>	<p>Usar detergentes biodegradables. – Depositar estas aguas residuales en fosas alejadas de los pozos de agua potable. No verter los efluentes domésticos en ríos. Disminuir el radio de influencia de los pozos.</p>	<p>Población</p>	<p>Población</p>

## **CONCLUSIONES**

1. La calidad del agua subterránea en la cuenca, según el índice de calidad se clasifica como media y mala, con presencia de *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes y Cromo en todos los pozos muestreados.
2. La zona de Santiago de Cuba hidrogeológicamente es bastante seca y esta es una cuenca que aporta buen caudal de agua a la ciudad, caracterizándose por tener una relación directa con las variaciones del régimen de lluvia, y oscilando su nivel estático con profundidades desde 1,50 hasta los 8 y 10,0 m.
3. En la cuenca se presentan focos contaminantes dentro de la zona I y II consistentes en centros de recreación, carreteras, industrias, convenios porcinos, poblados, hospitales, etc.
4. Se determinaron 19 parámetros físico- químico y bacteriológico, según la NC 827:2017, encontrándose fuera de norma *Escherichia Coli*, Coliformes Termotolerantes y Cromo.
5. Se propone un plan de 10 medidas para disminuir la contaminación.

## **RECOMENDACIONES**

1. Mantener un control estricto de la zona de protección.
2. Evitar la construcción de nuevos pozos dentro de la Zona II del pozo de abasto.
3. Mantener un estricto muestreo periódico de la fuente de abasto para determinar a tiempo cualquier anomalía en la calidad del agua.
4. En caso de presentarse algún tipo de contaminación, que no tenga solución, sería necesaria su traslado hacia otra área.
5. Realizar muestreo para determinar metales pesados en tres laboratorios acreditados para verificar el comportamiento del Cromo.
6. Si el Cromo continua alto, entonces: Solicitar por parte de Aguas Santiago un estudio para determinar el origen del Cromo.

## **RESUMEN**

Ningún pozo de la cuenca subterránea San Juan cumple con lo establecido en la NC 93-01-209 en cuanto a la Zona I de protección Sanitaria.

Se debe instrumentar la aplicación de la Norma en la cuenca en lo relativo a la Zona I de protección.

Las baterías de pozos Santa Rosa y San Juan deben tratarse como un gran pozo de acuerdo a la concentración de los mismos.

Objetivo de la Zona I es proteger la captación y sus instalaciones contra vertidos o infiltraciones directas en su superficie, así como impedir el acceso de animales y desaprensivos que pudieran contaminar directamente las captaciones, por ello estará cerrada mediante una valla que impida el acceso a personas no autorizadas y convenientemente señalizada su identificación como parte del perímetro de protección, así como la prohibición de acceso.

## BIBLIOGRAFÍA

1. MILIARIUM. Índices globales de calidad de las aguas. Portal sobre Ingeniería Civil y Medio Ambiente.
2. MOSQUERA RMFG, CALDÓN AF. "Análisis físico y químico del agua del río Ejido". Colombia: Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Departamento de Química. Laboratorio de Química Industrial; 2012.
3. PEGUERO P. R. y LESME J. N.: "Gestión y manejo de la cuenca hidrográfica del río San Juan para fomentar el desarrollo rural y agrario sustentable", Universidad de Oriente. Facultad de Ciencias Agrícolas. Autopista Nacional km 1. Santiago de Cuba. Cuba. 2003.
4. Oficina Nacional de Normalización. NC 1021: 2014. Higiene Comunal- Fuentes de Abastecimiento de Agua-Calidad y Protección Sanitaria. Cuba.
5. Oficina Nacional de Normalización. NC 22: 1999. Lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores. Requisitos higiénico – sanitarios. Cuba.
6. Oficina Nacional de Normalización. NC 25: 1999. Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. Especificaciones. Cuba.
7. Oficina Nacional de Normalización. NC 27: 2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado-Especificaciones. Cuba.
8. Oficina Nacional de Normalización. NC 93-02: 1985. Higiene comunal. Agua potable. Requisitos sanitarios y muestreo. Cuba.
9. Oficina Nacional de Normalización. NC 827. Agua potable. Requisitos sanitarios y muestreo. Cuba.
10. Antinao, J. L. et al (2000), Estudio geo ambiental del área de Puerto Montt-Frutillar
11. Arce, S. (2001), Riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en el área de la Región Metropolitana de Santiago
12. Toro, P. (2003), Evaluación del riesgo de contaminación de la parte norte del acuífero de Santiago. Artículo.

13. Muñoz, R. (2004), Peligro de contaminación de acuíferos y los perímetros de protección para pozos en el valle del río Cachapoal. Artículo.
14. Figueroa García. (2010) Índice de generación de carga contaminante, provincia de Talagante Santiago-Chile. Artículo.
15. Massone Héctor, González Mariana y colectivos de autores, Argentina abril de 2021 Evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea de la cuenca del río Quequén Grande
16. GÓMEZ ISIDRO SULLY y colectivo de autores (2011) Estudio de Vulnerabilidad, amenaza y peligro a la contaminación de las aguas subterráneas en la región de Bucaramanga. Colombia, Universidad Industrial de Santander,
17. Suárez González Oscar y otros autores. Evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la cuenca Almendares–Vento. Empresa Militar de Proyectos e Investigación, EMPI,
18. Fernández, R, Moraima (2019) Evaluación de la calidad de las aguas del río Cabaña para la reducción de los riesgos hídricos, Moa en la provincia de Holguín. Tesis.
19. Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Santiago de Cuba (2016), informe de zona de protección sanitaria de la cuenca San Juan.
20. Torrez, Yamila (2011) Empresa GEOCUBA Oriente Sur Estudio de Vulnerabilidad de la Cuenca San Juan ante la Contaminación. Tesis